

DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-485-498

A METHODOLOGY FOR ASSESSING THE SEAPORT WAREHOUSES USING THE IMITATION MODELING METHODS

S. S. Valkova, Yu. I. Vasil'ev

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

A method for assessing the technological parameters of a seaport warehouse, which is its main infrastructure facility, is proposed in the paper.

It is noted that a significant increase in the ships size, the expansion of their specialization, the changes in processing technologies and methods of organizing their movement, as well as a change in the seaports role in the global transport and technological network, the high variability of transport flows and the dynamic of the cargo base entail a change in the requirements of port capacities, and the environmental restrictions most often exclude their extensive development. Containerization, packaging, consolidation of cargo units of the freight allows introducing the modern equipment and load handling devices into the transshipment process, which leads to changes in the technology of cargo transshipment, which, in turn, expands the specialization of the port infrastructure elements. Under these conditions, it is necessary to pay attention to changing conditions, standards and quality of technological design of the port complexes, which will improve the efficiency of seaports and cargo terminals, as well as improve the service quality for freight carriers. Losses from insufficiently efficient use of the operating resources of seaports must be balanced with losses from their shortages.

The currently used methods of designing seaports, developed under the command and administrative economic system, become a source of potential danger for the successful operation of the seaport. As a result, the problem of creating new, more adequate and accurate methods for calculating the parameters of the port main structural elements is becoming increasingly important. Since, first of all, such structural elements include warehouses of various functional purposes, the consistent and interrelated method of applying the developed methods and proposed models, which constitutes a new technological design tool for seaports and terminals in terms of their basic infrastructure elements, is substantiated in the paper.

Within this framework, the regulatory calculations are analyzed as a method for assessing the central values of the warehouse technological parameters; a sequence of the developed models is proposed as a mean of establishing their adequacy; a method for using the models sequence as a tool for technological design is formulated; a description of the practical use of the proposed methodology is given.

Keywords: seaports, warehouses, technological design, simulation, storage capacity.

For citation:

Valkova, Svetlana S., and Yurii I. Vasil'ev. "A methodology for assessing the seaport warehouses using the imitation modeling methods." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.3 (2019): 485–498. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-485-498.

УДК 656:6

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СКЛАДА МОРСКОГО ПОРТА МЕТОДАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С. С. Валькова, Ю. И. Васильев

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Предлагается методика оценки технологических параметров склада морского порта, являющегося его основным инфраструктурным объектом. Отмечается, что существенный рост размеров судов, расширение их специализации, изменение технологий обработки и способов организации их движения, а также изменение роли морских портов в глобальной транспортно-технологической сети, высокая изменчивость транспортных потоков и динамичность грузовой базы влекут за собой изменение требований к пропускной способности портовых мощностей, а экологические ограничения чаще всего исключают простое экстенсив-

ное их развитие. Контейнеризация, пакетирование, укрупнение грузовых единиц груза позволяют внедрять в перегрузочный процесс современную технику и грузозахватные приспособления, что влечет за собой изменений технологий перегрузки грузов, а последнее, в свою очередь, расширяет специализацию элементов портовой инфраструктуры. В этих условиях необходимо обратить внимание на изменение условий, норм и качества технологического проектирования портовых комплексов, что позволит повысить эффективность работы морских портов и грузовых терминалов, а также улучшить качество обслуживания грузоперевозчиков. Потери от недостаточно эффективного использования операционных ресурсов морских портов должны быть сбалансированы с потерями от их дефицита. Обращается внимание на то, что используемые в настоящее время методы проектирования морских портов, разработанные в условиях командно-административной экономической системы, становятся источником потенциальной опасности для успешной деятельности морского порта и, как следствие, проблема создания новых, более адекватных и точных методов расчета параметров основных структурных элементов порта приобретает особую актуальность. Поскольку, в первую очередь, к таким структурным элементам относятся склады различного функционального назначения, в статье обосновывается последовательная и взаимосвязанная методика применения разработанных методов и предложенных моделей, которая составляет новый инструментарий технологического проектирования морских портов и терминалов в части их основных инфраструктурных элементов. В рамках этого проанализированы нормативные расчеты как метод получения начальных оценок технологических параметров склада, предложена последовательность разработанных моделей в качестве средства установления их адекватности, сформулирована методика использования последовательности моделей как инструмента технологического проектирования, дано описание практического использования предлагаемой методики.

Ключевые слова: морские порты, склады, технологическое проектирование, имитационное моделирование, вместимость склада.

Для цитирования:

Валькова С. С. Методика оценки склада морского порта методами имитационного моделирования / С. С. Валькова, Ю. И. Васильев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 3. — С. 485–498. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-485-498.

Введение (Introduction)

Принципы, методы и технологии расчета параметров элементов портовой инфраструктуры регламентируются нормативным документом¹, методический инструментарий которого в настоящее время подвергается все более интенсивной критике, причиной которой служит давний срок подготовки материалов, в основе которых находятся исследования, проведенные в середине XX в. Методологической основой всего инструментария, предусмотренного нормами технологического проектирования морских портов (НТПМП), является расчетно-аналитический подход в виде формульных потоковых вычислений. Имеющиеся в неявном виде компоненты вероятностно-статистических моделей включены в методику расчетов без учета множества факторов, влияющих на их применимость, адекватность и точность. Следовательно, проблема создания новых, более адекватных и точных методов расчета параметров основных структурных элементов порта становится все более актуальной. К одному из основных структурных элементов морского порта относятся складские мощности. Задача качественного повышения эффективности их использования является наиболее важной при технологическом проектировании морских портов [1], [2].

Вопросами изучения морских портов и грузовых терминалов в современных условиях, эффективного использования их инфраструктурных объектов, проблем технологического проектирования занимались многие зарубежные и отечественные ученые [3]–[9]. Так, в работе [8], например, определена роль морского порта в современных условиях и рассмотрены основные показатели их работы, в работе [3] сформулированы основные функции современного морского порта. В работе [10] авторы приводят основные недостатки существующей нормативной базы по технологическому проектированию морских портов. Справочные материалы и различные практические рекомендации периодически публикуются такими изданиями, как World Bank, UNCTAD, НРС и др. [8], [11]–[12]. Однако, несмотря на достаточную изученность многих научных вопросов,

¹ СП 350.1326000.2018. Нормы технологического проектирования морских портов (введ. в действие 01.09.2018).

некоторые задачи, касающиеся, например, совершенствования проектирования складских мощностей морских портов и грузовых терминалов, так и остаются нерешенными.

