

Т. Е. Ли, Р. Г. Король

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭТАПНОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА ПУСАН

Аннотация. Проект объединения корейских железных дорог необходим для конкурентоспособности международной логистики. Транспортный узел Пусан будет ключевым объектом на Транскорейской железнодорожной магистрали, которому в перспективе потребуется развитие для освоения увеличивающегося объема грузовых перевозок. Поэтому цель данной работы заключается в оценке эффективности мероприятий этапного развития транспортного узла Пусан. Задачи включают математическое описание этапного перехода между организационно-технологическими, техническими и инфраструктурными мероприятиями. Предмет исследования – железнодорожная, портовая и автотранспортная подсистемы транспортного узла Пусан. Работа выполнена с помощью математических методов исследования. В работе предложено создание Центра управления транспортного узла, который осуществляет оперативный обмен информацией с администрацией порта Пусан, компанией KORAIL, терминалами и контролирующими органами. Организация Центра управления транспортного узла повысит эффективность мультимодальных перевозок за счет исключения дублирования задач при управлении и передаче информации между субъектами транспортно-логистического процесса. В завершении статьи рассмотрен четвертый этап развития транспортного узла в виде создания нового транспортного узла или «сухого порта», а также описан экономический эффект для участников логистического процесса и транспортной системы Республики Корея.

Ключевые слова: транспортный узел, сухой порт, транспортно-логистический центр, Транскорейская железная дорога, морской порт Пусан.

Для цитирования: Ли, Т. Е. Оценка эффективности этапного развития транспортного узла Пусан / Т. Е. Ли, Р. Г. Король // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 2. – С. 217–230. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_2_217.

Введение

Транспортно-логистическое сопровождение международного товарообмена в условиях развития инфокоммуникационных технологий и инфраструктурного сопряжения видов транспорта позволяет минимизировать время транспортировки грузов и повысить конкурентоспособность маршрутов доставки, что является стратегическим вопросом внешней торговли Республики Корея (РК). При стабилизации политической обстановки на Корейском полуострове возможно объединение корейских железных дорог и последующая интеграция с континентальной железнодорожной сетью, поэтому подготовка инфраструктуры и технологического взаимодействия являются обязательным условием создания Транскорейской железной дороги [1]. Ключевым элементом новой железнодорожной магистрали будет транспортный узел Пусан, который включает несколько портовых комплексов, где основным является Новый порт Пусан. Соединение корейских железных дорог с выходом на континентальную транспортную сеть приведет к росту грузопотоков и соответственно повышению загруженности терминально-логистической инфраструктуры транспортного узла Пусан. Поэтому в работе рассматривается этапный подход к развитию транспортного узла Пусан при увеличении количества поступающего транспорта и контейнеров с учетом оптимальности финансовых вложений и результативности предлагаемых мероприятий за определенный временной период [2].

Основная часть

Для освоения перспективных объемов грузопотока развитие транспортного узла Пусан включает следующие этапы:

1) *Организационно-технологический*. Организационно-технологические мероприятия, направленные на развитие транспортного узла Пусан, представлены с двух позиций – на уровне Правительства Республики и на уровне транспортного узла. На правительственном уровне необходимо разграничить сферы влияния и управления объектами транспортного узла Пусан между Министерством земли, инфраструктуры и транспорта и Министерством морских дел и рыболовства. Министерство земли, инфраструктуры и транспорта Республики Корея является государственным органом управления железнодорожным транспортом, при этом железнодорожные грузовые терминалы, расположенные на территории порта, находятся в управлении Министерства морских дел и рыболовства РК, что приводит к несогласованной работе и недостаточному информационному взаимодействию, а также отсутствию единого подхода к развитию инфраструктуры и привлечению инвестиций. Вопросы интеграции государственных ведомств относятся к полномочиям Правительства РК, поэтому необходимо передать Министерству земли, инфраструктуры и транспорта функционал, который связан с управлением погрузо-разгрузочной железнодорожной площадкой в морском порту [3].

Другим вариантом повышения эффективности государственной политики в области транспорта является организация «Министерства транспорта» путем объединения транспортного сектора Министерства земли, инфраструктуры и транспорта и сектора морской транспортной работы Министерства морских дел и рыболовства (рис. 1).



Рис. 1. Предлагаемая организационная структура «Министерства транспорта» Республики Корея

Предлагаемое «Министерство транспорта» регулирует работу автомобильного, железнодорожного, воздушного, морского транспорта и вопросы комплексной логистики, чтобы повысить эффективность реализации национальной политики и бюджетных инвестиций в транспортную отрасль.

На уровне функционирования транспортного узла к организационно-технологическим мероприятиям относится создание Центра управления транспортного узла, который координирует взаимодействие видов транспорта и осуществляет общее управление работой транспортного узла (рис. 2).



Рис. 2. Предлагаемая схема информационного взаимодействия в транспортном узле Пусан при наличии Центра управления транспортного узла

$$T_{0 \rightarrow 1} = \begin{cases} V_0^{max} \leq V_0 + (k_0 \times V_{пере}^{max}) \\ k_0 = \frac{F_{пере,эт0}^{узел, макс} - \left(\frac{\sum_{y=1}^n V_{0,y}}{n}\right)}{\left(\frac{\sum_{y=1}^n V_{пере,y}^{max}}{n}\right)} = \frac{3175 - \left(\frac{2097+1987+2345+2165+1970}{5}\right)}{\left(\frac{20642+23645+24531+25608+26434}{5}\right)} = 0,044. \\ 0,044 \leq k_1 < 0,088 \end{cases} \quad (1)$$

