

УДК 656.624.3

DOI:10.37890/jwt.vi83.606

## **Обоснование оптимального варианта инфраструктурного обеспечения воднотранспортного терминала**

**О.И. Карташова<sup>1</sup>**

**А.О. Ничипорук<sup>2</sup>**

ORCID: 0000-0002-7763-2829

<sup>1</sup>*Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф.М. Апраксина – филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ», г. Астрахань, Россия*

<sup>2</sup>*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*

**Аннотация.** В статье представлены результаты апробации экономико-математической модели определения оптимального состава инфраструктуры речного портового терминала. Сформулированы основные условия и требования к экономико-математической модели, рассмотрены различные методические подходы к решению поставленной задачи. На основе авторской модели выполнены расчеты и представлены результаты по ряду возможных вариантов технического оснащения и технологии перегрузочных работ в речных портах. Показаны зависимости различных показателей (капитальные вложения, эксплуатационные затраты, себестоимость перегрузочных работ) от используемого варианта технологии и техники, а также осваиваемого на терминале грузооборота. Сделаны выводы о наиболее предпочтительных вариантах организации работы портовых терминалов в зависимости от различных существующих и перспективных объемов грузопереработки.

**Ключевые слова:** водный транспорт, портовая инфраструктура, погрузочно-разгрузочные работы.

## **Justification of the best option for infrastructure support of the water transport terminal**

**Olga I. Kartashova<sup>1</sup>**

**Andrey O. Nichiporuk<sup>2</sup>**

ORCID: 0000-0002-7763-2829

<sup>1</sup>*Caspian Institute of Sea and River Transport named after Gen.-Adm. F. M. Apraksin is a branch of the Volga State University of Water Transport, Astrakhan, Russia*

<sup>2</sup>*Volga State University of Water Transport, Russia*

**Abstract.** The article presents the results of testing the economic and mathematical model for determining the optimal composition of the infrastructure of the river port terminal. The basic conditions and requirements for the economic and mathematical model are formulated, various methodological approaches to solving the problem are considered. On the basis of the author's model, calculations were made and the results were presented for a number of possible options for technical equipment and technology for transshipment work in river ports. The dependence of various indicators (capital investments, operating costs, cost of transshipment work) on the used version of technology and equipment, as well as the cargo turnover mastered at the terminal, is shown. Conclusions were drawn on the most preferable options for organizing the operation of port terminals depending on the various existing and promising volumes of cargo processing.

**Keywords:** water transport, port infrastructure, handling.

## **Введение**

Выбор технологии, механизации и организации перегрузочных работ, соответствующего оборудования и перегрузочной техники, оснащения, решение вопросов о строительстве тех или иных инфраструктурных объектов – важные вопросы при проектировании или модернизации терминального комплекса, особенно такого крупного, как воднотранспортный узел или порт. От правильности и обоснованности принятого решения, а также адекватности сделанного выбора будут зависеть производительность комплекса, качество перегрузочных работ, эффективность работы порта.

Учитывая большое многообразие инфраструктурных объектов портового перегрузочного комплекса, решение указанной задачи ручным способом или перебором вариантов представляется весьма сложным, а также не способным дать в итоге оптимальный (наиболее эффективный) результат.

Следует отметить, что для ускорения и упрощения поиска решения подобной задачи может ставиться задача поиска субоптимального (близкого к оптимальному) решения. Если позволяют технические средства и наличие соответствующего программного обеспечения, возможно осуществление полного перебора и оценки всех вариантов. Однако, как показывает практика, последний подход в реальных условиях мало применим из-за слишком значительного многообразия инфраструктурных объектов и их сочетаний, так как число рассматриваемых вариантов, а с ними и трудоемкость решения, весьма велики.

Субоптимальные методы являются менее трудоемкими и более эффективными при решении больших практических задач. Они не обеспечивают нахождение идеального решения, однако дают хорошие, близкие к оптимальным результаты при невысокой сложности вычислений.

Тем не менее, даже субоптимальные методы, отличаясь большей простотой и эффективностью, по мере увеличения варьируемых элементов и параметров терминалов и транспортно-логистических систем становятся весьма сложны в реализации без дополнительных средств, в качестве которых могут выступать стандартные и специальные информационные технологии.

