

## Имитационное моделирование и оценка перерабатывающей способности элементов транспортного узла Пусан

Тэк Енг Ли, Р.Г. Король ✉

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, Российская Федерация

✉kingkhv27@mail.ru

### Резюме

Организация Транскорейской железной дороги с выходом на континентальную железнодорожную сеть позволит сформировать новые транспортно-логистические цепи, в которых внешнеторговый контейнеропоток будет сосредоточен в транспортном узле Пусан (Республика Корея). Основные международные контейнерные линии проходят через порт Пусан, где осуществляется перегрузка контейнеров из портов Юго-Восточной Азии и Китая на морские суда для доставки в дальневосточные порты России, он служит основным звеном транспортно-логистических цепей параллельного импорта. Сегодня терминально-логистическая инфраструктура порта Пусан не справляется с обработкой увеличивающихся объемов контейнеропотока, простаивает морской и наземный транспорт в ожидании технологических операций, что приводит к логистическим рискам. Целью настоящей статьи является определение резервов перерабатывающей способности транспортного узла Пусан с учетом переориентации части контейнеропотока на железнодорожный транспорт. Для достижения поставленной цели была разработана программа оценки перерабатывающей способности элементов транспортного узла при изменении объемов контейнеропотока. Задачи данного исследования заключаются в анализе объемов переработки контейнеров в порту Пусан, разработке технологической схемы взаимодействия инфраструктурных объектов и имитационном моделировании работы подсистем транспортного узла Пусан. Предмет исследования – транспортная и терминально-логистическая инфраструктура транспортного узла Пусан. В работе использованы теоретические и математические методы исследования, в том числе моделирование, визуализация и сравнение. В статье представлены результаты двух сценариев моделирования: при существующих объемах работы и при инфраструктурном переоснащении для обработки перспективного контейнеропотока. Предложено поэтапное развитие перерабатывающей способности транспортного узла Пусан, включающее модернизацию инфраструктуры, организационно-технологические и технические мероприятия.

### Ключевые слова

имитационное моделирование, терминально-логистическая инфраструктура, транспортный узел, порт Пусан

### Для цитирования

Ли Т.Е. Имитационное моделирование и оценка перерабатывающей способности элементов транспортного узла Пусан // Т.Е. Ли, Р.Г. Король // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022. – № 3 (75). – С. 171–180. – DOI 10.26731/1813-9108.2022.3(75).171-180.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 6.09.2022 г.; поступила после рецензирования: 19.09.2022 г.; принята к публикации: 20.09.2022 г.

## Simulation modeling and evaluation of processing capacity of Busan transport hub elements

Taek Young Lee, R.G. Korol' ✉

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, the Russian Federation

✉kingkhv27@mail.ru

### Abstract

The organization of the Trans-Korean Railway with access to the continental railway network will allow the formation of new transport and logistics chains in which the foreign trade container traffic will be concentrated in the Busan transport hub (Republic of Korea). The main international container lines pass through the port Busan, where containers are transhipped from the ports of Southeast Asia and China to sea vessels for delivery to the Far Eastern ports of Russia, which is the main link in the transport and logistics chains of parallel imports. Today, the terminal and logistics infrastructure of the port Busan cannot manage the processing of increasing volumes of container traffic, sea and land transport is idle waiting for technological operations, which leads to logistical risks. The purpose of this article is to determine the reserves of the processing capacity of the Busan transport hub, taking into account the reorientation of part of the container traffic to rail transport. To achieve this goal, a program was developed to assess the processing capacity of the elements of the transport hub with the change in container traffic volume. The objectives of this study are to analyze the volume of container processing in the port Busan, to develop a technological scheme for the interaction of infrastructure facilities and to simulate the operation of subsystems of the Busan transport hub.

The subject of this study is the transport and terminal logistics infrastructure of the Busan transport hub. Theoretical and mathematical research methods, including modeling, visualization and comparison, are used in this work. The article presents the results of two modeling scenarios - with existing volumes of work and with infrastructural re-equipment for processing future container flow. A phased development of the processing capacity of the Busan transport hub is proposed, including infrastructure modernization, organizational, technological and technical measures.

### Keywords

simulation modeling, terminal and logistics infrastructure, transport hub, Busan port

### For citation

Taek Young Lee, Korol' R.G. Imitatsionnoe modelirovanie i otsenka pererabatyvayushchei sposobnosti elementov transportnogo uzla Pusan [Simulation modeling and evaluation of processing capacity of Busan transport hub elements]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2022, no. 3 (75), pp. 171–180. – DOI: 10.26731/1813-9108.2022.3(75).171-180.

### Article Info

Received: September 6, 2022; Revised: September 19, 2022; Accepted: September 20, 2022.

### Введение

На формирование транспортно-логистических цепей в Республике Корея (РК) влияют география, топография и история. РК является полуостровным государством, на севере граничит с Корейской Народной Демократической Республикой, поэтому международные перевозки связаны с развитием морского и воздушного транспорта, внутренние перевозки в основном осуществляются автомобильным и железнодорожным транспортом. Каждый вид транспорта в рамках транспортной системы РК, выполняет определенную функцию в соответствии с технико-экономическими особенностями, провозной и пропускной способностью, географическими и историческими особенностями развития. Железнодорожный транспорт в РК, по сравнению с автомобильным, в сфере организации грузовых перевозок имеет долю 2 % (рис. 1). При этом железнодорожный транспорт наиболее востребован среди населения для осуществления высокоскоростных пассажирских перевозок между крупными города-

ми на средние и дальние расстояния.

В настоящее время инфраструктура железнодорожного транспорта РК развивается для внутренних перевозок, так как не имеет выхода на континентальную транспортную сеть. Политическое и экономическое сотрудничество двух стран Корейского полуострова позволит обеспечить интеграцию железных дорог РК в международную транспортную сеть, что потребует корректировки плана развития железнодорожной отрасли в связи с перспективным увеличением грузопотока.