Экономическое обоснование затрат на этапное развитие транспортного узла и увеличение объема переработки контейнеропотока (2):

$$T_{0 \rightarrow 1} = \begin{cases} |V_0^{max} - V_1^{max}| = \Delta V > \sum_{n=1}^x F_n^{эл ТУ} \\ T_v^{обп} \rightarrow max \\ C_0^{pre} + C_1^{lost} \geq \sum_{f=1}^m c_n^f \end{cases}, \quad (2)$$

где V_n – суточные объемы обработки поступающих контейнеров на n -м этапе ($n = 0, 1, 2, 3, \dots, x$), конт./сут.; V_n^{max} – максимальные суточные объемы обработки поступающих контейнеров на n -м этапе ($n = 0, 1, 2, 3, \dots, x$), конт./сут.; k_n – коэффициент на этапе « n » ($n = 0, 1, 2, 3$); $V_{пере}^{max}$ – максимальные объемы переработки контейнеров; $\sum_{n=1}^x F_n^{эл ТУ}$ – перерабатывающая способность элементов транспортного узла, конт./сут.; $T_v^{обп}$ – время обработки контейнеров, поступающих на терминалы, ч.; $\sum_{f=1}^m c_n^f$ – стоимость развития факторов f , влияющих на перерабатывающую способность элементов транспортного узла на n -м этапе, у.е.; C_n^{pre} – стоимость выполнения технологических операций с контейнерами и транспортом на n -м этапе, у.е.; C_n^{lost} – стоимость потерь на n -м этапе (например, издержки из-за необработанных объемов контейнеров), у.е. Развитие перерабатывающей способности транспортного узла на первом этапе возможно при выполнении условий, обозначенных в формулах (1)–(2).

Мероприятия первого этапа развития транспортного узла Пусан направлены на минимизацию времени нахождения транспортных средств на объектах транспортного узла путем ускорения грузовых операций. Продолжительность нахождения железнодорожного и автомобильного транспорта в транспортном узле $B_{общ}^{тр}$ состоит из следующих элементов:

$$B_{общ}^{тр} = B_{раб}^{тр} + B_{ожж}^{тр} + B_{дви}^{тр},$$

где $B_{раб}^{тр}$ – продолжительность грузовых операций с транспортом, ч; $B_{ожж}^{тр}$ – время простоя транспорта в ожидании операций, ч; $B_{дви}^{тр}$ – затраты времени на перемещение транспорта между объектами транспортного узла, ч. Продолжительность выполнения грузовых операций на терминалах зависит от производительности используемого подъемно-транспортного оборудования $P_{кр}^n$:

$$P_{кр}^n = \frac{V_{пл.} + V_{нов.}}{B_{раб.}^{кр} + B_{ожж.}^{кр}},$$

где $B_{раб.}^{кр}$ – время работы подъемно-транспортного оборудования, ч; $B_{ожж.}^{кр}$ – время непроизводительного простоя подъемно-транспортного оборудования, ч; $V_{пл.}$ – количество контейнеров, хранящихся на контейнерной площадке, конт., $V_{нов.}$ – количество поступающих контейнеров, конт.

С помощью теоретико-множественной модели в работе расписаны факторы, влияющие на перерабатывающую способность железнодорожного транспорта $\{WT_{тр}^3, S_{тр}^3\}$, автомобильного транспорта $\{WT_{тр}^2, S_{тр}^2, PT_{ворот}^2\}$, железнодорожного грузового терминала $\{S_{кр}^3, P_{кр}^3, P_{кон}^2, PT_{кон}^2, N_{эт}^2\}$, морского порта $\{WT_{тр}^1, S_{тр}^1, S_{кр}^{1,2}, P_{кр}^{1,2}, P_{кон}^1, PT_{кон}^1, N_{эт}^1\}$ [7]. Повышение эффективности работы объектов транспортного узла возможно за счет ускорения грузовых и технологических операций с транспортными средствами и, соответственно, увеличения объемов переработки контейнеров:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min}(WT_{тр}^{1,2,3}, PT_{ворот}^2) \rightarrow \text{Min}(B_{ожж.}^{тр}) \\ \text{Min}(S_{тр}^{1,2,3}) \rightarrow \text{Min}(B_{дви}^{тр}) \end{array} \right\} \rightarrow \text{Min}(B_{общ.}^{тр})$$

$$\therefore \frac{24}{\text{Min}(B_{общ.}^{тр})} \times N_{тр} \rightarrow \text{Max}(N_{тр}^{дос.})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Max}(S_{\text{кр}}^{1,2,3}) \rightarrow \text{Min}(B_{\text{раб.}}^{\text{кр}}) \\ \text{Max}(P_{\text{кон}}^{1,2}, PT_{\text{кон}}^{1,2}, N_{\text{эт}}^{1,2}) \rightarrow \text{Max}(V_{\text{пл.}}) \end{array} \right\} \rightarrow \text{Max}(P_{\text{кр}}^n)$$

$$\therefore \text{Max}(P_{\text{кр}}^n) \times N_{\text{кр}} \rightarrow \text{Max}(N_{\text{кр}}^{\text{доп.}}),$$

где $WT_{\text{тр}}^n$ – время простоя транспортных средств в ожидании технологических и грузовых операций, $S_{\text{тр}}^n$ – скорость движения транспортных средств (маршруты движения: причал порта – железнодорожный терминал, $n = 1$; причал порта – терминал порта, $n = 2$; пути железнодорожной станции, $n = 3$); $S_{\text{кр}}^n$ – технико-эксплуатационное состояние подъемно-транспортного оборудования; $P_{\text{кр}}^n$ – производительность подъемно-транспортного оборудования (зоны работы: судно-причал, $n = 1$; причал-автотранспорт, $n = 2$; автотранспорт – железнодорожный терминал, $n = 3$; железнодорожный терминал – подвижной состав, $n = 4$); $P_{\text{кон}}^n$ – технология складирования контейнеров; $PT_{\text{кон}}^n$ – срок хранения контейнера; $N_{\text{эт}}^n$ – количество этапов переработки контейнеров (контейнерные терминалы морского порта, $n = 1$; контейнерные терминалы железнодорожного транспорта, $n = 2$); $PT_{\text{ворот}}^2$ – затраты времени автотранспорта для проезда контрольно-пропускного пункта (КПП) порта; $N_{\text{тр}}^{\text{доп.}}$ – доступное количество транспортных средств; $N_{\text{тр}}$ – количество транспортных средств.