В связи с этим поиск оптимальных вариантов решения указанной задачи, по мнению авторов, требует создания соответствующего методического аппарата, например, в области инфраструктурного состава грузовых терминальных комплексов.

## **Методы и материалы**

В учебной и методической литературе, как правило, вопросы оптимизации инфраструктуры терминалов или транспортно-логистических систем затрагиваются весьма поверхностно. Особое внимание уделяется описанию и характеристике их элементов, их взаимодействию между собой, а также с внешней средой (грузоотправителями, грузополучателями и др.). Оптимизационные задачи решаются в рамках соответствующих дисциплин, при этом носят узкопрофильный и ограниченный характер.

В научной литературе и периодических публикациях рассматриваемые вопросы представляют больший интерес для исследователей и встречаются чаще. Во многих статьях, помимо обозначения важности и раскрытия значения проблемы поиска оптимального варианты и повышения эффективности терминальной инфраструктуры, авторы пытаются развить или предложить новые соответствующие методические подходы.

Авторы статьи [1] обращают внимание, что производительность складских перегрузочных машин на контейнерном терминале может зависеть от вместимости склада, параметров штабеля (высоты, числа ярусов), доступности грузовых единиц (мест и глубины размещения контейнеров). С учетом этого производительность

перегрузочного оборудования может корректироваться и уточняться потребное на складе количество техники.

Другие структурные элементы терминального комплекса авторами не рассматриваются, как и технико-экономическое обоснование эффективности их использования.

В работе [2] сделан акцент на совершенствовании методических подходов к определению пропускной способности порта и оценке качества обслуживания судов. Обращается внимание на ряд операций, оказывающих влияние на продолжительность грузовой обработки, при этом непосредственно с ней не связанные и невозможные к совмещению. С учетом этого для оценки действительных возможностей терминала по обслуживанию транспортных средств предлагается новый показатель производственной мощности порта – пропускная способность обслуживания.

Кроме пропускной способности и непосредственно обслуживания (обработки) судна другие элементы порта и их характеристики не рассматриваются.

Автор [3] обращает внимание, что в зарубежной практике при технико-экономической оценке проектов морских портов учитываются капитальные вложения и эксплуатационные затраты за весь жизненный цикл проекта. Следует согласиться с данным подходом, так как известно, что при определенных технологических схемах и используемом оборудовании суммарные эксплуатационные расходы (за период эксплуатации портового перегрузочного комплекса) могут значительно превышать капитальные вложения. Может быть и обратная ситуация. В связи с этим традиционный подход, при котором основным экономическим показателем для оценки проекта были капитальные вложения, в настоящее время требует своего уточнения.

При этом, однако, сами авторы в качестве ключевых показателей для технологического проектирования порта (на примере навалочного груза – угля) используют количество причалов и судопогрузочных машин, а выбор оптимального варианта осуществляют на основании производительности перегрузочной техники (основной перегрузочной машины) и коэффициента запаса производительности судопогрузочных операций, что, на наш взгляд, является серьезным упущением и игнорированием результатов зарубежного опыта и собственного анализа.

В [4] предлагается подход к повышению пропускной способности (производительности) портов за счет совершенствования управления и эксплуатации портового хозяйства, планирования работы грузового терминала и смежных видов транспорта. Этот путь, по мнению автора, является более предпочтительным, так как отличается относительно невысокими затратами и не требует длительного времени реализации (в связи с тем, что происходит оптимизация работы существующих инфраструктурных объектов и оборудования вместо их модернизации и приобретения).

Автором разработана методика определения рейтинговой оценки логистических внутрипортовых цепей по совокупности временного фактора и фактора надежности. Ориентация на существующие технологические схемы грузопереработки и имеющееся в распоряжении портовое оборудование подтверждается использованием для экономической оценки только таких показателей, как затраты на исполнителей перегрузочной операции, себестоимость использования вспомогательной техники, себестоимость использования крана. Таким образом, предлагаемый подход может быть использован для совершенствования деятельности терминала на основе оптимизации эксплуатации погрузочно-разгрузочного оборудования. Однако для случая модернизации или приобретения дополнительной перегрузочной техники, а также других ресурсов и инфраструктурных объектов, он не подходит или требует своей значительной переработки.