Организация Транскорейской железнодорожной магистрали с примыканием к железным дорогам Китая и Транссибирской магистрали активизирует переход с морского транспорта на железнодорожный транспорт грузоотправителей, ориентированных на рынки сбыта в странах СНГ и Юго-Восточной Азии, так как транспортировка грузов наземным транспортом позволит сократить стоимость и время доставки. Для стран Азиатско-Тихоокеанского региона появится возможность организации мультимо-

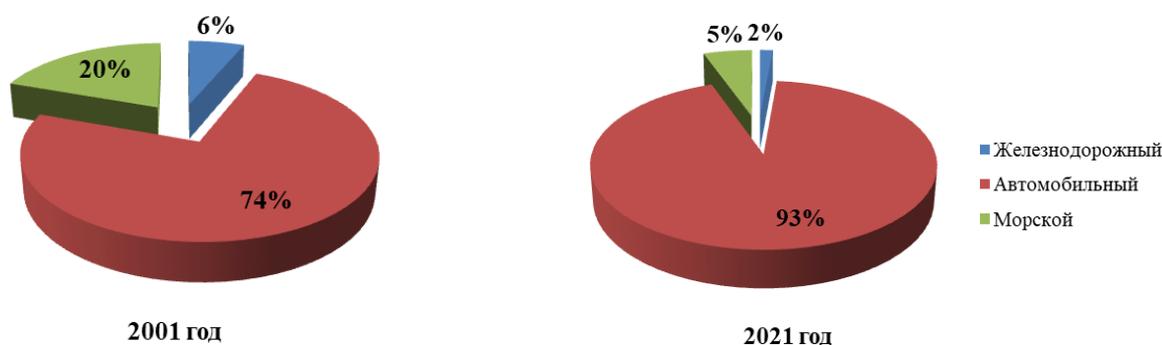


Рис. 1. Долевое распределение объема внутренних грузоперевозок Республики Корея по видам транспорта в 2001 и 2021 г.

Fig. 1. The share distribution of the volume of domestic cargo transportation of the Republic of Korea by means of transport in 2001 and 2021 years

дальних перевозок грузов железнодорожным транспортом с прямым выходом на морской порт Пусан (РК) и отправки грузов морским транспортом. Актуальным является исследование загрузки транспортно-логистических элементов и выявление резервов перерабатывающей способности транспортного узла Пусан.

### Характеристика транспортного узла Пусан

Используя морские пути сообщения, РК осуществляет перевозку 99,7 % внешнеторговых грузов. Общее количество портов РК составляет 50, из них 28 работают с экспортно-импортными грузами, остальные порты занимают каботажными перевозками между портами страны [1]. В табл. представлена характеристика терминально-логистической инфраструктуры и показатели перерабатывающей способности основных портов РК: Пусан, Ульсан, Кванъян, Инчхон и Пхентхэк Танджин. Наиболее крупным портом РК является порт Пусан, в 2021 г. перерабатывающая способность составила более 414 млн т [2].

Анализ инфраструктурного оснащения терминально-логистических объектов морских портов РК позволяет установить, что наибольшие площади и вместимость открытых площадок, предназначенных в первую очередь для работы с контейнерами, размещаются в портах Пусан и Инчхон. Основной объем переработки генеральных грузов обеспечивается в порту Кванъян.

Транспортный узел Пусан увеличил перерабатывающие мощности путем строитель-

ства в 2010 г. дополнительных терминалов – Новый порт Пусан, который специализирован под обработку крупнотоннажных контейнеров [2]. Новый порт Пусан включает три причала на северном контейнерном терминале, два причала на южном терминале и многофункциональный терминал на восточном направлении. Железнодорожная станция, обслуживающая Новый порт Пусан, расположена в 6 км к северу от порта, к станции примыкают железнодорожные пути, ведущие к ст. Букчолсонгжанг, которая расположена на северном контейнерном терминале, и к ст. Намчолсонгжанг, которая обслуживает южный контейнерный терминал.

В 2021 г. на терминалах порта Пусан было обработано более 22,7 млн контейнеров (рис. 2), из общего контейнеропотока 68,5 % было сконцентрировано на терминалах Нового порта Пусан. В 2020 г. эпидемиологические ограничения повлияли на деятельность порта Пусан, общий объем контейнерных перевозок уменьшился. За восемь месяцев 2022 г. контейнерооборот порта Пусан составил 15 022 тыс. контейнеров [3]. Достижение показателей работы транспортного узла Пусан обеспечивается за счет развития железнодорожной инфраструктуры на этапе строительства Нового порта Пусан, что позволяет повысить эффективность взаимодействия порта Пусан и железной дороги.

Удельный вес автомобильных перевозок при завозе / вывозе контейнеров на терминалы порта Пусан составляет 94,3 %, такая ситуация характерна для всей транспортно-

**Таблица 1.** Терминально-логистическая характеристика и перерабатывающая способность основных морских портов Республики Корея

**Table 1.** Terminal and logistics characteristics and processing capacity of the main seaports of the Republic of Korea

Порты Ports	Причальная стенка, м mooring wall, m	Площадь складов генеральных грузов тыс. м <sup>2</sup> General cargo warehouses area, thousand square meters	Вместимость складов генеральных грузов, тыс. т General cargo warehouse capacity thousand t	Площадь контейнерных терминалов, тыс. м <sup>2</sup> Container terminals' area, thousand square meters	Вместимость открытых площадок, тыс. т Open site capacity, thousand t	Перерабатывающая способность, млн т Processing capacity, mln t
Инчхон Incheon	25 988	115,6	186,1	4 098,8	10 840,5	144,204
Пхентхэк Танджин Pyeongtak Dangjin	14 424	73,9	253,2	2 313,3	6 940,6	97,504
Кванъян Kwangyang	24 981	2 298,4	7 840,0	1 998,5	3 997,1	211,238
Пусан Busan	32 561	124,5	81,3	2 609,9	18 171,7	414,093
Ульсан Ulsan	20 668	56,4	464,8	1 223,9	3 631,3	78,816