В табл. 1 представлены мероприятия и эффект их реализации на первом этапе развития транспортного узла.

Таблица 1

Эффективность организационно-технологических мероприятий, направленных на развитие перерабатывающей способности транспортного узла Пусан

Объекты	Наименование мероприятия	Предполагаемый эффект
Автотранспорт	Планирование процесса распределения автомобилей по объектам и участкам	Сокращение времени простоя транспортных средств в ожидании операций
	Ускорение процесса прохождения КПП	
Железнодорожный транспорт	Минимизация времени подачи и уборки вагонов	
	Изменение режима работы	
	Увеличение штата сотрудников	
Терминалы	Увеличение количества работников для управления подъемно-транспортным оборудованием	Увеличение производительности подъемно-транспортного оборудования
	Увеличение количества инженерного персонала для технического обслуживания подъемно-транспортного оборудования	
	Изменения технологии складирования контейнеров, увеличение ярусов хранения	Увеличение емкости и повышение эффективности использования площади
	Распределение контейнеров по этапам переработки	
Общее	Увеличение порога ограничения скорости движения транспортных средств	Ускорение перемещения транспорта

2) *Технические мероприятия.* Технические мероприятия второго этапа, направленные на развитие транспортного узла Пусан, рассматриваются с двух позиций. Первое направление – это увеличение количества автомобильных транспортных средств, осуществляющих внутритерминальные перевозки контейнеров, при этом необходимо обеспечить рациональное количество автотранспорта, чтобы не снизить маневренность транспорта на пространственно-ограниченной территории порта и возникновения аварийных ситуаций. Поэтому эффективность данного мероприятия будет связана с установлением максимального количества используемого автотранспорта и увеличением порога ограничения скорости движения транспортного средства, а также переформирование маршрутов движения транспорта между объектами транспортного узла.

Второй блок технических мероприятий направлен на увеличение количества погрузочно-разгрузочного оборудования, ограничением является высокая стоимость механизмов. Новый порт Пусан

осуществляет обновление парка причального оборудования и повышает уровень автоматизации погрузочно-разгрузочных работ на терминалах. Важным вопросом является выбор оптимального места размещения оборудования с учетом его эксплуатационных характеристик [8].

Объем прироста контейнеропотока от мероприятий первого этапа развития транспортного узла (T_1) до реализации мероприятий второго этапа (T_2):

$$T_{1 \rightarrow 2} = \begin{cases} V_1^{max} \leq V_1 + (k_1 \times V_{пере}^{max}) \\ k_1 = \frac{F_{пере_эт1}^{узл_max} - \left(\frac{\sum_{y=1}^n V_{0,y}}{n} \right)}{\left(\frac{\sum_{y=1}^n V_{пере,y}^{max}}{n} \right)} \\ 0,088 \leq k_1 < 0,132 \end{cases} \quad (3)$$

Экономическая эффективность второго этапа развитие транспортного узла (10):

$$T_{1 \rightarrow 2} = \begin{cases} |V_1^{max} - V_2^{max}| = \Delta V > \sum_{n=1}^x F_n^{эл\ TU} \\ T_v^{обп} \rightarrow \max \\ C_1^{pre} + C_2^{lost} \geq \sum_{f=1}^m c_n^f \end{cases} \quad (4)$$

Развитие перерабатывающей способности транспортного узла на втором этапе возможно при выполнении условий, обозначенных в формулах (3)–(4). Значение коэффициента k_0 (9) означает, что при реализации технических мероприятий второго этапа суточный прирост объема обработки контейнеров на железнодорожных терминалах составит от 8,8 до 13,2 %. Мероприятия второго этапа развития транспортного узла Пусан направлены на определение оптимального количества подъемно-транспортного оборудования $N_{кр}^{кон}$ и транспортных средств для освоения прогнозных значений контейнеропотока $N_{тр}^{кон}$:

$$N_{тр}^{кон} = N_{тр} \times N_{тр-1}^{кон} \times \frac{2440}{B_{общ}^{тр}}$$

$$N_{кр}^{кон} = N_{кр} \times \frac{2440}{B_{общ}^{кр}},$$

где $N_{тр-1}^{кон}$ – количество контейнеров на одном транспортном средстве, конт.