Наиболее близок к решению сформулированной нами задачи методический подход в статье [5], предлагающей модель выбора портового перегрузочного оборудования на основе моделирования технологической линии порта.

Рассматривается проблема повышения скорости обслуживания транспортных средств в порту. Следует согласиться с авторами, что данное повышение (по сути, увеличение производительности) может быть достигнуто изменением количества портового перегрузочного оборудования, технологии перегрузочных работ или техническим перевооружением.

Авторы сосредотачивают внимание на выборе портового перегрузочного оборудования (среди различных моделируемых вариантов его использования в рамках альтернативных технологических решений). При этом предлагается использовать такие критерии, как пропускная способность, соответствие технических параметров оборудования грузу и технологии перегрузочных работ. Важным аспектом является выбор между инсорсингом и аутсорсингом перегрузочной техники, а также механизмах их финансового обеспечения (собственные средства, лизинг, кредитование).

Данный подход представляет интерес, однако, по нашему мнению, требует своего расширения на другие элементы перегрузочного комплекса для полноценного обоснования экономически, технически и технологически эффективного варианта инфраструктуры портового терминала.

По нашему мнению, методика обоснования оптимального состава инфраструктурных объектов воднотранспортного терминала должна отвечать следующим основным требованиям [6]:

1. Являться унифицированной, т.е. подходить для использования применительно к любому грузопотоку и соответствующей технологии перегрузочных работ. Более того, должна обеспечиваться возможность сравнения между собой принципиально разных альтернативных технологических решений и инфраструктурного наполнения терминала, если один и тот же грузопоток может быть освоен с их использованием.
2. Позволять производить обоснование оптимального варианта с учетом экономической эффективности работы терминала, как в текущем периоде, так и за прогнозный период его жизненного цикла.
3. Учитывать дополнительные ограничения, например, по наличию инфраструктурных объектов (перегрузочной техники, подъездных путей, складов и т.п.) и их перегрузочным мощностям, возможности потенциальных инвесторов.
4. Отражать особенности строительства и эксплуатации воднотранспортных терминалов, а также специфику структуры и состава портовой и обеспечивающей инфраструктуры.

В [6] нами сформулирована соответствующая экономико-математическая модель, учитывающая разнообразие возможных вариантов организации перегрузочных работ, а также существенный перечень объектов, отличающихся друг от друга по стоимости приобретения и эксплуатации, техническим характеристикам, для поиска оптимального решения по инфраструктурному обеспечению терминала исходя из предполагаемого размера грузопотока и имеющихся в распоряжении ресурсов.

В качестве первичного критерия, используемого в большинстве обоснований строительства (модернизации) терминальных комплексов, а также иных объектов, как правило, используется размер потребных капитальных вложений (инвестиций) с последующей оценкой их ожидаемой эффективности.

Следует отметить, что при определении стоимости капитальных вложений и пропускной способности по различным элементам терминала необходимо также учитывать возможное наличие существующего оборудования, техники и инфраструктурных объектов (если речь идет о модернизации существующего

портового комплекса), которые могут использоваться в рамках  $j$ -ой схемы механизации перегрузки  $i$ -го груза.

Вторым возможным основным критерием оценки терминалов, в особенности, уже существующих, могут быть эксплуатационные затраты, связанные с использованием существующей инфраструктуры, а также привлечение дополнительной перегрузочной техники и оборудования, в том числе на основе аренды.

### **Результаты**

В рамках апробации разработанной экономико-математической модели было произведено сравнение нескольких основных вариантов организации воднотранспортного терминала (речного порта) для перегрузки перспективных грузопотоков (от 500 тыс. т до 5 млн. т) и родов грузов (тарно-штучные грузы в контейнерах и транспортных пакетах). В качестве сравниваемых вариантов схем механизации и используемых технологий перегрузочных работы были приняты следующие: перегрузка контейнеров специализированными высокопроизводительными перегружателями или крупнотоннажными порталными кранами (грузоподъемностью до 45 т) с различным сочетанием вспомогательных машин: козловые краны, рич-стакеры, автопогрузчики; перегрузка транспортных пакетов порталными кранами (грузоподъемностью 10-15 т) с использованием на терминале авто- и электропогрузчиков; оборудование ро-ро терминала с перегрузочной эстакадой и парком тягачей и ролл-трейлеров.