Цель предлагаемого исследования заключается в повышении эффективности использования складов, являющихся основным инфраструктурным элементом морского порта, путем определения баланса между рисками, их нехватки и недоиспользования. Для достижения поставленной цели предлагается использование теоретически обоснованного метода многокритериальной оптимизации размеров склада, а также оценка влияния различных стохастических факторов на работу склада и порта и в целом. Для решения этой задачи необходимо проанализировать существующие методы технологического проектирования морских портов, сформулировать основные требования и характеристики новых инструментов проектирования для определения вместимости склада, что позволит разработать последовательность имитационных моделей обобщенного склада морского порта в качестве центрального элемента исследований, фокусирующихся на динамике поведения объема хранения. Кроме того, необходимо разработать методику доказательства адекватности разработанных моделей и выполнить экспериментальную оценку эффективности созданного инструментария, на основании чего предложить методику его использования в качестве способа технологического проектирования и управления работой морского порта.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Все морские порты и терминалы для тех грузов, которые определяют профиль их специализации, выполняют если не идентичные, то близкие по составу функции. Основные функции склада морского порта подробно рассмотрены в работе [13]. Для эффективного использования этих функций в морских портах и терминалах предусматриваются различные функциональные элементы, которые связаны между собой и образуют внутреннюю транспортно-технологическую систему соответствующего инфраструктурного объекта. В этой же работе автором была представлена универсальная функциональная структура транспортно-технологической системы порта или терминала общего вида, отражающая специфику выполнения указанных функций. Детализация основных элементов функциональной структуры транспортно-технологической системы морского порта, анализ выполняемых ими операций и определение связей между ними позволяют сделать вывод о том, что ключевая роль в обеспечении функциональной деятельности морского порта и терминала, в значительной степени определяющая уровень качества оказываемых им услуг и уровень их эффективности, принадлежит грузовому складу.

В работе [14] отмечается, что объем находящегося груза на складе в каждый момент времени является единым интегральным параметром, характеризующим работу склада. Совокупный результат действия всех факторов, относящихся к функциям склада, зависит от изменений указанного параметра во времени. Интенсивность поступления груза на склад и его убытие оказывают влияние на динамику изменений объемов хранения на складах морских портов, что описывается дифференциальными или конечно-разностными уравнениями.

Фактическое изменение количества груза, находящегося на складе (в большую или меньшую сторону), определяется как разность прибывшего и убывшего на терминал груза за произвольный период: год, месяц, смена, час. Различные склады, описываемые уравнением (1), покажут одинаковую динамику изменений: скорость изменения объема складирования есть разница между скоростью поступления груза на склад $i(t)$ и скоростью вывоза груза со склада $o(t)$. При этом абсолютные значения объема хранения у этих складов будет отличаться на величину C :

$$E(t) = \int_0^t e(t) = \int_0^t i(t) dt - \int_0^t o(t) dt = I(t) - O(t) + C, \quad (1)$$

где C — произвольная константа.

Получение соответствующей зависимости производится с точностью до произвольной постоянной величины, которая определяется начальными условиями, а по факту характеризует компоненту складирования, отвечающую за коммерческой хранение.

Колебания объемов находящегося на складе груза определяются пространственными и временными различиями скоростью поступления груза на склад и скоростью вывоза груза со склада. Пространственные различия определяются разбросом физического количества прибывающего и убывающего груза в рассматриваемый период, а временные — распределением объемов по отдельным дискретам этого периода.

Среднее значение объема хранения определяется соотношением:

$$E = \frac{N \cdot V_n \cdot T_{\text{xp}}}{365} = \frac{Q_{\text{год}} \cdot T_{\text{xp}}}{365}, \quad (2)$$

где N — общее количество партий груза хранящихся на складе; V_n — объем n -й партии груза; T_{xp} — средний срок хранения партий; $Q_{\text{год}}$ — объем груза, проходящий через склад за год.

Величина $NV = Q_{\text{год}}$ — объем груза, проходящего через склад за год.

С другой стороны, средний интервал между поступлениями грузовых партий на склад, составляет $T_{\text{инт}} = \frac{T}{N} = \frac{365}{N}$, откуда получим

$$E = \frac{N \cdot V \cdot T_{\text{xp}}}{365} = \frac{V \cdot T_{\text{xp}}}{T_{\text{инт}}}. \quad (3)$$

Целью оценки требований к объему единовременного хранения является стремительное развитие складских мощностей. При этом возникает потребность в получении оценки возможных максимальных значений и распределение частот их наблюдения. Для простейшего треугольного закона формирования грузовых партий, при котором время хранения составляет половину времени формирования партии $T_{\text{форм}} = 2T_{\text{xp}}$, формула (4) дает возможность оценки не только среднего, но и максимального объема хранения груза, т. е. размера склада:

$$E_{\text{max}} = \frac{VT_{\text{xp}}}{T_{\text{инт}}} + \frac{V}{2} = \frac{VT_{\text{форм}}}{2T_{\text{инт}}} + \frac{V}{2} = \frac{V}{2} \cdot \left(\frac{T_{\text{форм}}}{T_{\text{инт}}} + 1 \right). \quad (4)$$

Нормы технологического проектирования морских портов, которые в настоящее время строго регламентируют применяемые методы и используемые процедуры в технологическом проектировании, предлагают именно такой вид формулы для определения максимального объема хранения груза на складе порта. Однако на динамику изменения объема хранения более существенное влияние оказывает флуктуации размеров партий груза и интервалов их поступления на склад (рис. 1).

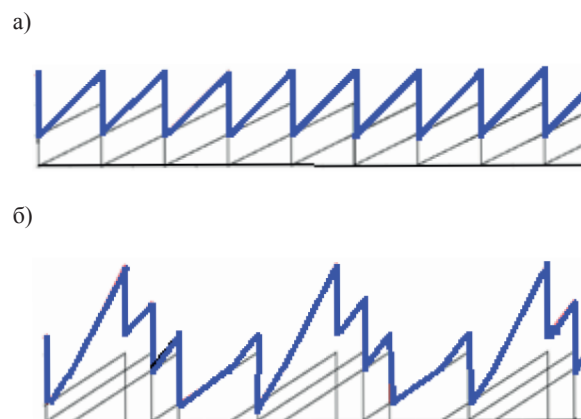


Рис. 1. Суммарный объем хранения: а — при регулярном поступлении партий на склад; б — при иррегулярном поступлении партий на склад

Аналогичные изменения будут наблюдаться и при колебаниях размера партий вокруг среднего значения. Результирующие графики в этом случае покажут гораздо более высокую динамику. Расчет максимального размера склада добавлением половины объема партий по формуле (4) не учитывает влияния действия указанных факторов, которое может быть весьма существенным

во много раз превышая предлагаемую поправку. Неравномерные, но регулярные флуктуации значений приводят к появлению регулярных «биений» в графиках изменения результирующих функций. Если отдельные значения подвержены произвольным колебаниям, то это будет приводить к иному характеру поведения результирующих функций.

