технологический процесс работы пограничной механизированной дистанции погрузочно-разгрузочных работ» и многие другие.

Заслуги ветерана войны и труда Г. А. Циркунова оценило и государство. За многолетний плодотворный труд он был награжден десятью медалями в том числе медалью «За доблестный труд в годы Великой Отечественной войны 1941−1945 гг.», знаками «За отличные успехи в работе» в области высшего образования СССР, «Почетному железнодорожнику», «150 лет железным дорогам», Почетными грамотами ЦК КПСС, ЦК ВЛКСМ, ВЦСПС и Совета Министров СССР; Верховного Совета БССР, Министерства автомобильного транспорта и коммуникаций Беларуси, Белорусской железной дороги и многочисленными грамотами и ценными подарками руководства Белорусской железной дороги и Бело-русского государственного университета транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Железнодорожники в Великой Отечественной войне 1941−1945. − М. : Транспорт, 1985. − 448 с.

V. Ya. NEGREY, V. N. KIRIK

**SCIENTIST MANAGEMENT UNIVERSITY
THE WORKERS OF A FRONT SCIENCE AND REAR
OF GREAT DOMESTIC WAR AND POSTWAR PERIOD**

The history-biographic material of life and creativity of the doctors of engineering science, professors I. G. Tikhomirov and G. A. Cirkunov is represented, prominent of the scientists-Transport university, which talent approached a Great Victory within Great Patriotic war portwar of construction.

Получено 17.10.2025

ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025

УДК 656.225.073.235

В. Г. ПИЩИК
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
uladzislau.pishchic@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА: АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ

Рассматривается проблема повышения эффективности работы контейнерных терминалов в условиях растущей нестабильности грузопотоков. Выявлена ключевая проблема синхронизации работы всех подсистем терминала. В качестве решения пред-

лагается комплексная имитационная модель, реализующая последовательный план действий, включающий настройку цифрового двойника терминала, интеграцию с АСУ, формирование матрицы расстояний и алгоритмы оптимизации обработки контейнеров. Практическая значимость исследования подтверждается разработанными механизмами учета ограничений и рисков, а также возможностями сценарного анализа для принятия обоснованных управленческих решений.

Моделирование работы контейнерного терминала является критически важным инструментом в условиях растущих глобальных грузопотоков и повышенных требований к логистической эффективности. Контейнерные терминалы являются узловыми точками мировой торговли, требующие особого внимания и устойчивости к неравномерности грузопотока. Любые сбои или неграмотное распределение ресурсов могут привести к простоям по всей цепочке поставок и финансовым потерям. Внедрение автоматизированных технологий и введение в эксплуатацию современных транспортно-перегрузочных механизмов (тележки AGV, челночные контейнеровозы, рельсовые тележки), требуют точного прогнозирования их работы для максимальной эффективности значительных капитальных вложений.

Ключевой проблемой при обработке грузов на контейнерном терминале являются сложности в синхронизации работы всех терминальных подсистем в условиях случайности внешних и внутренних процессов. Эта проблема проявляется в следующих факторах:

– несогласованность в работе транспортно-перегрузочных механизмов. Например, краны могут разгружать поезда быстрее, чем тележки AGV успевают отвозить контейнеры, вызывая простой дорогостоящей крановой техники (или наоборот);

– ограниченная складская площадь. Неоптимальное планирование размещения контейнеров приводит к появлению «блокирующих» контейнеров, для доступа к которым требуются излишние перестановки, что снижает производительность терминала;

– влияние случайных факторов: неравномерный грузопоток, варьирование продолжительности выполнения операций из-за человеческого фактора, погодные условия, сбои в работе технических устройств и программного обеспечения.

Решением, которое позволяет синхронизировать бóльшую часть терминальных подсистем, является моделирование работы терминала. Оно позволяет проводить виртуальные эксперименты, оценивать пропускную способность, загруженность площадей и транспортно-перегрузочных механизмов, тестировать алгоритмы управления и оптимизировать использование дорогостоящих ресурсов. Таким образом, моделирование работы контейнерного терминала является ключевым элементом для повышения его конкурентоспособности, обеспечения устойчивости логистики и принятия обоснованных решений в условиях нестабильного грузопотока.