Результаты моделирования по различным вариантам и условиям организации терминала представлены на рисунках 1-4.

### **Обсуждение**

Представленные результаты показывают, что для грузооборота организуемого воднотранспортного терминала (речного порта) до 500 тыс. т наиболее оптимальным вариантом технологии перегрузочных работ и связанной с ним портовой инфраструктуры будет перегрузка контейнеров с использованием крупнотоннажного порталного и козлового крана. При ограничениях инвестиционного характера может быть использована ро-ро технология, а также перегрузка транспортных пакетов с заменой крупнотоннажных порталных кранов на краны меньшей грузоподъемности (10-15 т).

Для организации терминала с грузооборотом до 1 млн. т предпочтительным по всем параметрам становится вариант с применением ро-ро технологии, который обеспечивает меньшие затраты как текущие, так и за весь период эксплуатации терминала, наименьшую себестоимость перегрузочных работ. Более затратными, однако сопоставимыми по ряду критериев, становятся варианты с использованием крупнотоннажных порталных кранов.

С увеличением грузооборота порта и постепенным его наращиванием в интервале 1,5-5 млн. т наиболее оптимальным вариантом становится организация перегрузки контейнерных грузов с использованием крупнотоннажных порталных и козловых кранов. Их применение обеспечивает наименьшие капитальные и эксплуатационные затраты по сравнению с другими вариантами, а также наименьшую себестоимость перегрузочных работ.

Особо следует отметить, что в число близких к оптимальным значениям ни в одной из рассматриваемых ситуаций не попали технологические решения, связанные с использованием высокопроизводительных контейнерных перегружателей. Связано это с их высокой стоимостью (по сравнению с другими типами перегрузочных машин), а также нерациональностью их применения на обусловленных объемах грузопотоков.

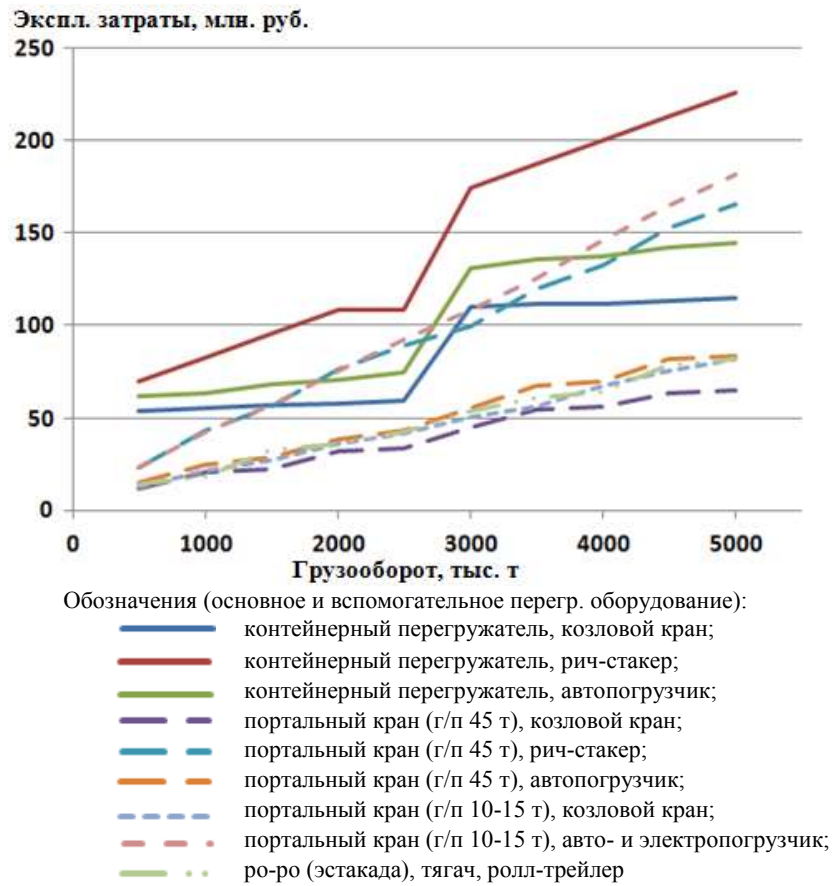


Рис. 1. Соотношение эксплуатационных затрат по воднотранспортному терминалу и его планируемого грузооборота