Реализация мероприятий по увеличению перерабатывающей способности объектов транспортного узла за счет увеличения количества транспортных средств и подъемно-транспортного оборудования, а также грузоподъемности подъемно-транспортного оборудования, зависит от окружающей среды, имеющейся площади, инфраструктуры, интенсивности и количества обрабатываемых поездов, автомобилей, вместимости грузовых фронтов и т.д. [9]. Факторы, относящиеся к блоку технических мероприятий второго этапа и влияющие на перерабатывающую способность железнодорожного терминала $\{N_{тр}^3, C_{кр}^4, N_{кр}^4\}$, автомобильного транспорта $\{N_{тр}^2\}$, железнодорожного грузового терминала $\{N_{кр}^3, C_{кр}^3\}$, морского порта $\{N_{тр}^1, N_{кр}^1, C_{кр}^{1,2}\}$. Определение максимально возможного количества используемых транспортных средств и подъемно-транспортного оборудования должно основываться на предельном значении:

$$\begin{aligned} \text{Max}(N_{тр}^{1,2,3}) &\rightarrow \text{Max}(N_{тр}^{кон}) \\ \text{Max}(N_{кр}^{1,2,3,4}) &\rightarrow \text{Max}(N_{кр}^{кон}) \\ \text{Max}(C_{кр}^{1,2,3,4}) &\rightarrow \text{Min}(B_{общ}^{кр}) \rightarrow \text{Max}(N_{кр}^{кон}), \end{aligned}$$

где $N_{тр}^n$ – количество транспортных средств (маршруты движения: причал порта – железнодорожный терминал, $n = 1$; причал порта – терминал порта, $n = 2$; пути железнодорожной станции, $n = 3$); $N_{кр}^n$ – количество подъемно-транспортного оборудования; $C_{кр}^n$ – грузоподъемность подъемно-транспортного оборудования, (зоны работы: судно-причал, $n = 1$; причал-автотранспорт, $n = 2$; автотранспорт – железнодорожный терминал, $n = 3$; железнодорожный терминал – подвижной состав, $n = 4$).

В табл. 2 представлены мероприятия и эффект их реализации на втором этапе развития транспортного узла.

Таблица 2

Эффективность технических мероприятий, направленных на развитие перерабатывающей способности транспортного узла Пусан

Объект	Наименование мероприятия	Предполагаемый эффект
Автомобильный транспорт	Приобретение дополнительных транспортных средств	Увеличение объёмов переработки контейнеров
Железнодорожный транспорт	Увеличение количества вагонов в составе поезда	
	Прием и обработка дополнительных поездов	
Терминалы	Установка дополнительного оборудования	
	Повышение эксплуатационных показателей с помощью высокопроизводительного оборудования	

3) *третий этап*. Третий этап представлен инфраструктурными мероприятиями, которые в перспективе необходимы для организации континентальной железнодорожной магистрали, соединяющей транскорейскую железную дорогу и азиатскую транспортную сеть. В июне 2022 года к западу от Нового порта Пусан был построен шестой причал, в 2023–2024 годах планируется завершить строительство дополнительных причалов [10]. Строительство железнодорожной инфраструктуры для обслуживания западного контейнерного терминала будет завершено в 2026 году, как продолжение железнодорожных путей от Северного железнодорожного терминала [11]. Осуществляется строительство нового порта Чинхэ (2-й Новый порт Пусан), включающий 22 причала для обработки контейнеровозов (рис. 4).

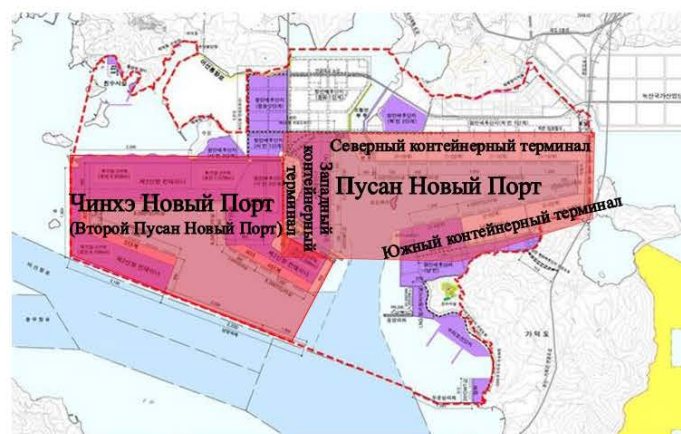


Рис. 4. Схема расположения второго Нового порта Пусан и западного контейнерного терминала

Увеличение доли контейнеропотока между вторым (T_2) и третьим этапами развития транспортного узла (T_3) при реализации инфраструктурных решений соответствует значениям коэффициента k_0 от 13,2 до 17,6 %:

$$T_{2 \rightarrow 3} = \begin{cases} F_{\text{пере_эт3}}^{\text{узел_max}} < 2F_{\text{пере_эт0}}^{\text{узел_max}} \\ V_2^{\text{max}} \leq V_2 + (k_2 \times V_{\text{пере}}^{\text{max}}) \\ k_2 = \frac{F_{\text{пере}}^{\text{узел_max}} - \left(\frac{\sum_{y=1}^n V_{0,y}}{n} \right)}{\left(\frac{\sum_{y=1}^n V_{\text{пере},y}^{\text{max}}}{n} \right)} \\ 0,132 \leq k_2 < 0,176 \end{cases} \quad (5)$$

Экономическая эффективность третьего этапа развитие транспортного узла (17):

$$T_{2 \rightarrow 3} = \begin{cases} |V_2^{max} - V_3^{max}| = \Delta V > \sum_{n=1}^x F_n^{эл\ TV} \\ T_v^{обп} \rightarrow max \\ C_2^{pre} + C_3^{lost} \geq \sum_{f=1}^m c_n^f \end{cases} \quad (6)$$