В качестве методологической основы для комплексного моделирования

часто выступает процессный подход. В исследовании Кузнецова А. Л. и соавторов [1] предложен метод, основанный на изучении бизнес-процессов. Этот метод позволяет не только оценить потребность в технологических и человеческих ресурсах, но и проанализировать влияние их состава и количества на ключевые показатели эффективности работы всего терминала. Развитием этого подхода является диссертационное исследование А. Д. Семенова [2], где разработана имитационная модель, основанная на детальном описании технологических операций и ресурсов. Данная модель позволяет оценить потребность в ресурсах с учетом сложной структуры грузопотока и взаимосвязи всех операций между собой.

Другим важным направлением является применение имитационного моделирования для решения конкретных прикладных задач, выходящих за рамки собственно терминала. В работе И. В. Серёгина [3] моделирование используется для повышения эффективности эксплуатационной работы железнодорожных станций, взаимодействующих с терминалами. Этот подход позволяет корректировать планы погрузки, исключать появление «узких мест» на смежных станциях, демонстрируя интеграционный потенциал имитационных моделей в логистических цепях.

На операционном уровне глубокой детализации требуют технологические процессы складской обработки. Иллюстрацией этому служит исследование Т. Е. Маликовой и Е. Е. Петровой [4], где предложена цифровая имитационная модель операций селективной выемки контейнеров. Модель фактически создает «цифрового двойника» для конкретного процесса, выполняемого водителем мобильной перегрузочной техники, что позволяет отрабатывать и оптимизировать его действия в виртуальной среде.

Перспективным направлением является интеграция моделирования с задачами обучения и автоматизации. В статье [5] моделирование погрузочно-разгрузочных работ реализовано в виде тренажера, который служит не только для обучения персонала, но и для проведения статистических исследований. Более того, в работе [6] имитационная модель тылового терминала основана на принципах роботизации всего терминально-складского комплекса, что указывает на переход от моделирования существующих процессов к проектированию принципиально новых, высокоавтоматизированных систем.

В рамках предыдущих исследований [7] был систематизирован комплекс критериев и исходных данных, необходимых для построения модели оптимальной обработки контейнеров. К числу таких данных отнесены характеристики контейнеропотока, терминала, транспортно-перегрузочных механизмов и технологического процесса обработки. Полнота данного набора данных, а также возможность задания расчетных параметров в альтернативных единицах измерения, обеспечивают адаптивность модели для решения разнородных задач и применения различных критериев оптимальности.

Несмотря на то, что моделированию работы контейнерного терминала посвящено достаточное большое количество научных работ современных авторов, в них не прослеживается единства подхода к решению данной научной задачи. Существующие методы часто сосредоточены на оптимизации отдельных бизнес-процессов, не обеспечивая комплексного рассмотрения работы терминала как единой системы, где согласованно функционируют разнотипные транспортно-перегрузочные механизмы и обрабатываются контейнеры разных типоразмеров.

Для моделирования работы контейнерного терминала предлагается последовательный план действий, состоящий из следующих взаимосвязанных этапов:

1 Настройка исходной модели терминала.

1.1 Топология терминала. Терминал разделен на зоны в зависимости от степени прогнозирования технологической цепочки (по прибытии, по отправлении, в регулировку [8]. Каждая зона содержит стаки (элементарные наборы контейнеров со штабельной системой хранения) с трехмерной размерностью (a, b, c), где a − длина, b − ширина, c − высота (количество ярусов). Позиционирование стаков внутри зон задается координатной сеткой для точного планирования логистики перемещения контейнеров по территории терминала.