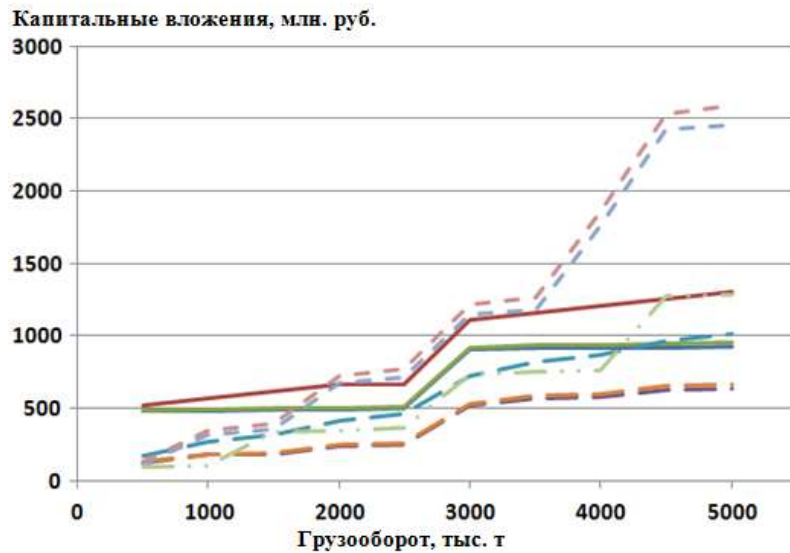


Рис. 2. Соотношение капитальных вложений (инвестиций) по воднотранспортному терминалу и его планируемого грузооборота

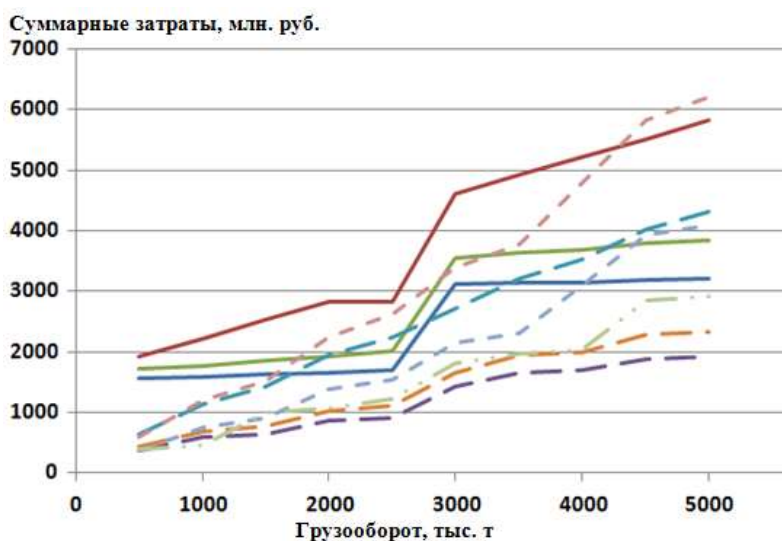


Рис. 3. Соотношение суммарных затрат за планируемый период работы воднотранспортного терминала и его грузооборота  
Примечание: обозначения на рис. 2-3 те же, что на рис. 1.

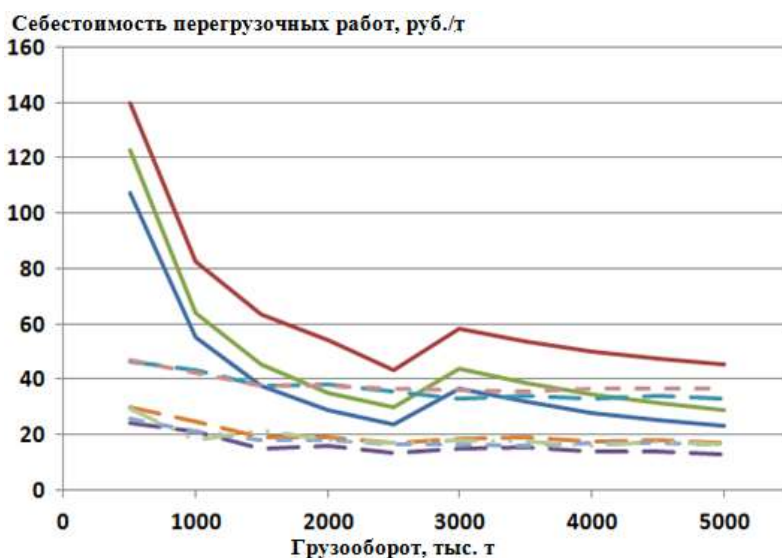


Рис. 4. Соотношение себестоимости перегрузочных работ по воднотранспортному терминалу и его планируемого грузооборота  
Примечание: обозначения на рис. 4 те же, что на рис. 1.