Развитие перерабатывающей способности транспортного узла на третьем этапе возможно при выполнении условий, обозначенных в формулах (5)–(6). Факторы, влияющие на перерабатывающую способность объектов транспортного узла Пусан в рамках третьего этапа развития: железнодорожный транспорт $\{N_{грф}^4, L_{грф}^4, C_{грф}^4\}$, автомобильный транспорт $\{N_{ворот}^2\}$, железнодорожный терминал $\{N_{грф}^3, L_{грф}^3, C_{грф}^3, A_{пл}^2, UA_{пл}^2\}$, морской порт $\{N_{грф}^1, L_{грф}^1, C_{грф}^1, DE_{грф}^1, A_{пл}^1, UA_{пл}^1\}$. Перерабатывающая способность инфраструктурных объектов транспортного узла Пусан зависит от индивидуальных параметров функционирования и имеющегося подъемно-транспортного оборудования:

$$F_{пог-раз}^{ЖД} = C_{грф} \times N_{тр,1}^{кон}$$

$$F_{хр} = \left(\frac{A_{пл}}{A_{кон,1}} \right) \times \left(\frac{UA_{пл}}{A_{пл}} \right) \times N_{эт}$$

$$F_{про}^{ворот} = \frac{2440}{B_{ож.}^{тр}} \times N_{ворот}$$

$$F_{пог-раз}^{причал} = N_{рд} \times B_{общ}^{кр} \times PPP \times N_{кр} \times C_{кр} \times \frac{B_{раб.}^{тр}}{B_{общ.}^{тр}} \times KR \times KDS \times KBP \times KK \times KPP,$$

где $F_{пог-раз}^n$ – перерабатывающая способность подъемно-транспортного оборудования (n – место размещения); $C_{грф}^n$ – вместимость грузового фронта, ед. транспорта; $F_{хр}$ – емкость терминала, конт.-мест; $A_{пл}^n$ – площадь рассматриваемого терминала, м²; $A_{кон,1}$ – площадь, занимаемая одним контейнером, м²; $UA_{пл}^n$ – фактическая вместимость терминала (контейнерные площадки морского порта, $n = 1$; контейнерные площадки железнодорожного транспорта $n = 2$), конт.-мест; $F_{про}^{ворот}$ – пропускная способность КПП порта, ед. транспорта; $N_{ворот}$ – количество КПП на территории порта, шт.; PPP – процент причала для обслуживания; KR – коэффициент работы оборудования; KDS – коэффициент движения судов; KBP – коэффициент внутрисудовой передачи; KK – коэффициент конверсии; KPP – коэффициент потери работы.

Развитие инфраструктуры напрямую влияет на перерабатывающую способность объектов транспортного узла и требует значительных финансовых средств [12]. Третий этап является завершающим этапом развития транспортного узла путем изменения всех влияющих факторов.

$$\begin{aligned} \text{Max}(N_{грф}^{3,4}, L_{грф}^{3,4}) &\rightarrow \text{Max}(C_{грф}) \rightarrow \text{Max}(F_{пог-раз}^{ЖД}) \\ \text{Max}(A_{пл}^{1,2}, UA_{пл}^{1,2}) &\rightarrow \text{Max}(F_{хр}) \\ \text{Max}(N_{ворот}^2) &\rightarrow \text{Max}(F_{про}^{ворот}) \\ \text{Max}(N_{грф}^1, L_{грф}^1, C_{грф}^1, DE_{грф}^1) &\rightarrow \text{Max}(PPP) \rightarrow \text{Max}(F_{пог-раз}^{причал}), \end{aligned}$$

где $N_{грф}^n$ – количество грузовых фронтов; $L_{грф}^n$ – длина грузового фронтов; $DE_{грф}^n$ – емкость площадок причала; $N_{ворот}^n$ – количество пунктов пропуска автотранспорта на территории порта, ($n = 1$, судно – причал; $n = 2$, причал – автотранспорт; $n = 3$, автотранспорт – железнодорожная площадка; $n = 4$, железнодорожная площадка – железнодорожный транспорт).

В табл. 3 представлены мероприятия и эффект их реализации на третьем этапе развития транспортного узла.

Таблица 3

Эффективность инфраструктурных решений, направленных на развитие перерабатывающей способности транспортного узла Пусан

Объект	Наименование мероприятия	Предполагаемый эффект
Автомобильный транспорт	Увеличение количества пунктов пропуска порта	Увеличение пропускной способности КПП
Железнодорожный транспорт и терминал	Увеличение количества погрузочно-разгрузочных путей	Увеличение перерабатывающей способности железнодорожной подсистемы транспортного узла
	Удлинение железнодорожных путей	
	Расширение контейнерной площадки	
	Совершенствование внутритерминальных перемещений	
Порт	Увеличение количества причалов	Увеличение перерабатывающей способности причальной стенки
	Расширение линии причала	
	Расширение контейнерной площадки	Увеличение перерабатывающей способности терминалов порта
	Совершенствование внутритерминальных перемещений	

Организация морских контейнерных перевозок остается основным инструментом международной внешней торговли для Республики Корея. Процесс возобновления железнодорожного сообщения корейского полуострова с континентальной транспортной сетью является ключевым вопросом развития транспортного комплекса Южной Кореи. Для усиления роли транспортного узла Пусан в данном проекте, необходимо строительство за припортовой станцией Новый порт Пусан терминала «сухой порт» (ICD) с функцией таможенного оформления международных грузов и формирования контейнерных поездов, в перспективе возможно образование грузовой «деревни» [13]. Принятие решения о строительстве терминала «сухой порт» зависит от различных факторов: обоснование места размещения, технологические и инфраструктурные, экономические и правовые вопросы [14]. Поэтому четвертый этап развития транспортного узла Пусан предполагает строительство новых транспортных узлов и «сухих портов». Переход от третьего этапа развития (T_3) к четвертому этапу (T_4):

$$T_{3 \rightarrow 4} = \begin{cases} F_{\text{пере_эт4}}^{\text{узел_max}} \geq 2F_{\text{пере_эт0}}^{\text{узел_max}} \\ V_3^{\text{max}} \leq V_3 + (k_3 \times V_{\text{пере}}^{\text{max}}) \\ k_3 = \frac{F_{\text{пере}}^{\text{узел_max}} - \left(\frac{\sum_{y=1}^n V_{0,y}}{n}\right)}{\left(\frac{\sum_{y=1}^n V_{\text{пере},y}^{\text{max}}}{n}\right)} \\ 0,176 < k_3 \\ F_{\text{пере_эт3}}^{\text{max}} \leq V_3^{\text{max}} \\ T_v^{\text{обп}} \rightarrow \text{max} \\ C_3^{\text{pre}} + C_4^{\text{lost}} \geq \sum_{f=1}^m c_n^f \end{cases}.$$