логистической отрасли РК. Объем железнодорожных контейнерных перевозок снизился и в 2021 г. составил 5,7 % от общего объема завоза / вывоза контейнеров в порт Пусан (рис. 2). Это связано с уровнем развития инфраструктуры, конкурентоспособностью и тенденциями логистического рынка. Увеличение объемов перевозки грузов морским транспортом по всей номенклатуре грузов требует разработки этапов развития портовых мощностей, обеспечивающих хранение и переработку дополнительных объемов грузо- и контейнеропотоков. До 2025 г. на базе порта Пусан планируется создание мирового транспортно-логистического хаба с объемом работы 30 млн контейнеров.

Организация железнодорожного сообщения между Южной и Северной Кореей позволит повысить востребованность и загрузку железнодорожного транспорта путем формирования транспортно-логистических цепей доставки транзитных грузов на направлении «Азия – Европа – Азия» с учетом передачи внешнеторгового контейнеропотока с морского транспорта на железнодорожный транспорт [4]. Для оценки текущей загруженности железнодорожной и терминально-логистической инфраструктуры транспортного узла Пусан в условиях изменения объемов поступающего контейнеропотока в Дальневосточном государственном университете путей сообщения была разработана программа оценки перерабатывающей способности элементов транспортного узла при изменении

объемов контейнеропотока [5]. Особенность программы заключается в представлении комплексного анализа загруженности элементов транспортного узла с учетом различных вариантов технического и инфраструктурного оснащения. Имитационное моделирование позволяет определить инфраструктурно-технологические элементы, ограничивающие производительность системы [6–8].

### Имитационное моделирование перерабатывающей способности элементов транспортного узла

Разработанная авторами программа является универсальной и позволяет исследовать процесс переработки внешнеторговых контейнерных грузов на примере инфраструктурного оснащения транспортного узла Пусан. Технологический процесс перемещения контейнеров между основными элементами транспортного узла Пусан реализуется последовательностью следующих операций:

- прибытие морских судов и железнодорожных составов;
- завоз / вывоз контейнеров автомобильным транспортом;
- грузовые операции на контейнерных площадках железнодорожного транспорта и причалов порта;
- перемещение внутритерминальных автоперевозчиков контейнеров по маршруту «контейнерная площадка железнодорожного транс-

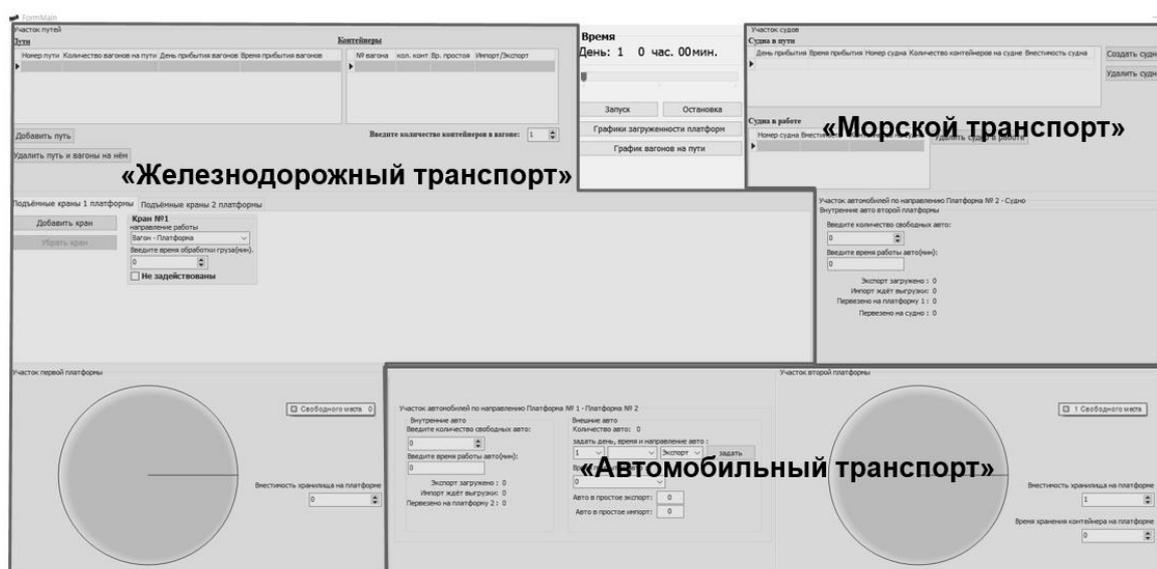


Рис. 3. Интерфейс ввода исходных данных в программу имитационного моделирования  
Fig. 3. Interface for input of source data into the simulation program

порта – контейнерная площадка морского порта».

Перечисленные технологические операции выполняются с учетом имеющихся инфраструктурных ограничений, влияющих на перерабатывающую и пропускную способность узла. Визуальный интерфейс программы представлен на рис. 3.

