

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-925-940

ELABORATION OF CALCULATION METHODS FOR OPTIMUM CAPACITY OF THE MARINE SIDE OF EXPORT COAL TERMINALS ON THE EARLY STAGES OF DESIGN

N.V. Kuptsov

PJSC “Gazprom Neft”, St Petersburg, Russian Federation

In the 21st century, the majority of coal export terminals become specialized complexes with high-capacity conveyor equipment, which allows to handle a volume of annual cargo throughput more than 10 million tons/year. The initiation of investment projects for the construction or expansion of terminals depends on solutions proposed at the early stages of design, which in market conditions requires more accurate results (capacity of ship loading equipment, annual throughput of the complex) and the application of modern techniques for technological design of the terminal marine side.

The author proposes the methods of technological design of the marine side of bulk terminals for the conceptual stage of design based on the synthesis of the Russian regulatory framework (RD 31.3.05-97, RD 31.3.01.01-93 and RD 31.31.48-88), foreign sources (UNCTAD handbook, researches of Holland scientific school by A.J.A. Kleinheerenbrink and T. Van Vianen), data mining of terminal performance indicators. Based on the methods, the calculation tool “Basic calculation of the marine side for bulk terminal” was developed, which allows performing the multiscenario technological calculation (at early stages of design) of the number of berths and shiploaders, as well as the productivity of ship loaders. The criterion of efficiency is used as the main criterion for calculation, which is represented by numerical values in general for the terminal (by the ratio of the productivity of ship-loading operations) and for ship loaders in particular (by unit productivity used in real operations).

The proposed methods and calculation tools have practical importance, allow to increase the accuracy of technological design. The calculated results can be used for conceptual design stages, when different variants of layouts are considered. At the stage of design documentation, the obtained results should be defined more precisely by detailed analysis of ship loading operations or simulation of ship calls, which have a stochastic process of occurrence.

Keywords: marine ports, bulk (coal) terminals, marine side calculations, capacity of shiploading equipment, technological design, conceptual multiscenario design.

For citation:

Kuptsov, Nikolay V. “Elaboration of calculation methods for optimum capacity of the marine side of export coal terminals on the early stages of design.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.5 (2017): 925–940. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-925-940.

УДК 05.22.00

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОРСКОГО ГРУЗОВОГО ФРОНТА ДЛЯ ТЕРМИНАЛОВ ПО ЭКСПОРТНОЙ ПЕРЕВАЛКЕ УГЛЯ НА РАННИХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Н. В. Купцов

ПАО «Газпром Нефть», Санкт-Петербург, Российская Федерация

В XXI в. большинство угольных экспортных терминалов становятся специализированными комплексами с высокопроизводительным конвейерным оборудованием, позволяющим выполнять перевалку годового грузооборота более 10 млн т/год. Инициация инвестиционных проектов строительства или расширения терминалов зависит от решений, разрабатываемых на ранних стадиях проектирования, что в рыночных условиях требует более точных результатов (производительности судопогрузочного оборудования, пропускной способности морского грузового фронта) и применения современных методик технологического проектирования морского грузового фронта.

В статье предложена методика технологического проектирования морского грузового фронта навалочных терминалов для концептуальных стадий проектирования на основе синтеза российской нормативной базы (РД 31.3.05-97, РД 31.3.01.01-93 и РД 31.31.48-88), иностранных источников (справочника UNCTAD,

исследований голландской научной школы A.J.A. Kleinheerenbrink и T. Van Vianen), глубинного анализа производственных показателей терминалов. На основе методики разработан расчетный инструмент «Базовый расчет морского грузового фронта навалочного терминала», позволяющий на ранних стадиях проектирования выполнять многовариантный технологический расчет количества причалов и судопогрузочных машин, а также производительности судопогрузочных машин. В качестве основного критерия расчета используется критерий эффективности, который представлен численными значениями в общем виде для терминала (по коэффициенту запаса производительности судопогрузочных операций) и для судопогрузочных машин в частности (по единичной производительности, применяемой в реальной эксплуатации).