Эффектом четвертого этапа развития является увеличение перерабатывающей способности всего транспортного узла, когда после реализации инфраструктурных мероприятий третьего этапа, количество поступающих контейнеров больше максимального значения перерабатывающей способности третьего этапа развития транспортного узла. В табл. 4 представлены мероприятия и эффект их реализации на четвертом этапе развития транспортного узла.

Таблица 4

Эффективность стратегических решений четвертого этапа, направленных на развитие перерабатывающей способности транспортного узла Пусан

Объект	Наименование мероприятия	Предполагаемый эффект
Транспортный узел	Строительство «сухого порта»	Увеличение перерабатывающей способности на рассматриваемой территории
	Строительство нового транспортного узла	

Перерабатывающая способность транспортного узла возрастает по мере реализации каждого этапа развития. Для достижения эффекта необходимо осуществлять комплексную реализацию мероприятий, так как этапы взаимосвязаны (рис. 5).



Рис. 5. Взаимосвязь этапов развития транспортного узла

Помимо вышеперечисленных эффектов, предлагаемые меры позволят сократить время транспортировки через транспортный узел и повысить качество взаимодействия морского и железнодорожного транспорта при организации континентальной железной дороги путем соединения с Транскорейской железной дорогой [15].

Выводы

Развитие транспортного узла Пусан обеспечит экономический эффект для участников логистического процесса и позволит повысить национальный имидж транспортной системы Республики Корея за счет:

- а) создания новых международных транспортных коридоров путем предоставления комплекса транспортно-логистических услуг;
- б) увеличения объема грузопотока международного сухопутного коридора, перевозимых грузов по транспортному участку Республики Корея;
- в) обеспечения импортно-экспортных и международных железнодорожных перевозок в смешанном железнодорожно-водном сообщении.

В результате обеспечивается:

- расширение корейского рынка логистики;
- повышение конкурентоспособности корейской транспортной системы.

Для региона создаются следующие благоприятные условия:

- организация логистической деятельности с учетом местных условий и разработка перспективных направлений развития транспортной инфраструктуры в портах и в регионе;
- развитие экономического потенциала территорий, по которым проходят международные транспортные коридоры.

Реорганизация органов управления видами транспорта на уровне Правительства Республики Корея и создание Центра управления транспортного узла Пусан позволит:

- привлечь большой объем инвестиций в развитие инфраструктуры транспортного узла и повышение технологической эффективности мультимодальных перевозок;

- улучшить информационное обеспечение перевозочного процесса за счет своевременного предоставления необходимой информации каждому транспортному субъекту;
- сократить технологические задержки путем ускорения процесса коммуникации между транспортными средствами;
- рационально использовать существующие и проектируемые мощности инфраструктуры видов транспорта, входящих в международную зону.

Организация Транскорейской железнодорожной магистрали и сопутствующее развитие транспортного узла Пусан положительный эффект для участников транспортного процесса будет заключаться в следующем:

1 Для операторов железнодорожных перевозок:

- повышение операционной эффективности за счет систематического процесса координации и взаимосвязи с участниками товародвижения;
- увеличение прибыли за счет использования подвижного состава и железнодорожной инфраструктуры по мере роста объема перевозок;
- ускорение оборачиваемости подвижного состава.

2 Для международных логистических компаний, в том числе корейских:

- увеличение прибыли за счет повышения качества предоставляемых транспортно-логистических услуг до международного уровня [16];
- расширение выбора альтернативных маршрутов транспортировки.

3 Для морских портов:

- повышение уровня загруженности мощностей терминально-логистической инфраструктуры вследствие увеличения объемов перевалки;
- сокращение времени и стоимости перевозки за счет минимизации времени ожидания транспорта и груза, а также повышение пропускной способности пунктов пропуска порта.

Строительство нового «сухого порта» для обслуживания транспортного узла Пусан обеспечит [17]:

- сокращение стоимости и продолжительности процесса транспортировки, так как часть обрабатываемых грузов порта будет перенаправлена на оснащенные современным оборудованием терминалы вблизи транспортного узла Пусан [18];
- исключение обязательного присутствия представителей грузоотправителя в пункте перевалки грузов для совершения таможенных и иных операций, проводимых органами государственного контроля при прохождении товаров через территорию страны.

Присоединение Транскорейской железной дороги к континентальной транспортной сети и перспективные объемы международных железнодорожных перевозок требуют детального анализа информационных и технологических процессов транспортной логистики Республики Корея. Развитие транспортного узла Пусан необходимо для освоения увеличивающихся объемов поступающих грузов, что требует значительных финансовых затрат. Предлагаемые мероприятия этапов развития транспортного узла позволят сократить время перевозки через транспортный узел и повысить эффективность взаимодействия морского и железнодорожного транспорта с учетом перспективы соединения корейских и континентальных железных дорог, как следствие, снижая долю транспортных компонентов в себестоимости товара. Поэтому выбор эффективной стратегии развития транспортного узла и результативность принятых решений напрямую связаны с конкурентоспособностью транспортной системы региона.