Интерфейс программы включает три взаимодействующих вида транспорта в узле: железнодорожный, морской и автомобильный. Каждый вид транспорта характеризуется инфраструктурными и технико-технологическими параметрами: транспортная инфраструктура (количество и вместимость путей припортового железнодорожного парка, вместимость причальной стенки порта, контейнероёмкость судов и вагонов); терминально-логистическая инфраструктура (ёмкость контейнерных площадок, количество подъёмно-транспортных механизмов, количество внутритерминальных машин). Учитывается также неравномерность прибытия и отправления железнодорожного, автомобильного и морского транспорта [9]. Имитационное моделирование осуществляется на основе временных параметров работы взаимодействующих элементов транспортного узла: дата и время прибытия судов, пе-

редаточных поездов и внешних автомобилей, продолжительность выполнения грузовых операций с контейнерами на каждом этапе обработки, срок хранения контейнеров на площадках, технологическое время на перемещение контейнеров внутритерминальными автомобилями (рис. 4). Логика моделирования построена на последовательном перемещении транзакта по этапам технологического процесса переработки контейнеров в транспортном узле. Время перемещения и нахождения транзакта (контейнера) на каждом этапе процесса моделирования зависит от продолжительности совершения технологических операций с контейнером на каждом элементе транспортного узла [10].

Основной объём контейнеропотока проходит через южный контейнерный терминал Нового порта транспортного узла Пусан, который обслуживается железнодорожной станцией, включающей парк приема и восемь погрузочно-разгрузочных путей, также на территории станции расположена контейнерная площадка (участок 1). Контейнерный терминал морского порта состоит из двух основных технологических зон – зона грузовых операций с судами и зона накопления контейнеров для по-



**Рис. 4.** Технологическая схема работы Пусанского транспортного узла:

( $t_1$  – время грузовых операций с судами;  $t_2$  – время грузовых операций с внутритерминальным автотранспортом на причале порта;  $t_3$  – продолжительность перемещения контейнеров внутритерминальными автомобилями с грузового фронта причала на контейнерную площадку порта;  $t_4$  – время грузовых операций с внутритерминальным автотранспортом на контейнерной площадке порта;  $t_5$  – время грузовых операций на контейнерной площадке порта с внешними и внутритерминальными автомобилями;  $t_6$  – продолжительность перевозки контейнеров внутритерминальными автомобилями с контейнерной площадки порта на железнодорожную контейнерную площадку;  $t_7$  – время грузовых операций с внутритерминальным автотранспортом на железнодорожной контейнерной площадке;  $t_8$  – время грузовых операций с железнодорожным подвижным составом

(в программе единицей времени является минута)

**Fig. 4.** Technological scheme of the Busan transport hub:

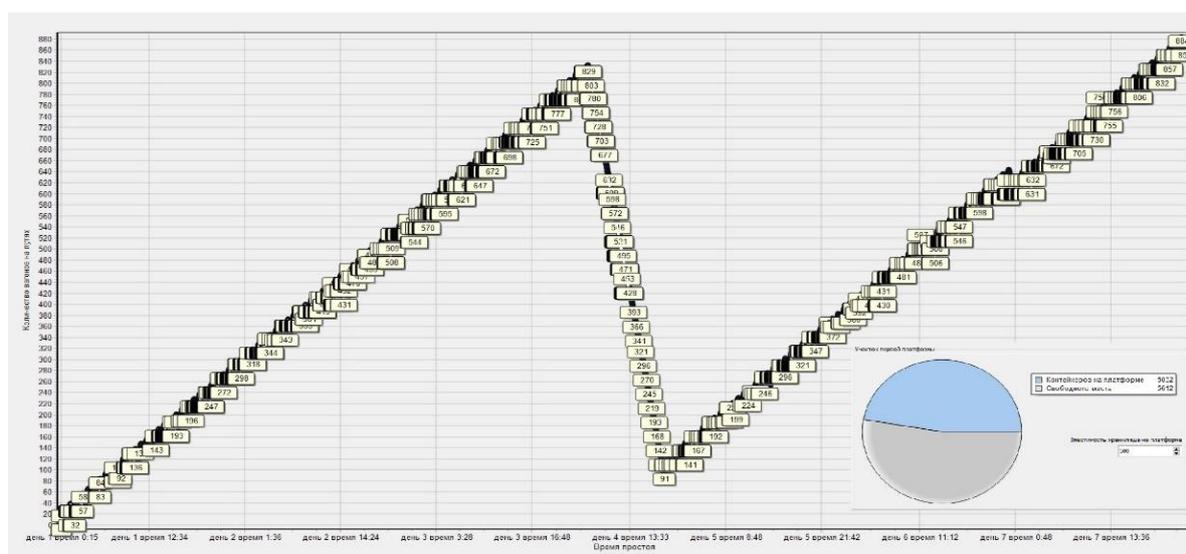
$t_1$  – time of cargo operations with ships;  $t_2$  – time of cargo operations with terminal vehicles at the port berth;  $t_3$  – duration of container movement by terminal vehicles from the cargo front of the berth to the container platform of the port;  $t_4$  – time of cargo operations with terminal vehicles on the container platform of the port;  $t_5$  – time of cargo operations on the container platform of the port with external and terminal vehicles;  $t_6$  – duration of transportation containers are intra – terminal by vehicles from the container site of the port to the railway container site;  $t_7$  – time of cargo operations with intra – terminal vehicles at the railway container site;  $t_8$  – time freight operations with railway rolling stock (in the program, the unit of time is a minute)

следующей передачи на железнодорожный и автомобильный транспорт (участок 2). Перемещение контейнеров между участками осуществляют внутртерминальные автотранспортные средства. Программа имитационного моделирования функционирует на основе статистических данных о количестве прибывающих контейнеров, нахождении судов на причалах порта, вагонов на станции и грузового внешнего автотранспорта на территории морского порта, фактической вместимости контейнерных площадок, среднем времени обработки и хранения контейнеров на каждой контейнерной площадке [11].