Для каждой зоны устанавливаются правила доступа и приоритетности обработки контейнеров в зависимости от их категории. Спецификация зон включает не только геометрические параметры, но и специализацию: в зонах для рефрижераторных контейнеров предусматриваются точки подключения к энергоснабжению, а в зонах для опасных грузов − буферные участки и специальные ограждения и маршруты перемещения. Параметры штабельных систем дополнительно включают максимальную нагрузку на ярус, допустимую высоту штабелирования для различных типов контейнеров, а также коэффициенты заполнения, учитывающие технологические проходы и разворотные площадки.

Координатная сетка реализуется с привязкой к реальной системе координат терминала с шагом, соответствующим габаритам типового контейнера, что обеспечивает точное позиционирование и планирование перемещений.

1.2 Транспортно-перегрузочные механизмы, которые будут выполнять работу на терминале. На старте моделирования определяется набор транспортно-перегрузочных механизмов (краны, ричстакеры, автопогрузчики) и их начальное расположение с использованием GPS-датчиков.

Каждому механизму присваиваются характеристики: грузоподъемность, скорость перемещения, тип выполняемых операций, возможность взаимодействия между собой (напрямую, с постановкой на землю).

Особое внимание уделяется моделированию циклов работы: учитываются время на захват и отпускание контейнера, разгон и торможение, манев-

рирование в стесненных условиях. Система также включает параметры технического обслуживания: периодичность профилактических работ, среднее время восстановления после сбоев, графики плановых ремонтов. Все механизмы связаны единой системой управления, позволяющей перераспределять задания между ними в реальном времени с учетом текущей загрузки и приоритетов операций.

2 Интеграция данных из АСУ перед прибытием состава.

2.1 Обработка данных о вагонах:

– из номера вагона автоматически определяется его длина по осям автосцепок;

– вагоны привязываются к системе координат терминала. Точка «0» на железнодорожном пути соответствует месту прибытия первого вагона (с головы/хвоста состава).

2.2 Сбор данных о контейнерах:

– каждый контейнер имеет уникальный номер, по которому определяются его типоразмер (20/40 футов и т. д.) и специальные признаки (опасный груз, рефрижератор, открытый);

– система определяет месторасположение центра каждого контейнера и расположение его на пути. Полученная информация поступает в модель и трансформируется в данные о позиционировании контейнеров на пути (с координатами на пути (x; y).

Для работы модели каждый контейнер на терминале должен иметь следующие характеристики: месторасположение (x; y), номер контейнера, футовость контейнера, специальные признаки. Эти данные помогут определить зону, за которой необходимо закрепить контейнер, маршрут следования к этой зоне, порядок выполнения операций на терминале по работе на фронте.

Интеграцию данных из АСУ перед прибытием состава можно представить в виде BPMN диаграммы (рисунок 1).

3 Формирование шахматки расстоянийСистема автоматически генерирует матрицу расстояний между:

– стаками в зонах;

– физическими центрами контейнеров на путях и стаками;

– площадками перегрузки с железнодорожных путей и выдачи автотранспорту, точками передачи контейнеров между механизмами (при наличии).

Шахматка используется для расчета оптимальных маршрутов перемещения контейнеров и механизмов.

4 Алгоритм обработки контейнеров по прибытии.

4.1 Моделирование прибытия состава. Расчет сценариев обработки, основываясь на данных АСУ. Создается виртуальная модель всего подвижного состава с точным расположением каждого вагона и контейнера в трехмерном пространстве.