Список литературы

1 Ли, Т. Е. Исследование существующих грузопотоков транспортного узла Пусан / Т. Е. Ли, А. С. Балаалаев // Научно-техническое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2020. – Т. 1. – С. 37–42.

2 Козлов, П. А. К теории транспортных узлов / П. А. Козлов, В. Ю. Пермикин, Н. В. Кащеева // Транспорт Урала. – 2013. – № 4(39). – С. 8–10. – ISSN 1815-9400.

References

1 Lee, T. Y. Study of the existing freight traffic of the Busan transport hub / T. Y. Lee, A. C. Balalaliev // Scientific, technical and economic cooperation of the Asia-Pacific countries in the XXI century. – 2020. – Vol. 1. – P. 37–42.

2 Kozlov, P. A. Toward transport hub theory / P. A. Kozlov, V. Y. Permikin, N. V. Kashcheyeva // Transport of the Urals. – 2013. – No. 4(39). – P. 8–10. – ISSN 1815-9400.

- 3 Ли, Т. Е. Проблемы формирования и перспективы развития транспортных логистических цепей в Республике Корея / Т. Е. Ли, Р. Г. Король // Вестник транспорта Поволжья. – 2021. – № 6(90). – С. 48–57. – ISSN 1997-0722.
- 4 Мамаев, Э. А. Развитие транспортно-логистических услуг на припортовых железных дорогах в условиях цифровой трансформации отрасли / Э. А. Мамаев, В. Н. Зубков, Е. А. Чеботарева // Наука и техника транспорта. – 2021. – № 4. – С. 43–49. – DOI 10.53883/20749325_2021_04_43.
- 5 Кузьмин, Д. В. Перспективы развития высокоскоростных железнодорожных перевозок Китая / Д. В. Кузьмин, В. В. Багинова, Шисюань Фен // Экономика железных дорог. – 2020. – № 3. – С. 78–83. – ISSN 1727-6500.
- 6 Козлова, В. П. Транспортные узлы: основные этапы развития и их роль в транспортной системе России / В. П. Козлова // Вестник транспорта. – 2004. – № 11. – С. 32–36.
- 7 Нестерова, Н. С. Теоретико-множественная модель мультимодальной транспортной сети / Н. С. Нестерова, В. А. Анисимов // Транспорт Урала. – 2016. – № 2(49). – С. 26–29. – DOI 10.20291/1815-9400-2016-2-26-29.
- 8 A study to establish a complex logistics network connecting port-continental railways (TKR, etc.) / E. K. Lee, J. W. Seo [et al.] // National Research Council for Economics, Humanities and Social sciences. – 2018. – P. 153–160.
- 9 Конфигурирование терминально-складской инфраструктуры транспортного узла на основе развития метода экономико-географического разграничения грузопотоков / О. Н. Числов, В. А. Богачев, В. В. Трапенов [и др.] // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2022. – Т. 19. – № 4. – С. 800–811. DOI 10.20295/1815-588X-2022-4-800-811.
- 10 The final report on research for establishment of master plan on rearrangement of railroad facilities in Busan and plan of development. – 2014. – P. 56–57.
- 11 2022's Preliminary feasibility study report – Busan port, Jinhae New port (phase 1) construction project / S. Y. Kim, etc. // Korea development institute. – 2022. – P. 2–14.
- 12 Четчуев, М. В. Метод оценки экономической эффективности проектов развития железнодорожных станций / М. В. Четчуев, О. Н. Числов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 4(59). – С. 81–88. – DOI 10.52170/1815-9265_2021_59_81.
- 3 Lee, T. Y. Problems of formation and prospects of development of transport logistics chains in the Republic of Korea / T. Y. Lee, R. G. Korol // Vestnik transporta Povolzhya. – 2021. – No. 6(90). – P. 48–57. – ISSN 1997-0722.
- 4 Mamaev, E. A. Development of transport and logistics services on port railways in digital transformation conditions / E. A. Mamaev, V. N. Zubkov, E. A. Chebotareva // Science and Technology in Transport. – 2021. – No. 4. – P. 43–49. – DOI 10.53883/20749325_2021_04_43.
- 5 Kuzmin, D. V. Prospects for the development of high-speed railways in China / D. V. Kuzmin, V. V. Baginova, Shixuan Fen // Railway Economics. – 2020. – No. 3. – P. 78–83. – ISSN 1727-6500.
- 6 Kozlova, V. P. Transport hubs: the main stages of development and their role in the transport system of Russia / V. P. Kozlova // Transport Massanger. – 2004. – No. 11. – P. 32–36.
- 7 Nesterova, N. S. Set-theoretical model of multimodal transport network / N. S. Nesterova, V. A. Anisimov // Transport of the Urals. – 2016. – No. 2(49). – P. 26–29. – DOI 10.20291/1815-9400-2016-2-26-29.
- 8 A study to establish a complex logistics network connecting port-continental railways (TKR, etc.) / E. K. Lee, J. W. Seo [et al.] // National Research Council for Economics, Humanities and Social sciences. – 2018. – P. 153–160.
- 9 Configuring terminal-warehouse infrastructure of transport hub basing on the development of method of economic-geographical differentiation of cargo flows / O. N. Chislov, V. A. Bogachev, V. V. Trapenov [et al.] // Proceedings of Petersburg Transport University. – 2022. – Vol. 19. – No. 4. – P. 800–811. – DOI 10.20295/1815-588X-2022-4-800-811.
- 10 The final report on research for establishment of master plan on rearrangement of railroad facilities in Busan and plan of development. – 2014. – P. 56–57.
- 11 2022's Preliminary feasibility study report – Busan port, Jinhae New port (phase 1) construction project / S. Y. Kim, etc. // Korea development institute. – 2022. – P. 2–14.
- 12 Chetchuev, M. V. Method for assessing economic efficiency of the projects for the development of railway stations / M. V. Chetchuev, O. N. Chislov // Siberian Transport University Bulletin. – 2021. – No. 4(59). – P. 81–88. – DOI 10.52170/1815-9265_2021_59_81.