Для планирования физических размеров склада требуется выполнить оценку максимальных значений его размера. Возможным решением является использование метода статистических испытаний (Монте-Карло), который позволяет получать не только более точные средние значения, но и оценивать разброс вокруг них. Исполнительным механизмом указанного метода является последовательная генерация значений случайных величин, входящих в исследуемую зависимость и дальнейшее использование сгенерированных значений для вычисления значения функции по одной из формул: (2) или (3). Полученный статистический массив значений случайной величины подвергается обработке, в результате которой формируется приближение интегральной функции распределения.

Пример использования указанного метода для определения интегральной функции распределения случайных величин (объема партии груза, срока хранения партии и интервала поступления партий) подробно изложен автором в работе [14]. Там же рассмотрен пример статистического массива значений случайных величин и выполнена его обработка, по результатам которой получена гистограмма распределения вероятности значений объема хранения груза на складе. В работе [15] отмечается, что в реальных условиях характер поступления партий на склад является смешанным: одна часть грузопотока обслуживается судами, работающими по линейному расписанию, слабо определенному или точному (магистральные специализированные контейнеровозы, работающие на фиксированных стрингах между портами типа «hub» или «gateway»), а также варианты прибытия в выделенные временные окна.

Другую категорию режима поступления партий образуют суда, интервал судозаходов которых является случайной величиной (большинство фидерных контейнеровозов, балкеры, танкеры, конвенциональные суда). Для оценки параметров склада, связанного с обработкой судов, движущихся по расписанию, наиболее подходят аналитические алгебраические методы. Для подобной оценки при случайном характере судозаходов адекватным становится метод статистических испытаний (Монте-Карло). В соответствии с теорией массового обслуживания (ТМО) формирование потоков событий из нескольких компонент разной статистической природы, адекватность утрачивают и аналитические, и вероятностно-статистические методы.

Если в качестве примера предположить, что порт обрабатывает несколько групп судов (линий) с разными, но равномерными интервалами между судозаходами и идентичными судовыми партиями, то в результате моделирования соответствующих процессов будет получен результирующий график (рис. 2), из которого видно, что формирование грузовых партий на складах порта для данного примера характеризуется значительной неравномерностью.

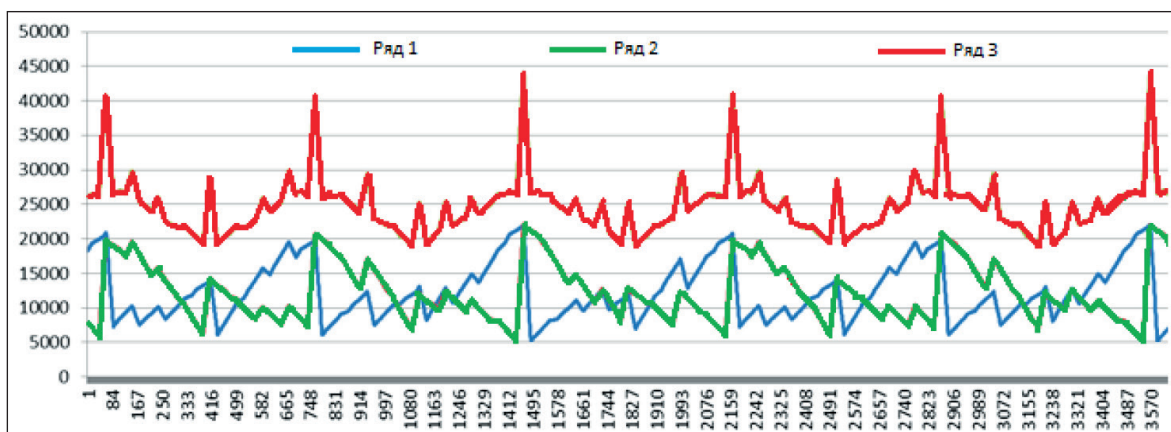


Рис. 2. Результирующий график формирования грузовых партий с учетом экспортной и импортной составляющих

Как видно на рис. 2, отклонения от средних значений существенно (в разы) превышают размеры отдельных судовых партий. При сочетании картины регулярных судозаходов с потоком случайных характер возникающих флуктуаций предсказать невозможно. В данном исследовании решение этой проблемы предлагается в форме построения имитационной модели поступления в порт судов, разделенных на произвольное число компонент с разными стохастическими характеристиками.

Начальный этап моделирования предполагает активацию процесса генерации случайных величин — судозаходов различных типов судов, подчиняющихся различным законам распределения интервалов, имеющих разбросы объемов судовых партий и времени обслуживания, отличающихся различными законами распределения срока хранения относительно средних величин. На этом этапе предполагается активация процесса генерации случайных величин, т. е. судозаходов разных типов судов, которые подчиняются разным законам распределения интервалов, имеющих разбросы объемов судовых партий и времени обслуживания, отличающихся различными законами распределения срока хранения относительно средних величин.

Многовариантный анализ моделирования в этом случае предполагает получение случайных величин двух видов:

- генерации случайной выборки событий (прибытие судов в порт);
- генерации индивидуальной партии для каждого судозахода.

Прибытие судов в порт является в данном случае реализацией совокупности случайных и детерминированных величин (интервалов судозахода). Генерация случайных судозаходов осуществляется по законам, задаваемым порядком распределения Эрланга. С ростом порядка указанного закона судозаходы асимптотически приближаются к равномерным интервалам, малые значения порядка Эрланга делают распределения, близкими к Пуассоновскому. Такой широкий спектр, управляемый выбором единственного параметра в одном и том же законе распределения, позволяет использовать эти формулы в качестве инструмента статистического анализа. Регулярные судозаходы, осуществляемые в соответствии с точным расписанием, задаются в виде аналитических формул. Судозаходы, определяемые временными окнами, генерируются по нормальному распределению с математическим ожиданием на середине окна и среднеквадратичным отклонением, определяемым как шестая часть размера окна. Пример подобного моделирования рассмотрен в работе [15], а результирующий график приведен на рис. 3.