Также необходимо принимать во внимание, что при апробации модели не учитывались ограничения по имеющимся инфраструктурным объектам и перегрузочной технике (как в собственности, так и на правах аренды), т.к. принималось, что мы организуем новый терминал. Еще одним важным моментом могут быть ограничения пространственного характера при размещении терминала (выделенная под строительство конкретная площадь, без возможности её увеличения). В таких условиях оптимальными могут оказаться более затратные, но зато компактные решения.

### **Заключение**

Представленные результаты показывают, что разработанная авторами модель применима для определения не только оптимального варианта инфраструктурного обеспечения портового терминала, но и сфер возможного использования различных технико-технологических вариантов организации погрузочно-разгрузочных работ. Это особенно важно при необходимости оценки существующей портовой инфраструктуры, перспектив и возможностей её развития и модернизации в современных условиях изменяющихся транспортно-логистических связей и цепей поставок, геополитических условий, трансформации транзитной, внутрирегиональной, межрегиональной и международной транспортной инфраструктуры и узлов [7-10].

### **Список литературы**

1. Кузнецов А.Л., Кириченко А.В., Давыденко А.А. Классификация и функциональное моделирование эшелонированных контейнерных терминалов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. №6(34).2015. С. 7–16.
2. Минеев С.К. Влияние организации обслуживания судов на пропускную способность портов // Журнал университета водных коммуникаций. №3. 2013. С. 147–152.
3. Купцов Н.В. Разработка методики расчета оптимальной производительности морского грузового фронта для терминалов по экспортной перевалке угля на ранних стадиях проектирования // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. Т. 9. № 5. 2017. С. 925–940. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-925-940.
4. Стрельников Д.Д. Рейтинговая оценка терминальных логистических цепей // Вестник ВГАВТ. №52. 2017. С. 15–20.
5. Зуб И.В., Ежов Ю.Е., Стенин Н.Н. Модель выбора портового перегрузочного оборудования на основе моделирования технологической линии порта // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. Т. 12. № 6. 2020. С. 1016–1028. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1016-1028.
6. Карташова О.И., Ничипорук А.О., Отделкин Н.С., Федосенко Ю.С. Унифицированная экономико-математическая модель обоснования оптимального количества инфраструктурных объектов воднотранспортного терминала // Морские интеллектуальные технологии. №4. Часть 2. 2024. С. 159–167. DOI: 10.37220/MIT.2024.66.4.072.
7. Минеев В.И., Иванов В.М., Карташов М.В. Перспективы развития транспорта Каспийского региона в эпоху перемен // Научные проблемы водного транспорта. №72. 2022. С. 121-133. URL: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.290>
8. Никулина М.В., Подобед В.А. Особенности обоснования эффективности строительства речных причалов предприятий // Научные проблемы водного транспорта. №64. 2020. С. 164–170. doi:10.37890/jwt.vi64.107
9. Нюркин С.И., Нюркина Э.Е. Поиск путей совершенствования работы судоходных предприятий в регионах с развитой транспортной инфраструктурой // Научные проблемы водного транспорта. №79. 2024. С. 157–163. DOI: 10.37890/jwt.v79.480.
10. Троилина А.В. Тенденции, факторы и индикаторы развития транзитной транспортной инфраструктуры Российской Федерации // Научные проблемы водного транспорта. №66. 2021. С. 123–137. doi:10.37890/jwt.vi66.152

### **References**

1. Kuznetsov A.L., Kirichenko A.V., Davydenko A.A. Klassifikatsiya i funktsional'noe modelirovanie ehshelonirovannykh konteynernykh terminalov [Classification and functional modeling of layered container terminals], Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova [Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov], No.6(34), 2015, pp. 7–16.
2. Mineev S.K. Vliyanie organizatsii obsluzhivaniya sudov na propusknyuyu sposobnost portov [Impact of ship service organization on port capacity], Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsii [Journal of the University of Water Communications], No.3, 2013, pp. 147–152.