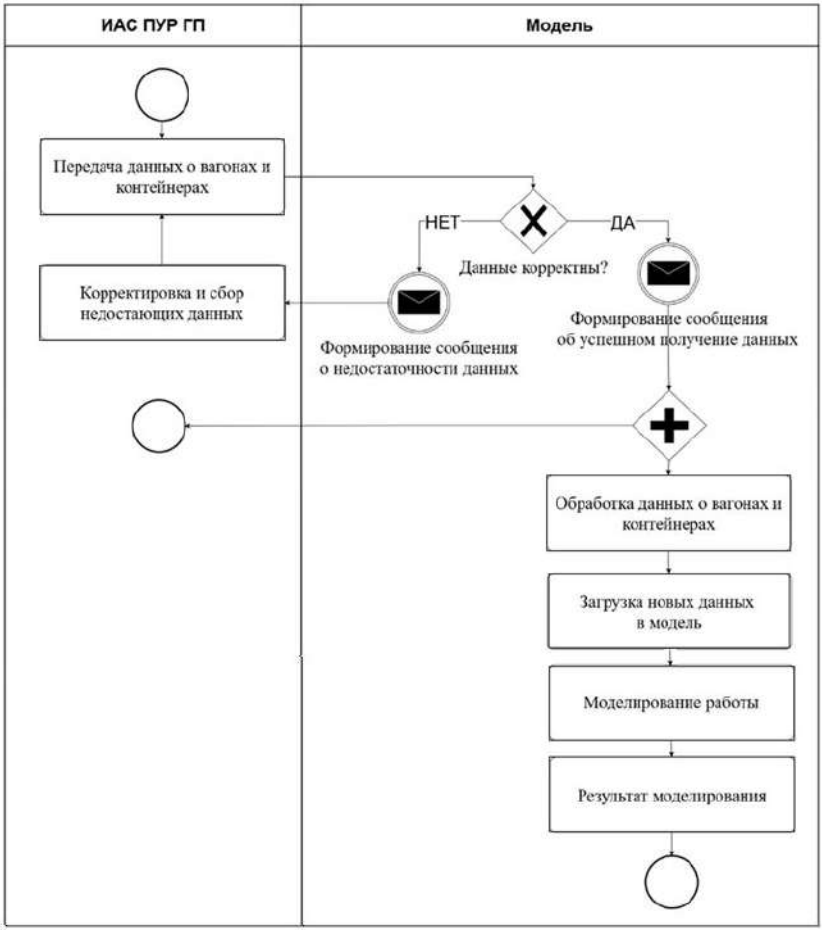


Рисунок 1 – Описание бизнес-процесса интеграции данных из АСУ перед прибытием состава

4.2 Свободность мест. Модель анализирует текущую загрузку стаков и выбирает варианты с минимальным временем доступа и исключением (уменьшением вероятности) варианта появления блокирующих контейнеров.

4.3 Выбор зоны и стака. Критерием выбора могут стать футовость контейнера, специальные признаки. Контейнеры с опасными грузами направляются в специально выделенные зоны, а рефрижераторные контейнеры − в зоны с подключением к электросети (исключение – контейнеры-термосы или порожние, которые не требуют подключения к электросети).

4.4 Построение маршрута. Определяются оптимальные последовательности выполнения разгрузочно-погрузочных работ с учетом расположения контейнеров в составе и их конечного назначения на терминале. Маршрут рассчитывается с учетом ближайшего оптимального расстояния от механизма до контейнера (по данным шахматки расстояний), загруженности зон (при перегрузке зоны контейнер перенаправляется в альтернативную зону, даже с увеличением расстояния), наличие других механизмов на пути и избегание коллизий («пробки» механизмов).

Если контейнер требует перегрузки между несколькими механизмами (например, с крана на ричстакер), модель рассчитывает промежуточные точки передачи и время, необходимое для выполнения операции.

4.5 Генерация задания на обработку. На основе проанализированных данных формируется комплексное задание, включающее: маршруты перемещения транспортно-перегрузочных механизмов, последовательность операций для каждого контейнера, расчетное время выполнения работ, распределение человеческих ресурсов по операциям (при наличии).

4.6 Автоматическая передача заданий в систему управления терминалом и на устройства операторов техники. Система отслеживает выполнение плана отправки, при необходимости внося корректировки в случае задержек или изменения обстоятельств.

5 Алгоритм обработки контейнеров по отправлении.

5.1 Формирование плана отправления. На основе данных АСУ формируется перечень контейнеров, планируемых к отправке, с указанием их текущего местоположения на контейнерной площадке, характеристик и приоритета погрузки. Создается виртуальная модель целевого подвижного состава с оптимальным планом размещения контейнеров на вагонах.