- 13 Грузовая деревня как новый этап развития ТЛЦ / С. П. Вакуленко, П. В. Куренков, Д. Ю. Роменский [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 10. – С. 4–9. – ISSN 0044-4448.
- 14 Москвичев, О. В. Системный анализ математических моделей размещения транспортно-логистических объектов различного уровня / О. В. Москвичев, Е. Е. Москвичева // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2022. – Т. 81. – № 3. – С. 267–276. – DOI 10.21780/2223-9731-2022-81-3-267-276.
- 15 Ли, Т. Е. Обоснование этапности развития транспортного узла Пусан (Республика Корея) в условиях роста объема перевозок / Т. Е. Ли, Р. Г. Король // Транспорт Урала. – № 4(71). – 2021. – С. 52–58. – DOI 10.20291/1815-9400-2021-4-52-57.
- 16 Каширцева, Т. И. Дополнительные услуги по терминально-складской переработке грузов / Т. И. Каширцева, М. М. Алаев // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 10. – С. 37–41. – ISSN 0044-4448.
- 17 Рахмангулов, А. Н. Оценка направлений развития систем «морской порт – «сухой» порт» методом имитационного моделирования / А. Н. Рахмангулов, Д. С. Муравьев // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 3(31). – С. 54–72. – DOI 10.20291/2079-0392-2016-3-54-72.
- 18 Покровская, О. Д. Логистика терминалов : перспективное направление логистики / О. Д. Покровская, Е. К. Коровяковский // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2015. – № 3(44). – С. 155–164. – ISSN 1815-588X.
- 13 Cargo village as a new stage of TLC development / S. P. Vakulenko, P. V. Kurenkov, D. Yu. Romensky [et al.] // Railway transport. – 2022. – No. 10. – P. 4–9. – ISSN 0044-4448.
- 14 Moskvichev, O. V. System analysis of mathematical models of placement of transport and logistics facilities of different levels / O. V. Moskvichev, E. E. Moskvicheva // Russian Railway Science Journal. – 2022. – Vol. 81. – No. 3. – P. 267–276. – DOI 10.21780/2223-9731-2022-81-3-267-276.
- 15 Lee, T. Y. 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 / T. Y. Lee, R. G. Korol // Transport of the Urals. – No. 4(71). – 2021. – P. 52–58. – DOI 10.20291/1815-9400-2021-4-52-57.
- 16 Kashirtseva, T. I. Additional services for terminal and warehouse cargo processing / T. I. Kashirtseva, M. M. Alaev // Railway transport. – 2017. – No. 10. – P. 37–41. – ISSN 0044-4448.
- 17 Rakhmangulov, A. N. Assessment of development options for «sea port – «dry» port» system using simulation method / A. N. Rakhmangulov, D. S. Muravev // Journal of USURT. – 2016. – No. 3(31). – P. 54–72. – DOI 10.20291/2079-0392-2016-3-54-72.
- 18 Pokrovskaya, O. D. Terminal logistics: promising direction for logistics / O. D. Pokrovskaya, E. K. Korovyakovskiy // Proceedings of Petersburg Transport University. – 2015. – No. 3(44). – P. 155–164. – ISSN 1815-588X.

T. Y. Lee, R. G. Korol

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE PHASED DEVELOPMENT OF THE BUSAN TRANSPORT HUB

Abstract. The project to unify the Korean Railways is essential to the competitiveness of international logistics. The Busan hub will be a key facility on the Trans-Korean Railway, which will need to be developed in the future to absorb the increasing volume of freight traffic. Therefore, the purpose of this work is to evaluate the effectiveness of measures for the staged development of the Busan transport hub. The tasks include a mathematical description of a staged transition between organizational, technological, technical and infrastructural measures. The subject of the study is the railway, port and motor transport subsystems of the Busan transport hub. The work was done using mathematical research methods. The paper proposes the creation of a transport hub control center, which carries out an operational exchange of information with the Busan Port Authority, KORAIL, terminals and regulatory authorities. The organization of the Transport Hub Control Center will increase the efficiency of multimodal transportation by eliminating duplication of tasks in the management and transfer of information between the subjects of the transport and logistics process. At the end of the article, the fourth stage of the development of the transport hub is considered in the form of

the creation of a new transport hub or "dry port", and the economic effect for the participants in the logistics process and the transport system of the Republic of Korea is also described.

Keywords: transport hub, dry port, transport and logistics center, Trans-Korean railway, Busan seaport.

For citation: Lee, T. Y. Assessment of the effectiveness of the phased development of the Busan transport hub / T. Y. Lee, R. G. Korol // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2023. – No. 2. – P. 217–230. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_2_217.

Сведения об авторах

Ли Тэк Енг

Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС),
кафедра «Технология транспортных процессов и логистика»,
аспирант,
e-mail: emyahoo21@nate.com

Король Роман Григорьевич

Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС),
кафедра «Технология транспортных процессов и логистика»,
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой,
e-mail: kingkhv27@mail.ru

Information about the authors

Lee Taek Young

Far Eastern State Transport University (FESTU),
Chair «Technology of Transport Processes and Logistics»,
Postgraduate Student,
e-mail: emyahoo21@nate.com

Korol Roman Grigorievich

Far Eastern State Transport University (FESTU),
Chair «Technology of Transport Processes and Logistics»,
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor, Head of the Chair,
e-mail: kingkhv27@mail.ru