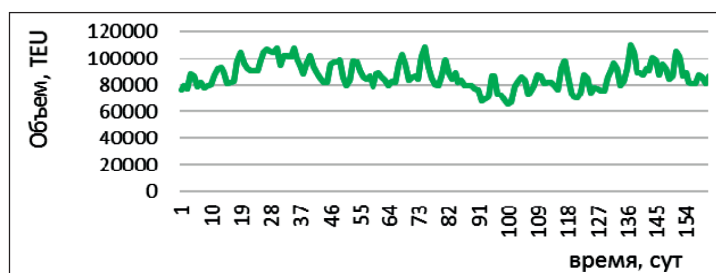


Рис. 3. Динамика изменения суммарного объема хранения

Каждый из потоков судов, участвующий в генерации судозаходов, связан с определенным размером импортной и экспортной партии. Среднее значение объема партии в каждом потоке и разброс значений вокруг него также задаются при описании модели. Указанные параметры позволяют генерировать соответствующую партию со случайным объемом, способом расформирования и средним сроком хранения. Генерация индивидуальной партии производится для каждого события — судозахода.

Результат моделирования, пример которого приведен на рис. 3, по своей природе аналогичен статистическому ряду, получаемому в результате использования традиционных методов статистических испытаний: он показывает, какие значения и с какой частотой наблюдались в ходе выполняемого эксперимента. Обработка полученного статистического ряда такими же стандартными методами математической статистики позволяет получить плотность распределения искомой случайной величины — объема хранения груза на складе морского порта. Предлагаемая имита-

ционная вероятностно-статистическая модель динамики склада предназначена в большей степени для уточнения представлений о границах его изменчивости. Модель не учитывает ограничения, вносимые нехваткой ресурсов грузовых фронтов, что может привести к появлению очереди судов в ожидании обслуживания в условиях переполнения склада.

Особенностью склада морского порта является необходимость оценки не просто требований к объему хранимого груза или его поведения в случае неограниченных размеров ресурсов, связанных с организацией этого хранения, но и влияния этих ограничений на изучаемые качественные и количественные характеристики системы складирования. Данная особенность не позволяет ограничиться только расчетно-аналитическими и вероятностно-статистическими методами, поступающие на склад партии груза могут получить отказ в обслуживании или встретить необходимость ожидания в очереди на обслуживание.

Как отмечалось ранее, изменение требований к пропускной способности портовых мощностей в современных условиях вызывает необходимость ее тщательного анализа и диагностики. Пропускная способность порта определяется производительностью самого слабого звена технологической цепи грузообработки, что заставляет заниматься детальным изучением как технических характеристик отдельных элементов морского порта, так и их совместного влияния. Несответствие отдельных характеристик элементов порта существующему спросу приведет к росту очереди транспортных средств на подходах к порту и, как следствие, к уходу грузопотока на конкурирующие терминалы.

Развитие порта, как правило, влечет за собой увеличение грузопотока, вследствие чего возникает необходимость более точной оценки существующих производственных мощностей и пропускной способности. При планировании портом увеличения грузопотока возникает необходимость оценки соответствия производительности обработки железнодорожных составов, вместимости склада и соответствующего роста грузопотока через морской грузовой фронт (МГФ) [16], [17]. Взаимодействие технологических звеньев морского порта с внешним железнодорожным транспортом является ключевым фактором его операционной работы [18], [19]. Для решения подобной задачи может служить имитационное моделирование рассматриваемого процесса, что позволит произвести оценку существующей ситуации и спрогнозировать показатели эффективности при изменении входных данных (объема, структуры, неравномерности грузопотока и т. д.), а также определить ключевые параметры, изменение которых приведет к достижению желаемого результата [20].

Моделирование процесса грузообработки на терминале с учетом случайного характера прибытия судов позволяет получить представление о возникновении и динамике очереди железнодорожных составов, а также оценить загруженность судов. В качестве примера подобного рода моделирования на рис. 4 представлены графики изменения очереди поездов у железнодорожного грузового фронта (ЖГФ) и загрузки первых десяти судов (вместимостью 5000 TEU) в одном эксперименте.

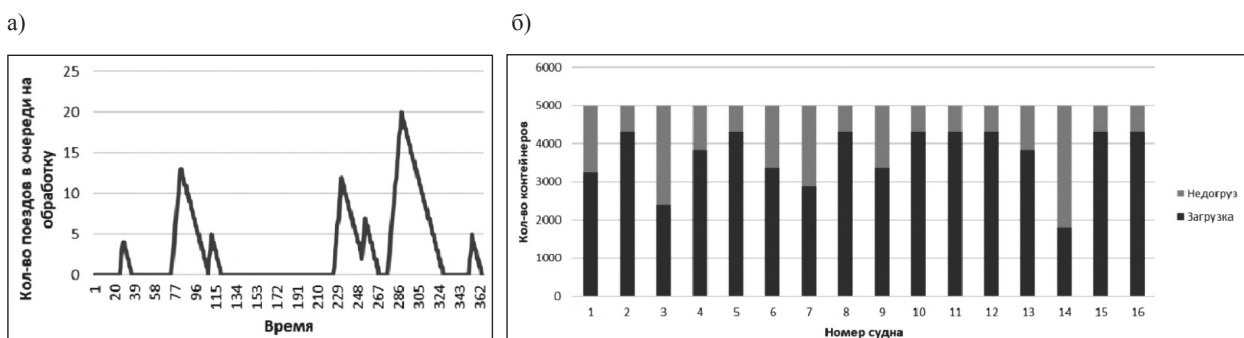


Рис. 4. Наблюдаемые изменения в одном эксперименте:
 а — изменение очереди поездов у железнодорожного грузового фронта;
 б — изменение загрузки судов

В дискретную модель также внесены разбросы загрузки поездов и колебания производительности их обработки. Выходными оцениваемыми параметрами данной модели служат средние значения длины очереди и средняя загрузка судна. Основным изменяемым параметром в данном исследовании выбран максимальный размер склада.

На рис. 5 представлены гистограммы распределения вероятностей появления очередей различной длины и загруженности судов, полученные в результате моделирования работы терминала в течение года.