5.2 Определение последовательности извлечения контейнеров. Модель анализирует текущее месторасположение каждого контейнера, включенного в план отправки, и определяет оптимальную последовательность их извлечения из стаков. Критерием выбора является минимизация количества операций по перестановке «блокирующих» контейнеров и общего времени доступа.

5.3 Построение маршрута к железнодорожному фронту. Для каждого извлекаемого контейнера рассчитывается маршрут от стака до места погрузки в вагон. Маршрут строится с учетом данных шахматки расстояний, текущей загруженности зон проезда и необходимости избегать коллизий с другой техникой. При необходимости планируются промежуточные точки передачи контейнера между механизмами.

5.4 Подтверждение доступности и приоритезация. Система проверяет доступность назначенных транспортно-перегрузочных механизмов и вагонов. Контейнеры распределяются по очередности погрузки с учетом их ти-

па: рефрижераторные контейнеры подаются в последнюю очередь перед отправкой для минимизации времени работы без энергосети, контейнеры с опасными грузами размещаются в вагонах в соответствии с правилами перевозки.

5.5 Генерация задания на отправку. Формируется комплексное задание, включающее: точное местоположение контейнера в зоне хранения, маршрут и доставки к вагону, последовательность погрузки в подвижной состав, назначенные механизмы и расчетное время выполнения операций.

5.6 Передача заданий и мониторинг исполнения. Сгенерированные задания в реальном времени передаются в систему управления терминалом и на устройства операторов. Система отслеживает выполнение плана отправки, при необходимости внося корректировки в случае задержек.

Алгоритм обработки контейнеров по прибытии и отправлении можно представить в виде блок-схемы (рисунок 2).



Рисунок 2 – Блок схема алгоритма обработки контейнеров по прибытии и отправлении

6 Учет ограничения и рисков:

– ограниченная пропускная способность зон. Например, если зона уже перегружена, модель может перенаправить контейнер в другую зону, даже если это увеличит расстояние перемещения. При штабельном хранении контейнеров перегрузка зоны может вызывать увеличение количества блокирующих контейнеров, что существенно повысит затраты и время на обработку контейнеров;

– технические сбои механизмов. Если один из механизмов выходит из строя, модель перераспределяет задачи между оставшимися механизмами, минимизируя простои;

– изменения в контейнеропотоке. Если в процессе обработки поступают новые данные о прибытии дополнительных контейнеров, модель динамически корректирует планы обработки.

7 Обновление данных и анализ эффективности.

После завершения обработки контейнера модель обновляет данные о состоянии терминала:

– обновляется информация о свободных местах в стаках;

– фиксируется время обработки контейнера и простоя механизмов;

– если контейнер готов к выдаче автотранспорту, модель определяет оптимальную площадку для выдачи и маршрут доставки контейнера на эту площадку.

Модель также может быть использована для анализа эффективности работы терминала с выполнением:

– оценки времени обработки контейнеров. Модель позволяет определить, какие операции занимают больше всего времени, и предложить меры по их оптимизации;

– анализа загруженности механизмов. Модель может выявить, какие механизмы перегружены, а какие используются неэффективно, что позволит перераспределить ресурсы;

– прогнозирования загруженности терминала. На основе данных о контейнеропотоке модель может предсказать, какие зоны и механизмы будут перегружены в будущем, и предложить меры по предотвращению простоев.

8 Интеграция дополнительных данных

Для повышения точности модели можно интегрировать дополнительные данные:

– погодные условия. Например, в случае дождя или снега модель может учитывать снижение скорости работы механизмов и увеличивать время на обработку контейнеров (невозможность работы кранов при ветре более 15 м/с);

– техническое состояние механизмов. Если механизм требует технического обслуживания, модель может исключить его из работы на определенный период;

– информация о начале и окончании смен работников, их болезни. При окончании смены или болезни работников (которых невозможно заменить в данный момент), модель может исключить его из работы на определенный период.