3. Kuptsov N.V. Razrabotka metodiki rascheta optimalnoi proizvoditelnosti morskogo gruzovogo fronta dlya terminalov po ehksportnoi perevalke uglia na rannikh stadiyakh proektirovaniya [Development of a methodology for calculating the optimal productivity of the sea cargo front for coal export transshipment terminals at the early stages of design], Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova [Bulletin of the State University of Marine and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov], Vol. 9, No. 5, 2017, pp. 925–940. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-925-940.
4. Strelnikov D.D. Reitingovaya otsenka terminalnykh logisticheskikh tsepei [Rating assessment of terminal logistics chains], Vestnik VGAVT [VGAVT Bulletin], No52, 2017, pp. 15–20.
5. Zub I.V., Ezhov YU.E., Stenin N.N. Model vybora portovogo peregruzochnogo oboru-dovaniya na osnove modelirovaniya tekhnologicheskoi linii porta [Model for the selection of port transshipment equipment based on modeling of the port technological line], Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova [Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov], Vol. 12, No.6, 2020, pp. 1016–1028. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1016-1028.
6. Kartashova O.I., Nichiporuk A.O., Otdelkin N.S., Fedosenko YU.S. Unifitsirovannaya ehkonomiko-matematicheskaya model obosnovaniya optimalnogo kolichestva infrastrukturykh obektov vodnotransportnogo terminala [Unified economic and mathematical model for justifying the optimal number of infrastructure facilities of a water transport terminal], Morskie intellektualnye tekhnologii [Marine Intelligent Technologies], No4, Vol. 2, 2024, pp. 159–167. DOI: 10.37220/MIT.2024.66.4.072.
7. Mineev V.I., Ivanov V.M., Kartashov M.V. Perspektivy razvitiya transporta Kaspiiskogo regiona v ehpkhu peremen [Prospects for the development of transport in the Caspian region in an era of change], Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport], No.72, 2022, pp. 121–133. URL: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.290>
8. Nikulina M.V., Podobed V.A. Osobennosti obosnovaniya ehffektivnosti stroitel'stva rechnykh prichalov predpriyatii [Features of justification of the efficiency of construction of river berths of enterprises], Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport], No.64, 2020, pp. 164–170. doi:10.37890/jwt.vi64.107
9. Nyurkin S.I., Nyurkina E.H.E. Poisk putei sovershenstvovaniya raboty sudokhodnykh predpriyatii v regionakh s razvitoi transportnoi infrastrukturou [Search for ways to improve the work of shipping enterprises in regions with a developed transport infrastructure], Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport], No.79, 2024, pp. 157–163. DOI: 10.37890/jwt.v79.480.
10. Troilina A.V. Tendentsii, faktory i indikatory razvitiya tranzitnoi transportnoi infrastruktury Rossiiskoi Federatsii [Trends, factors and indicators of the development of transit transport infrastructure of the Russian Federation], Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport], No.66, 2021, pp. 123–137. doi:10.37890/jwt.vi66.152

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Карташова Ольга Ивановна**, доктор экономических наук, доцент, директор, Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген.-адм. Ф.М.Апраксина – филиал Волжского государственного университета водного транспорта, 414000, г. Астрахань, ул. Никольская, 6, e-mail: [lesy\\_g@mail.ru](mailto:lesy_g@mail.ru)

**Ничипорук Андрей Олегович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [nichiporouk@rambler.ru](mailto:nichiporouk@rambler.ru)

**Olga I. Kartashova**, Dr. Sci. (Econ), assistant professor, director, The Caspian Institute of Sea and River Transport named after Gen.-Adm. F. M. Apraksin is a branch of the Volga State University of Water Transport, Nikolskaya st., 6, Astrakhan city, 414000, Russian Federation

**Andrey O. Nichiporuk**, Dr. Sci. (Eng), Assistant Professor, Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, Nesterova, 5, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation

Статья поступила в редакцию 23.03.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.  
Received 23.03.2025; published online 20.06.2025.