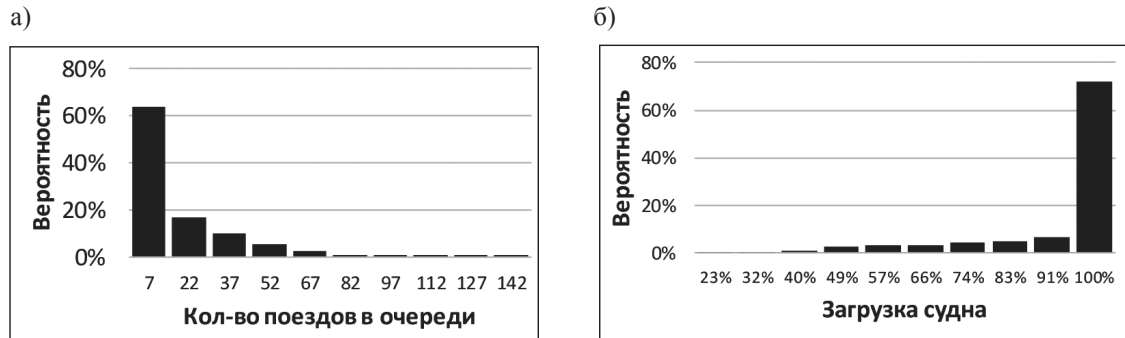


Рис. 5. Гистограммы распределения вероятностей:
а — количества поездов в очереди; б — загрузки судов

На рис. 6 приведена зависимость средней очереди поездов и загрузки судна от вместимости склада.

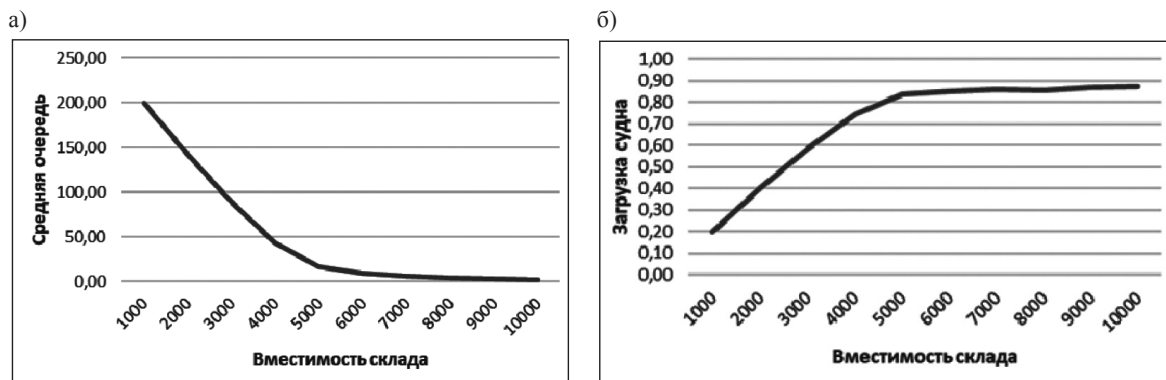


Рис. 6. Зависимость очереди поездов у железнодорожного грузового фронта (а) и загрузки судна (б) от вместимости склада

Кроме того, еще одним управляемым параметром может служить производительность обработки поезда. На рис. 7 показаны зависимости средней длины очереди и загрузки судна от данного параметра.

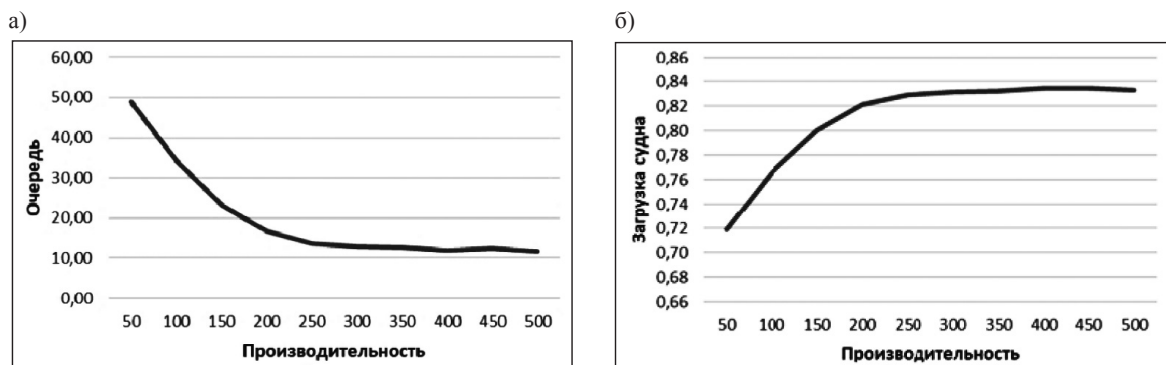


Рис. 7. Зависимость очереди поездов у железнодорожного грузового фронта (а) и загрузки судна (б) от производительности обработки поезда

Таким образом, использование предложенной модели позволяет оценить привлекательность существующего или проектируемого терминала и на основании этой оценки принять решение о необходимости увеличения производительности обработки поездов или об увеличении вместимости склада.

Различные нормативные методики пытаются учитывать вероятностные факторы, приводящие к случайным колебаниям параметров вокруг вычисленного среднего значения за счет введения коэффициента неравномерности $k_{\text{нер}} > 1$, определяемого как отношение максимального значения в один из анализируемых интервалов времени к среднему значению, рассчитанному на всей совокупности интервалов времени. Подобный подход связан с возникновением погрешностей и потерь, которые нельзя предсказать, так как указанный коэффициент есть не исходная, а, скорее, расчетная величина, значение которой должен определить процесс технологического проектирования. Суть технологического проектирования заключается в преобразовании определенного объема исходных данных и представлений в законченный проект, который характеризуется заданной степенью подробности и, соответственно, имеющий несоизмеримо большую размерность данных. Следовательно, на разных стадиях разработки возникают различные требования к содержанию и степени подробности, что объясняет необходимость использования в каждом из них определенных методов анализа вместо попыток разработки единой для всех этапов проектирования универсальной модели.

Методы оценки параметров грузового склада, описываемые в предлагаемом исследовании, формируют последовательность инструментов технологического проектирования, уточняющих и дополняющих друг друга, а также создают возможность применения каждого из них за счет использования предыдущих в этой последовательности. Ни один из рассмотренных методов не является лучшим по отношению к другим или исключающим их результаты. Все вносимые уточнения каждым из предлагаемых инструментов приводят не к сдвигу значений основных параметров, а к более достоверной оценке распределений случайных значений вокруг относительно неизменных центральных значений. Оценка вероятности потерь от создания избытка технологических мощностей, а также от их дефицита позволяет выполнять корректировку проектных решений в зависимости от общих характеристик проекта как объекта предпринимательской деятельности. Именно в этом и заключается новизна и ценность предлагаемого метода.