9 Сценарное моделирование

Модель позволяет не только оптимизировать текущие процессы на терминале, но и проводить анализ для различных сценариев:

– увеличение контейнеропотока. Модель может оценить, как это повлияет на загруженность терминала и предложить меры по увеличению пропускной способности;

– выход механизмов из строя. Модель покажет, как перераспределить задачи между оставшимися механизмами;

– изменение структуры контейнеропотока. Модель может адаптироваться к новым условиям и предложить оптимальные решения для обработки контейнеров.

10 Внедрение нейросетевых технологий

Модель использует нейросети:

– для прогнозирования контейнеропотока на основе исторических данных;

– динамической оптимизации маршрутов с учетом меняющихся условий;

– автоматического обучения на основе анализа ошибок и успешных сценариев.

Предложенная модель является комплексным инструментом для управления контейнерным терминалом, сочетающим точность алгоритмических расчетов, гибкость адаптации к внешним условиям и возможности прогнозирования. Внедрение нейросетевых методов повышает ее устойчивость к нештатным ситуациям и позволяет минимизировать издержки при максимальной загрузке мощностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Кузнецов, А. Л.* Подход к моделированию контейнерных терминалов на основе бизнес-процессов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2020. – № 6. – С. 1039–1050.

2 *Семенов, А. Д.* Планирование использования технологических ресурсов морского контейнерного терминала на основе имитационного моделирования: специальность 2.9.7 «Эксплуатация водного транспорта, водные пути сообщения и гидрография» : дис. ... канд. техн. наук / Семенов А. Д.; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова». – СПб., 2023. – 128 с.

3 *Серёгин, И. В.* Повышение показателей эксплуатационной работы станций, взаимодействующих с контейнерными терминалами, на основе метода моделирования их работы / И. В. Серёгин // Системы управления, информационные технологии и математическое моделирование. – 2022. – С. 249–254.

4 *Маликова, Т. Е.* Имитационная модель престакинга на контейнерном терминале морского порта / Т. Е. Маликова, Е. Е. Петрова // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2024. – № 3. – С. 379–390.

5 *Кузнецов, А. Л.* Моделирование погрузоразгрузочных работ на контейнерном терминале / А. Л. Кузнецов, Е. А. Давыденко // Транспортное дело России. – 2022. – № 2. – С. 205–207.

6 *Малышев, Н. В.* К вопросу роботизации тыловых контейнерных терминалов / Н. В. Малышев, Е. К. Коровяковский // Бюллетень результатов научных исследований. – 2020. – № 1. – С. 15–25.

7 *Кекиш, Н. А.* Согласование критериев и наборов исходных данных при создании модели оптимальной обработки контейнеров на терминале / Н. А. Кекиш, В. Г. Пищик // Известия Транссиба. – 2025. – № 1. – С. 68–77.

8 *Пищик, В. Г.* Теоретическое обоснование зонирования контейнерного терминала по степени надежности прогнозирования технологической цепочки обработки / В. Г. Пищик // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2023. – № 1. – С. 157–165.

V. G. PISHCHIC

MODELING OF CONTAINER TERMINAL OPERATION: OPTIMIZATION ALGORITHMS AND PROCESS MANAGEMENT

The article addresses the relevant problem of improving the efficiency of container terminals amidst growing cargo flow volatility. The study identifies the key challenge of synchronizing the work all terminal subsystems. As a solution, a comprehensive simulation model is proposed, implementing a sequential action plan that includes configuring a terminal digital twin, integrating with control systems, forming a distance matrix, and developing container handling optimization algorithms. The practical significance of the research is confirmed by the developed mechanisms for accounting for constraints and risks, as well as the capabilities for scenario analysis to support well-founded managerial decision-making.

Получено 29.10.2025

ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025

УДК 656.222.6

В. В. ПОЛЬЯНОВ, С. А. БЕССОНЕНКО
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
polyanovvv@mail.ru, bessonenko@stu.ru

СНИЖЕНИЕ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ РАДИОСВЯЗИ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ НА ТЕХНИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

Исследуются особенности технологии обращения длинносоставных контейнерных поездов, приводящей к возникновению инфраструктурных ограничений и значитель-