Целью имитационного моделирования работы транспортного узла Пусан (Новый порт Пусан) в условиях неравномерности прибытия железнодорожного, автомобильного и морского транспорта, а также при максимальных суточных объемах поступления и переработки контейнеров является оценка степени загрузки контейнерных площадок, подъемно-транспортного оборудования и занятости путей железнодорожного парка припортовой станции. Оценка степени загруженности терминально-логистических объектов и наличия резервов перерабатывающей способности железнодорожной подсистемы транспортного узла Пусан происходит путем сопоставления результатов имитационного моделирования переработки среднесуточных объемов вагонопотока при су-

ществующем инфраструктурном оснащении и в условиях технического переоснащения железнодорожной контейнерной площадки с увеличением объемов поступающего контейнеропотока [12]. Для инициализации имитационной модели использованы следующие входные данные (рис. 5): ежесуточное прибытие 30 поездов; состав передаточного поезда 33 вагона; 2 контейнера на платформе; 4 подъемно-транспортных механизма на железнодорожном контейнерном терминале; 8 погрузочно-выгрузочных железнодорожных путей. Контейнерные площадки порта принадлежат компаниям АО «PNIT», АО «PNC», АО «HJNC» с общей вместимостью 10 650 контейнеро-мест. Временной период моделирования – 7 сут.

Анализ графика загруженности железнодорожной контейнерной площадки транспортного узла Пусан (см. рис. 5) показывает, что при заданном среднем времени обработки подъемно-транспортными механизмами поступающего вагонопотока с учетом выходного дня (день простоя), когда не прибывают поезда, количество вагонов на путях станции в ожидании грузовых операций составляет 91 вагон, соответственно, с увеличением периода моделирования количество вагонов в железнодорожном парке будет продолжать накапливаться, что может привести к нехватке железнодорожных путей для приема поездов. При этом загруженность железнодорожной контейнерной



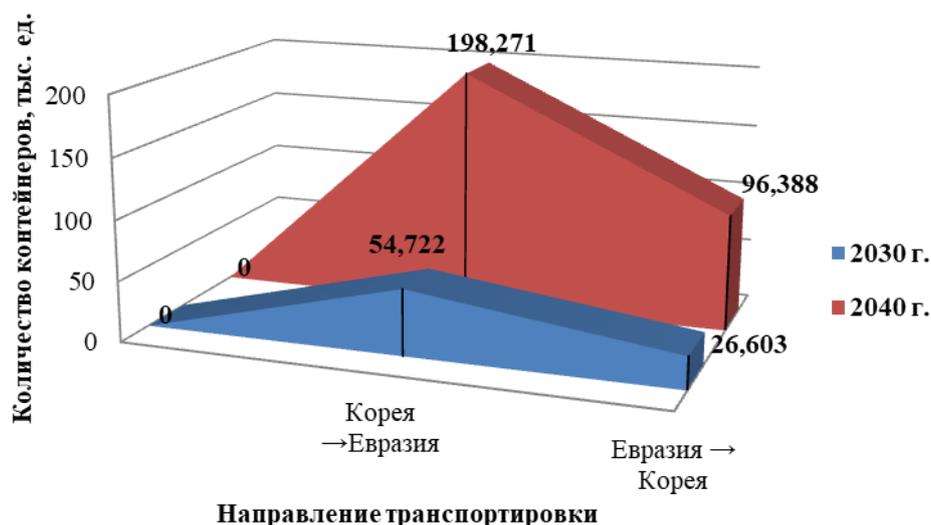
**Рис. 5.** Результаты имитационного моделирования работы железнодорожной контейнерной площадки транспортного узла Пусан при существующих объемах поступающего вагонопотока

**Fig. 5.** Results of simulation modeling of the railway container platform operation at the Busan transport hub with the existing volumes of incoming wagons

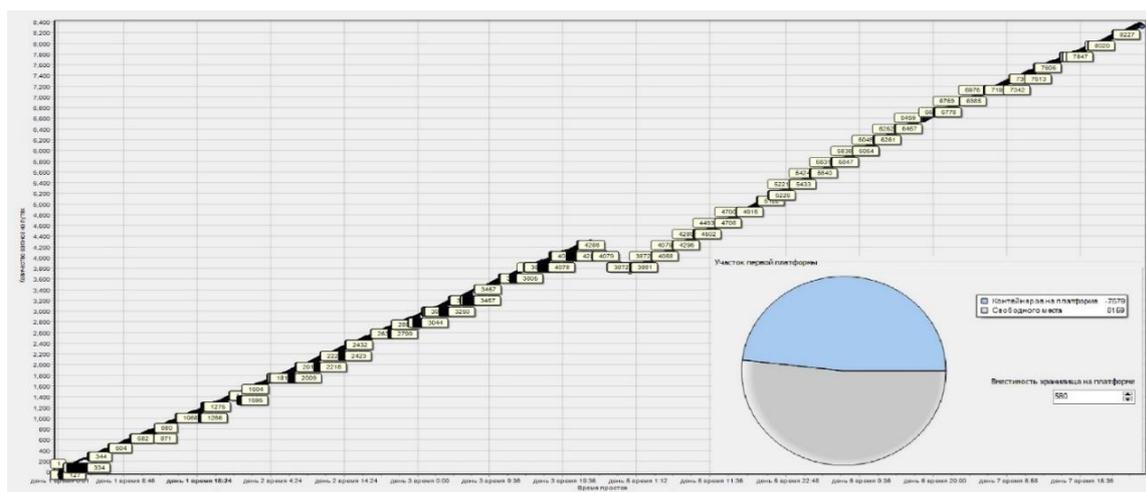
площадки составляет не более 60 %, она имеет достаточный резерв для обработки поступающего контейнеропотока. Таким образом, лимитирующим звеном железнодорожной подсистемы транспортного узла Пусан является недостаточное количество погрузочно-выгрузочных путей и подъемно-транспортного оборудования. В условиях перенаправления транзитного контейнеропотока на железнодорожный транспорт требуется реализация мероприятий по усилению железнодорожной инфраструктуры и техническому переоснащению

терминальных объектов [13]. Согласно прогнозам специалистов транспортной отрасли и ученых Южной Кореи [14], транспортировка контейнеров из РК в западном направлении может составить к 2030 г. более 54 млн TEUs и к 2040 г. увеличиться в четыре раза, достигнув значения порядка 200 млн контейнеров (рис. 6).