Одной из значимых проблем применения любых моделей и в особенности имитационно-симуляционных является необходимость объективного доказательства их адекватности исходному моделируемому объекту, без которого гносеологическая ценность любой сколь угодно сложной модели ничтожна, ввиду того, что впечатляющие и подробным образом представленные результаты моделирования могут не отражать реальность и быть качественно хуже самых примитивных, но валидных аналитических оценок. Практическая и теоретическая ценность предложенного в данном исследовании инструментария средств моделирования также требует подобного доказательства.

В проведенном исследовании показано, что предлагаемая последовательность построения имитационных моделей на каждом этапе технологического проектирования использует в качестве исходных данных результаты, полученные начальными расчетно-аналитическими методами или их уточнением последующими расчетными модулями. Такая методология построения моделей и выбор последовательности их использования позволяют получить достаточное доказательство валидности и адекватности созданного средства, что решает одну из главных задач практической применимости моделирования как метода технологического проектирования.

Обсуждение (Discussion)

На основании построенных в предлагаемом исследовании моделей различной точности и различного уровня оказывается возможным предложить методику расчета параметров склада

морского порта, заключающуюся в последовательном развитии представлений и уточнении данных о проектируемом технологическом элементе — грузовом складе морского порта или терминала — в ходе всего процесса его проектирования, строительства и эксплуатации. Общий состав процедуры технологического проектирования как последовательности взаимосвязанных этапов, объединяемых единым процессом передачи и преобразования проектных данных и сопутствующей информации из работы, приведен на рис. 8.

На разных этапах этого процесса требуются данные о его характеристиках в различных форматах, с различной точностью и характеристиками вероятностных разбросов. Склад морского порта является центральным элементом проектируемого объекта как производственной системы, поэтому данные о нем в том или ином виде присутствуют на всех этапах процесса, показанного на этом рисунке.

В соответствии с ранее изложенным, предлагаемая методика включает несколько взаимосвязанных этапов, от уточненных традиционных аналитических оценок до вероятностно-статистических экспериментов. Эти этапы и лежащие в их основе модели обеспечивают непрерывную инструментальную методическую поддержку всего хода процесса проектирования на каждом его этапе, предоставляя возможность возврата и многократного итерационного перепроектирования предшествующих этапов.

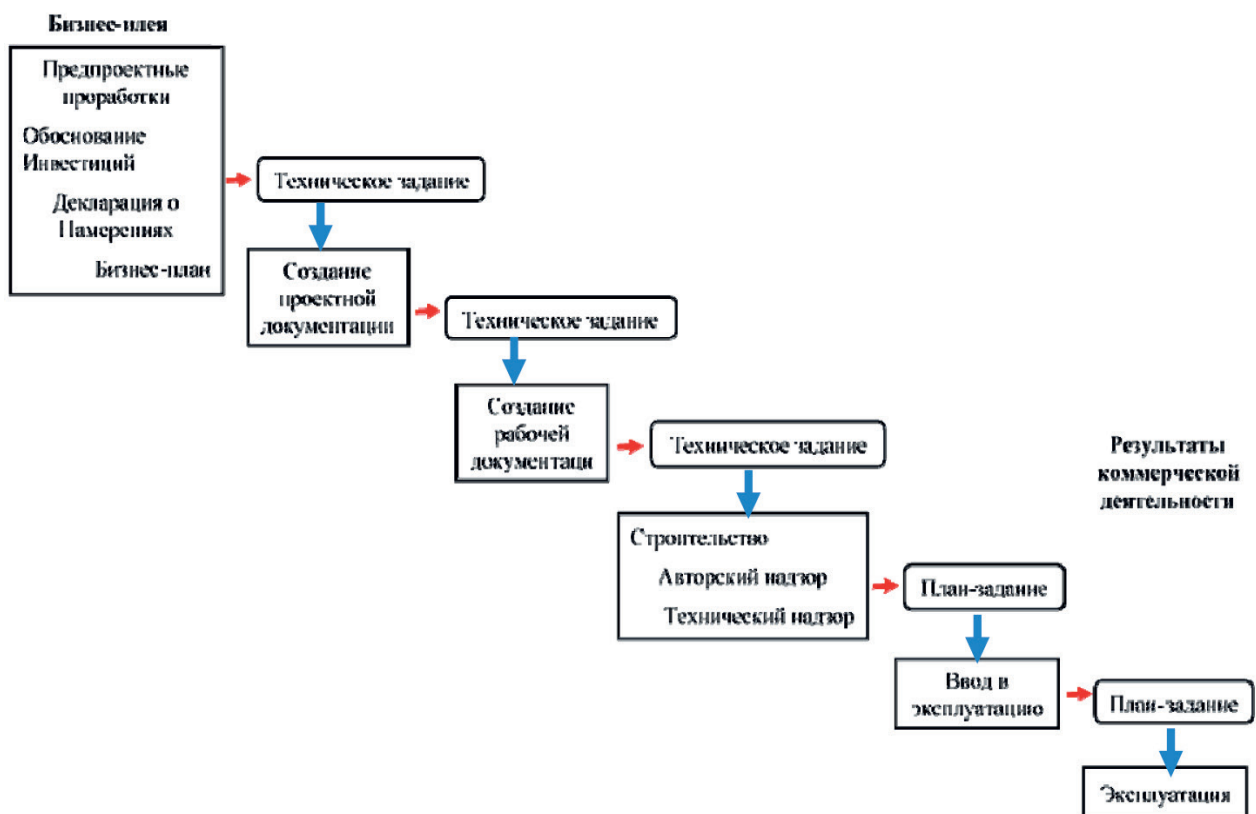


Рис. 8. Стадии технологического проектирования

На завершающих стадиях проектирования после получения всех требуемых значений технологических параметров объекта в качестве окончательного средства верификации полученных значений данное исследование предлагает использовать имитационно-симуляционный метод расчета грузового склада терминала, позволяющий получить наиболее полное и достоверное представление о случайных величинах, которыми являются технологические параметры этого объекта. В общем виде методика показана на рис. 9.

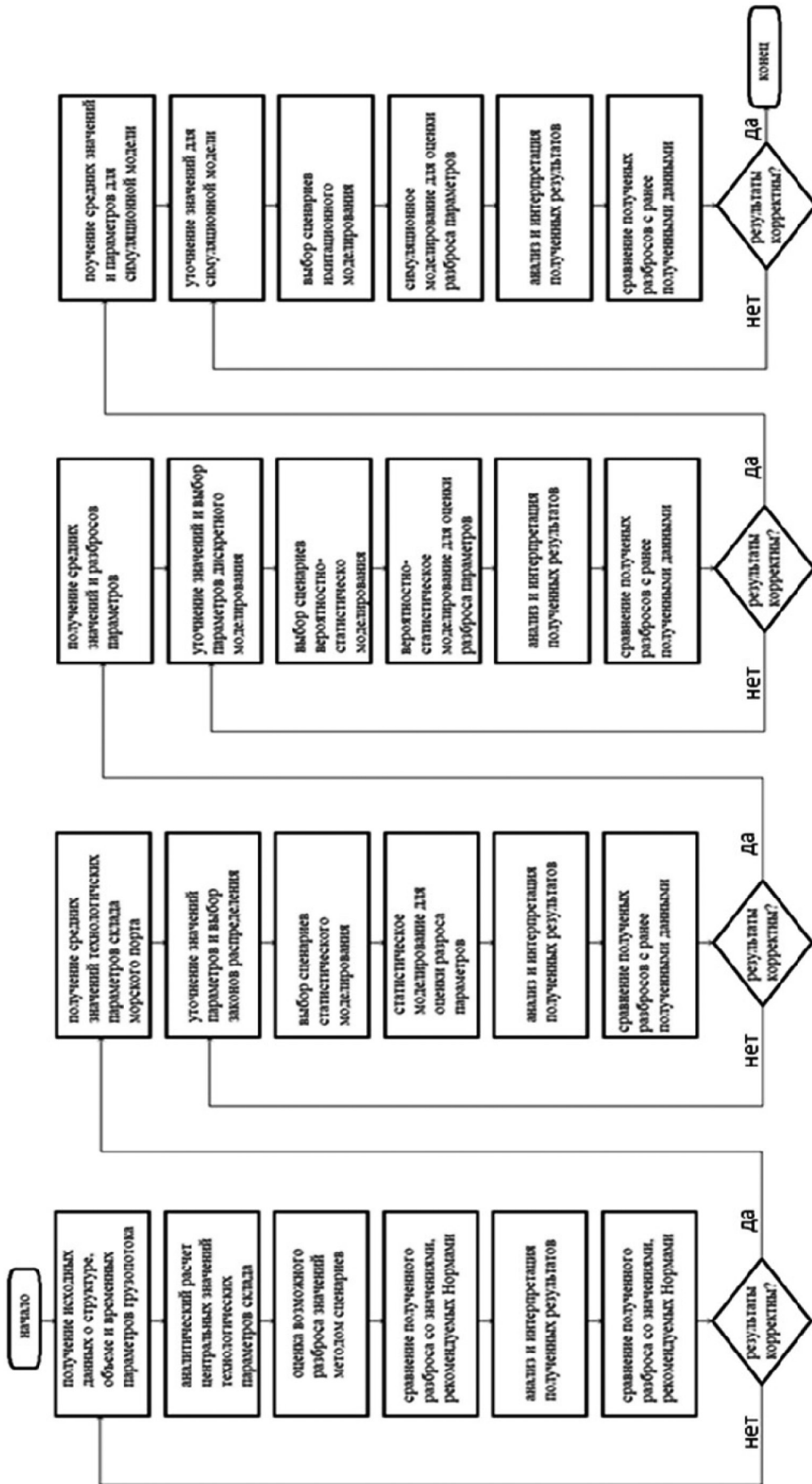


Рис. 9. Блок-схема методики моделирования как инструмента технологического проектирования

Выводы (Summary)

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Изменение требований к технологическим характеристикам инфраструктурных элементов портов и грузовых терминалов заставляет пересматривать методический инструментарий их проектирования.

2. Привлекательность проекта порта или терминала сегодня в значительной мере определяется ориентацией на самые передовые технологии транспортировки грузов, на обработку еще не введенного в эксплуатацию тоннажа нового типа, обеспечение более эффективного, по сравнению с конкурентами, использования производственных ресурсов сегодня и в ближайшем будущем, опорой на возможно уникальные технологические инновации, позволяющие порту не только выходить на лидирующие позиции, но и гибко подстраиваться к неизбежным изменениям требований.

3. Сложность и капиталоемкость морского порта, его роль как объекта повышенной опасности, значение для экономики страны — все это, безусловно, требует от проектировщика соблюдения всех соответствующих требований и стандартов, а от государственных органов — тщательного контроля их исполнения. В то же время, любая проектная деятельность по своей природе должна быть ориентирована вперед, в будущее, она должна принимать во внимание не только существующее положение, но и учитывать возможные сценарии развития портовой деятельности.

4. Проектирование морских портов до сих пор регламентируется нормами, созданными в середине XX в., что является объективной предпосылкой для создания новых методов, дополняющих и развивающих традиционно используемый инструментарий технологического проектирования.

5. Полученные на основе результатов проведенного исследования вероятностно-статистический и имитационно-симуляционный методы расчета склада морского порта могут в полной мере быть использованы в технологическом проектировании капиталоемких структурных элементов любых морских портов и терминалов, осуществляющих перевалку различных грузов: навалочных, генеральных, контейнеров.

6. Предложенная по результатам описываемого исследования последовательность моделей и, соответственно, методов их использования, позволяет получать все более точные представления и оценки параметров склада морского порта, что дает возможность предложить законченную и непротиворечивую методику оценки этих параметров на всех этапах технологического проектирования и позднее — управления развитием морских портов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов А. Л. Классификация и функциональное моделирование эшелонированных контейнерных терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. А. Давыденко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 6 (34). — С. 7–16. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-6-7-16.
2. Current issues in shipping, ports and logistics / Т. Notteboom (ed.). — Asp/Vubpress/Upa, 2011. — 608 p.
3. Thorensen C. A. Port designer's handbook / С. А. Thorensen. — London: Thomas Telford Limited, 2010. — 554 p.
4. Елисеева А. С. Принципы организации грузового терминала / А. С. Елисеева. — Ростов н/Д: Феникс, 2003. — 329 с.
5. Kuznetsov A. L. Simulation Model of Container Land Terminals / A. L. Kuznetsov, A. V. Kirichenko, J.J. Eglit // TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. — 2018. — Vol. 12. — No. 2. — Pp. 321–326. DOI: 10.12716/1001.12.02.13.
6. Кузнецов А. Л. О несовершенстве нормативной базы технологического проектирования морских портов / А. Л. Кузнецов, В. А. Погодин // Морские порты. — 2017. — № 6. — С. 18–22.
7. Щербакова-Слюсаренко В. Н. Разработка функциональной модели контейнерного терминала типа «сухой порт» и принципов ее использования в технологическом проектировании / В. Н. Щербакова-Слюсаренко, В. А. Погодин, А. С. Ткаченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 48–60. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-48-60.