На рис. 7 визуализированы результаты имитационного моделирования при увеличении объема поступающего вагонопотока и инфраструктурном переоснащении железнодорожной контейнерной площадки транспортного узла



**Рис. 6.** Прогнозные значения объемов контейнерных железнодорожных перевозок на направлении «Республика Корея – Евразия – Республика Корея»  
**Fig. 6.** Forecast values of container rail traffic volumes on the route «Republic of Korea – Eurasia – Republic of Korea»



**Рис. 7.** Результаты имитационного моделирования работы железнодорожной контейнерной площадки транспортного узла Пусан при увеличении объемов поступающего вагонопотока и инфраструктурном переоснащении  
**Fig. 7.** The results of simulation modeling of the railway container site operation at the Busan transport hub with an increase in the bulk of incoming wagons and infrastructural re-equipment

Пусан: ежедневное прибытие 60 поездов, состав передаточного поезда 33 вагона, два контейнера на платформе, 6 подъемно-транспортных механизма на железнодорожном контейнерном терминале с круглосуточным режимом работы, 12 погрузочно-выгрузочных путей железнодорожного парка, временной период моделирования – 7 суток.

Результаты имитационного моделирования (см. рис. 7) в условиях интенсивного поступления вагонов с контейнерами, увеличения количества железнодорожных путей и механизмов показывают, что на четвертые сутки (день простоя) было обработано в 5 раз больше вагонов относительно первых результатов моделирования, при этом происходит накопление значительного вагонопотока на путях станции в ожидании обработки козловыми кранами. В выходной день (четвертый день), когда не прибывают вагоны на станцию, подъемно-транспортное оборудование не справляется с поступающим контейнеропотоком и при дальнейшем интенсивном поступлении вагонов произойдет заполнение подвижным составом путей железнодорожного парка, что приведет к нарушению стабильного функционирования железнодорожной подсистемы транспортного узла Пусан. Существенное влияние на процессы переработки контейнеропотока оказывают временные параметры: продолжительность грузовых операций, технологические операции с подвижным составом, время хранения грузов и таможенных процедур, а также время перемещения внутри-терминального автотранспорта на участке «железнодорожная контейнерная площадка – контейнерная площадка морского порта – железнодорожная контейнерная площадка» [15–17]. Учитывая полученные результаты имитационного моделирования работы транспортного узла, необходимо комплексно подходить к развитию пропускной и перерабатывающей способности элементов транспортного узла Пусан, рассматривая инфраструктурные, технические и организационно-технологические мероприятия [18].

### Заключение

Имитационное моделирование является инструментом, позволяющим учесть множество переменных системы и в динамическом состоянии проанализировать работоспособность отдельных элементов и подсистем рассматриваемого объекта [19]. Моделирование таких сложных систем, как транспортный узел,

который включает объекты различных видов транспорта, требует учета технологических цепочек передачи контейнеров в данной системе и особенностей функционирования инфраструктурных элементов каждого вида транспорта в узле [20–22]. Авторами проведена научно-исследовательская работа, посвященная оценке перерабатывающей способности элементов транспортного узла Пусан при увеличении объемов поступающего контейнеропотока железнодорожным транспортом. Разработанная программа имитационного моделирования является универсальной, при этом имеет следующие допущения:

- динамическим объектом в программе является контейнер, другие грузы не учитываются;
- существует ограничение на количество используемого погрузочно-разгрузочного оборудования на причалах порта, отсутствует разделение технологических зон по причалам;
- время прибытия внешних автомобилей, осуществляющих завоз и вывоз контейнеров, задается случайными периодами.

Результаты имитационного моделирования представлены в виде графиков (см. рис. 5, 7) функционирования железнодорожной площадки транспортного узла Пусан в условиях увеличения количества прибывающих поездов при существующей технологии работы и времени на выполнение технологических и терминальных операций. С учетом инфраструктурного переоснащения железнодорожной подсистемы транспортного узла и двукратном увеличении обрабатываемого вагонопотока, подсистема не способна функционировать в нормальном режиме, что может привести к проблемам в работе всего Пусанского транспортного узла.

В настоящее время большая часть импортных и экспортных контейнеров (см. рис. 1) перевозится автомобильным транспортом в РК, в том числе через транспортный узел Пусан. Это означает, что необходима разработка оптимальных мер с учетом всех аспектов организации, технологии и инфраструктурного оснащения подсистем транспортного узла для постепенной передачи контейнерных перевозок на железнодорожный транспорт. Поэтому требуется поэтапное развитие пропускной и перерабатывающей способностей элементов транспортного узла, включающее организационно-технологические, технические и инфраструктурные решения.