8. UNCTAD Monographs on Port Management. Monograph №9. Multipurpose port terminals. Recommendations for planning and management. — March 1991.
9. *Михаэль Д.* Складская логистика. Новые пути системного планирования / Д. Михаэль; Пер. с нем.; Под ред. Г.П. Манжосова. — М: КИА центр, 2004. — 136 с.
10. International Handbook of Maritime Economics / K. Cullinane (ed.). — London: Edward Elgar Publishing, 2011. — 520 p.
11. European Commission. Directorate-General for Mobility and Transport. White Paper on Transport: Roadmap to a Single European Transport Area: Towards a Competitive and Resource-efficient Transport System. — Publications Office of the European Union, 2011.
12. *Валькова С. С.* Изменение роли грузового склада морского порта в современных транспортно-логистических сетях товаропродвижения / С. С. Валькова // Транспортное дело России. — 2018. — № 3. — С. 110–113.
13. *Валькова С. С.* Вероятностно-статистический метод расчета вместимости склада морского порта / С. С. Валькова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 3. — С. 507–519. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-507-519.
14. *Валькова С.С.* Оценка параметров склада морского порта методами имитационного моделирования / С. С. Валькова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 4. — С. 713–723. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-713-723.
15. *Король Р. Г.* Имитационное моделирование системы «Железнодорожная станция морской порт» на примере Владивостокского транспортного узла / Р. Г. Король, А. С. Балалаев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 3 (31). — С. 209–216. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-209-216
16. *Ханова А. А.* Имитационная модель грузового порта. Использование технологии имитационного моделирования для оценки качества логистического обслуживания грузового порта / А. А. Ханова, И. О. Григорьева // Вестник Астраханского государственного технического университета. — 2008. — № 1 (42). — С. 97–102.
17. *Соколов А. А.* Основы взаимодействия железнодорожного и водного (морского) транспорта (на примере Мурманского транспортного узла) / А. А. Соколов, А. А. Соловьев // Вестник Мурманского государственного технического университета. — 2015. — Т. 18. — № 1. — С. 48–52.
18. *Heilig L.* Inter-terminal transportation: an annotated bibliography and research agenda / L. Heilig, S. Voß // Flexible Services and Manufacturing Journal. — 2017. — Vol. 29. — Is. 1. — Pp. 35–63. DOI: 10.1007/s10696-016-9237-7.
19. *Кузнецов А. Л.* Роль имитационного моделирования в технологическом проектировании и оценке параметров грузовых терминалов / А. Л. Кузнецов [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2017. — № 2. — С. 93–102. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-2-93-102.

REFERENCES

1. Kuznetsov, Aleksandr Lvovich, Aleksandr Viktorovich Kirichenko, and Aleksandr Aleksandrovich Davydenko. “Classification and functional modeling of echeloned container terminals.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(34) (2015): 7–16. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-6-7-16.
2. Notteboom, Theo, ed. *Current issues in shipping, ports and logistics*. Asp/Vubpress/Upa, 2011.
3. Thorensen, C. A. *Port designer's handbook*. London: Thomas Telford Limited, 2010.
4. Eliseeva, A. S. *Printsipy organizatsii gruzovogo terminala*. Rostov-na-Donu: Feniks, 2003.
5. Kuznetsov, A. L., A. V. Kirichenko, and J.J. Eglit. “Simulation Model of Container Land Terminals.” *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* 12.2 (2018): 321–326. DOI: 10.12716/1001.12.02.13
6. Kuznetsov, A. L., and V. A. Pogodin. “O nesovershenstve normativnoi bazy tekhnologicheskogo proektirovaniya morskikh portov.” *Morskie porty* 6 (2017): 18–22.
7. Shcherbakova-Slyusarenko, Victoria N., Vladimir A. Pogodin, and Andrei S. Tkachenko. “The development of the functional model for the “dry port” type container terminal and principles of its use in the technologic design.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.1 (2017): 48–60. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-48-60.

8. UNCTAD *Monographs on Port Management. Monograph №9. Multipurpose port terminals. Recommendations for planning and management.* March 1991.
9. Mikhael', D. *Skladskaya logistika. Novye puti sistemnogo planirovaniya.* Edited by G.P. Manzhosov. M: KIA tsentr, 2004.
10. Cullinane, Kevin, ed. *International handbook of maritime economics.* Edward Elgar Publishing, 2011.
11. European Commission. Directorate-General for Mobility and Transport. *White Paper on Transport: Roadmap to a Single European Transport Area: Towards a Competitive and Resource-efficient Transport System.* Publications Office of the European Union, 2011.
12. Valkova, S. "Change of the sea port storage's role in modern logistic supply chain environment." *Transport business of Russia* 3 (2018): 110–113.
13. Valkova, Svetlana S. "Stochastic method for sea port storage capacity calculation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 10.3 (2018): 507–519. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-507-519.
14. Valkova, Svetlana S. "Simulation for the evaluation of the sea port storage's parameters." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 10.4 (2018): 713–723. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-713-723.
15. Korol, R.G., and A.S. Balalaev. "The simulation modeling system «Railway station – seaport» Vladivostok transport hub." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 3(31) (2015): 209–216. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-209-216.
16. Khanova, Anna Alekseevna, and Irina Olegovna Grigorieva. "An imitation model of a cargo port. The use of the technology of imitation modelling for estimation of cargo port logistic service quality." *Vestnik of Astrakhan state technical university* 1(42) (2008): 97–102.
17. Sokolov, A.A., and A.A. Solovyov. "Interaction of railway and marine transport (Murmansk Transport Hub)." *Vestnik of MSTU* 18.1 (2015): 48–52.
18. Heilig, Leonard, and Stefan Voß. "Inter-terminal transportation: an annotated bibliography and research agenda." *Flexible Services and Manufacturing Journal* 29.1 (2017): 35–63. DOI: 10.1007/s10696-016-9237-7
19. Kuznetsov, A. L., A. V. Kirichenko, V. A. Pogodin, and V. N. Shcherbakova-Slyusarenko. "Importance of simulation modelling for technological design and evaluating parameters of cargo terminals." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 2 (2017): 93–102. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-2-93-102.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Валькова Светлана Сергеевна — соискатель
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: vlvalkov@yandex.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

Васильев Юрий Иванович —
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_pgt@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valkova, Svetlana S. — Applicant
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: vlvalkov@yandex.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

Vasil'ev, Yurii I. —
PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: kaf_pgt@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 13 мая 2019 г.

Received: May 13, 2019.