## Список литературы

1. Ли Т.Е., Король Р.Г. Развитие транспортного узла Пусан для организации транскорейских железнодорожных перевозок // Изв. Транссиба. 2021. № 1 (45). С. 122–133.
2. A study to establish a complex logistics network connecting port-continental railways / E.K. Lee, J.W. Seo, G.S. Kil et al. // National Research Council for Economics, Humanities and Social sciences. 2018. Vol. 61. P. 146.
3. Container Statistics of Busan Port 2021 // IAPH : site. URL: <https://www.iaphworldports.org/memberports/busan-port-authority/> (дата обращения: 8.09.2022).
4. Светличная С.А. Совершенствование системы распределения международных грузопотоков внутри припортового транспортного узла // Технологический аудит и резервы производства. 2013. Т. 5. № 5 (13). С. 12–14.
5. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022610998, Российская Федерация. Программа оценки перерабатывающей способности элементов транспортного узла при изменении объемов контейнеропотока / Р.Г. Король, Т.Е. Ли: № 2022610264 : заявл. 12.01.2022 : опубл. 18.01.2022. Бюл. №1. 1 с.
6. Козлов П.А., Колокольников В.С., Копылова Е.В. Об имитационном моделировании и имитационных системах // Транспорт Урала. 2019. № 1 (60). С. 3–6.
7. Новиков П.А. Имитационной метод динамического согласования (И-МДС) как аппарат оптимизации сложных технологических процессов на транспорте // Транспорт Урала. 2008. № 3 (18). С. 10–12.
8. Клименко В.В., Морозов А.Н., Проценко О.Д. Моделирование логистической инфраструктуры транспортного узла // Логистика и управление цепями поставок. 2014. № 1 (60). С. 21–29.
9. Mathematical modeling of cargo flow distribution in a regional multimodal transportation system / O. Chislov, V. Bogachev, A. Kravets et al. // Transport Problems. 2021. Vol. 16, № 2. P. 153–165.
10. Ташлыкова А.И. Имитационное моделирование для оценки влияния факторов на продолжительность простоя груза в транспортном узле // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 12-5 (66). С. 156–160.
11. Нечипорук М.В., Анисимов В.А. Имитационное моделирование развития Ванино-Совгаванского мультимодального транспортного узла // Бюл. результатов науч. исслед. 2022. № 3. С. 73–88.
12. Шрамко А.П. Моделирование пропускной способности объединенного транспортного узла с учетом увеличения грузопотоков // Эксплуатация морского транспорта. 2016. № 2 (79). С. 16–24.
13. Копылов М.А. Повышение резерва пропускной способности транспортного узла // Молодой исследователь Дона. 2020. № 2 (23). С. 35–40.
14. Determining values of design parameters for a rail transportation terminal in a container port / B.J. Jeong, B.K. Lee, K.H. Kim et al. // Korean institute of industrial engineers. 2007. Vol. 20, № 4. P. 469–478.
15. Куфтинова Н.Г. Возможности использования имитационного моделирования для анализа транспортных узлов // Транспортное планирование и моделирование : сб. тр. II Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург, 2017. С. 175–179.
16. Андронов С.А., Ульячева О.В. Оценка и повышение пропускной способности транспортного узла посредством имитационного моделирования в среде PTV VISSIM // Системный анализ и логистика. 2022. № 2 (32). С. 113–129.
17. Володарец Н.В., Белоусова Т.П. Имитационное моделирование рабочих процессов в транспортном узле в условиях эксплуатации на основе anylogic // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта. 2018. № 1 (5). С. 244–248.
18. Ли Т.Е., Король Р.Г. Обоснование этапности развития транспортного узла Пусан (Республика Корея) в условиях роста объема перевозок // Транспорт Урала. 2021. № 4 (71). С. 52–57.
19. Рудин Р.Ю. Решение транспортных задач с помощью имитационного моделирования // Достижения науки и образования. 2016. № 11 (12). С. 12–16.
20. Рахмангулов А.Н., Муравьев Д.С. Сценарный подход к развитию морской портовой инфраструктуры с использованием имитационного моделирования // Проблемы инфраструктуры транспортного комплекса : материалы Междунар. науч.-техн. конф. Санкт-Петербург, 2015. С. 108–112.
21. Мазуренко О.И., Русинов И.А. Моделирование тылового грузового фронта морского угольного терминала // Вестн. гос. ун-та морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2021. Т. 13. № 5. С. 636–650.
22. Хашев А.И., Мамаев Э.А., Гуда А.Н. Комбинированное имитационно-аналитическое моделирование в транспортно-логистических системах // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. 2022. № 1 (85). С. 117–125.

## References

1. Lee T.Y., Korol' R.G. Razvitiye transportnogo uzla Pusan dlya organizatsii transkorejskikh zheleznodorozhnykh perevozok [Busan transport hub development for trans-korean railway transportation]. *Izvestiya Transsiba* [Bulletins of Transsib], 2021, no. 1(45), pp. 122–133.
2. Lee E.K., Seo J.W., Kil G.S., Lee S.W., Kang M.H., Choi G.W., Lee S.Y., Kim B.K., Kim E.J., Choi S.W. A study to establish a complex logistics network connecting port-continental railways. *National Research Council for Economics, Humanities and Social sciences*, 2018, vol. 61, P. 146.
3. Container Statistics of Busan Port 2021. Available at: <https://www.iaphworldports.org/memberports/busan-port-authority/> (Accessed September 8, 2022).
4. Svetlichnaya S.A. Sovershenstvovanie sistemy raspredeleniya mezhdunarodnykh gruzopotokov vnutri priportovogo transportnogo uzla [Improving the system of international freight traffic distribution in port transportation hub]. *Tekhnologicheskii audit i rezervy proizvodstva* [Technology Audit and Production Reserves], 2013, vol. 5, no. 5(13), pp. 12–14.
5. Korol R.G., Lee T.Y. Certificate of registration of the computer program RU 2022610998, 18.01.2022.

6. Kozlov P.A., Kolokol'nikov V.S., Kopylova E.V. Ob imitatsionnom modelirovanii i imitatsionnykh sistemakh [About simulation modeling and simulation systems]. *Transport Urala* [Transport of the Urals], 2019, no. 1(60), pp. 3–6.
7. Novikov P.A. Imitatsionnyi metod dinamicheskogo soglasovaniya (I-MDS) kak apparat optimizatsii slozhnykh tekhnologicheskikh protsessov na transporte [Simulation method of dynamic co-ordination (SMDC) as a means for optimization of complex technological processes on transport]. *Transport Urala* [Transport of the Urals], 2008, no. 3(18), pp. 10–12.
8. Klimenko V.V., Morozov A.N., Protsenko O.D. Modelirovanie logisticheskoi infrastruktury transportnogo uzla [Modeling of the logistics infrastructure of a transport hub]. *Logistika i upravlenie tsepyami postavok* [Logistics and supply chain management], 2014, no. 1(60), pp. 21–29.
9. Chislov O., Bogachev V., Kravets A., Bogachev T., Zadorozhnyi V., Bakalov M. Mathematical modeling of cargo flow distribution in a regional multimodal transportation system. *Transport Problems*, 2021, vol. 16, no. 2, pp. 153–165.
10. Tashlykova A.I. Imitatsionnoe modelirovanie dlya otsenki vliyaniya faktorov na prodolzhitel'nost' prostoya gruza v transportnom uzle [Simulation modeling for evaluation of influence of factors on duration of cargo downtime in transport hub]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* [International Scientific Research Journal], 2017, no. 12-5(66), pp. 156–160.
11. Nechiporuk M.V., Anisimov V.A. Imitatsionnoe modelirovanie razvitiya Vanino-Sovgavanskogo mul'timodal'nogo transportnogo uzla [Simulation modeling of Vanino-Sovgavan multimodal transport node development]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy* [The Bulletin of Scientific Research Results], 2022, no. 3, pp. 73–88.
12. Shramko A.P. Modelirovanie propusknoi sposobnosti ob"edinennogo transportnogo uzla s uchetom uvelicheniya gruzopotokov [Modeling of capacity of the integrated transport hub taking into account increase in freight traffics]. *Ekspluatatsiya morskogo transporta* [Operation of marine transport], 2016, no. 2(79), pp. 16–24.
13. Kopylov M.A. Povyshenie rezerva propusknoi sposobnosti transportnogo uzla [The reserve increasing of the transport node bandwidth]. *Molodoi issledovatel' Dona* [Young researcher of the Don], 2020, no. 2(23), pp. 35–40.
14. Jeong B.J., Lee B.K., Kim K.H., Seo J.H., Park S.O. Determining values of design parameters for a rail transportation terminal in a container port. Korean institute of industrial engineers, 2007, pp. 469–478.
15. Kuftinova N.G. Vozmozhnosti ispol'zovaniya imitatsionnogo modelirovaniya dlya analiza transportnykh uzlov [The possibility of using simulation for the analysis of transport nodes]. *Materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnoe planirovanie i modelirovanie»* [Proceedings of II International Scientific and Practical Conference «Transport Planning and Modeling»]. Saint-Petersburg, 2017, pp. 175–179.
16. Andronov S.A., Ul'vacheva O.V. Otsenka i povyshenie propusknoi sposobnosti transportnogo uzla posredstvom imitatsionnogo modelirovaniya v srede PTV VISSIM [Assessment and increase of the capacity of the transport hub through simulation in The PTV VISSIM environment]. *Sistemnyi analiz i logistika* [System analysis and logistics], 2022, no. 2(32), pp. 113–129.
17. Volodarets N.V., Belousova T.P. Imitatsionnoe modelirovanie rabochikh protsessov v transportnom uzle v usloviyakh ekspluatatsii na osnove anylogic [Simulation of working processes in a transport node under the operating conditions on the basis of anylogic]. *Sovremennye innovatsionnye tekhnologii podgotovki inzhenernykh kadrov dlya gornoj promyshlennosti i transporta* [Modern innovative technologies of engineering personnel training for mining and transport], 2018, no. 1(5), pp. 244–248.
18. Lee T.Y., Korol R.G. Obosnovanie etapnosti razvitiya transportnogo uzla Pusan (Respublika Koreya) v usloviyakh rosta ob"ema perevozok [Justification of the stages of development of The Busan transport hub (Republic of Korea) in the context of an increase in the volume of traffic]. *Transport Urala* [Transport of the Urals], 2021, no. 4(71), pp. 52–57.
19. Rudin R. Yu. Reshenie transportnykh zadach s pomoshch'yu imitatsionnogo modelirovaniya [Solving transport problems using simulation modeling]. *Dostizheniya nauki i obrazovaniya* [Achievements of science and education], 2016, no. 11(12), pp. 12–16.
20. Rakhmangulov A.N., Murav'ev D.S. Stsenarnyi podkhod k razvitiyu morskoi portovoi infrastruktury s ispol'zovaniem imitatsionnogo modelirovaniya [Scenarios approach of sea port infrastructure development with simulation modeling using]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnoe planirovanie i modelirovanie»* [Proceedings of International Scientific and Practical Conference «Transport Planning and Modeling»]. Saint-Petersburg, 2015, pp. 108–112.
21. Mazurenko O.I., Rusinov I.A. Modelirovanie tylovogo gruzovogo fronta morskogo ugol'nogo terminala [Simulation modeling of the rear cargo fronts of marine coal terminals]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova* [Bulletin of state university sea and river fleet named after S.O. Makarov], 2021, vol. 13, no. 5, pp. 636–650.
22. Khashev A.I., Mamaev E.A., Guda A.N. Kombinirovannoe imitatsionno-analiticheskoe modelirovanie v transportno-logisticheskikh sistemakh [The combined simulation and analytical modeling in transport and logistics systems]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletin of Rostov State Transport University], 2022, no. 1(85), pp. 117–125.

### Информация об авторах

**Ли Тэк Енг**, соискатель кафедры технологии транспортных процессов и логистики, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск; e-mail: emyahoo21@nate.com.

**Король Роман Григорьевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии транспортных процессов и логистики, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск; e-mail: kingkhv27@mail.ru.

### Information about the authors

**Taek Young Lee**, applicant of the Department of Technology of transport processes and logistics, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk; e-mail: emyahoo21@nate.com.

**Roman G. Korol**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Department of Technology of transport processes and logistics, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk; e-mail: kingkhv27@mail.ru.