Предлагаемые методика и расчетный инструмент, представляющие практическую значимость для проектировщиков-технологов, позволяют повысить точность технологического проектирования. Полученные расчетные результаты могут использоваться на концептуальных стадиях проектирования, когда рассматриваются различные варианты компоновок. На стадии проектной документации следует уточнять полученные результаты за счет детализированного анализа судопогрузочных операций или моделирования судозаходов, для которых наиболее характерным является стохастический процесс возникновения.

Ключевые слова: морские порты, навалочные (угольные) терминалы, расчет морского грузового фронта, производительность судопогрузочного оборудования, технологическое проектирование, концептуальное многовариантное проектирование.

Для цитирования:

Купцов Н. В. Разработка методики расчета оптимальной производительности морского грузового фронта для терминалов по экспортной перевалке угля на ранних стадиях проектирования / Н. В. Купцов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 5. — С. 925–940. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-925-940.

Введение (Introduction)

В XX в. большинство морских угольных перегрузочных комплексов (терминалов) становятся специализированными, они динамично развиваются вслед за прогрессом технологий перегрузочного оборудования, укрупнением судовых партий и усложнением разветвленной сети мировых грузопотоков. При технологическом проектировании морского грузового фронта (МГФ) основными результатами являются значения пропускной способности терминала (млн т / г.), производительности оборудования (т / ч), а также длины причальной линии (м).

Система российских нормативных документов в области технологического проектирования морских портов не является актуальной и современной, при этом создавая систему «закольцованных ссылок» на устаревшие требования и технические решения. Основной проблемой является отсутствие методологической базы расчетов МГФ, которая практически не присутствует в нормативных документах. Существующая нормативная база (РД 31.3.05-97, РД 31.3.01.01-93 и РД 31.31.48-88) технически и морально устарела, при этом обладает существенными недостатками, которые не позволяют выполнять корректное технологическое проектирование МГФ для экспортных терминалов навалочных грузов, ввиду следующих причин:

- в связи с давностью срока разработки и утверждения документов (1988 – 1997 гг.) устарели обозначенные в нормах технические требования и основные показатели деятельности перегрузочных комплексов;
- основной целью расчетов является определение количества причалов (а не комплексная оптимизация длины причала, судопогрузочной производительности и количества судопогрузочных машин);
- не обозначена методика расчета эксплуатационной производительности судопогрузочных работ (в частности, для судов-балкеров);
- не рассмотрены технологические процессы между технологическими зонами терминала;
- приведены устаревшие образцы схем механизации погрузочно-разгрузочных работ.

В зарубежной практике технологическое проектирование практически не регулируется на уровне государственных стандартов, в отличие от стандартов в области строительства и конструирования гидротехнических сооружений, дноуглубительных работ или морских судов (на-

пример, еврокоды EU и британские стандарты BS серии 6349 «Maritime Works» и «Maritime Structures», стандарты Международной организации по стандартизации ISO/TC 8 и немецкие нормы DIN серии «Shipsand Marine Technology», японский технический стандарт «Port and Harbour Facilities in Japan» [1] и комментарии к нему). Мировая ассоциация инфраструктуры водного транспорта (PIANC), функционирующая с 1885 г. и занимающаяся, в том числе разработкой руководящих стандартов, в 2015 г. сообщила о том, что не существует стандартов в области технологического проектирования терминалов навалочных грузов, несмотря на заметный прогресс в технологиях перегрузочного оборудования и судов. Для рабочей группы PIANC MarCom WG 184 разработка стандарта является основной задачей. Также PIANC отмечает, что по технологическому проектированию портов существует два основных документа-справочника: UNCTAD «Справочник проектировщика портов в развивающихся странах» (разработан коллективом экспертов ООН, 2-е изд., 1985 г.) [2] и «Справочник проектировщика портов» [3].

В зарубежной практике базисные принципы проектирования морских портов были заложены в справочник UNCTAD [2], основная идея которого заключалась в том, что при проектировании морских терминалов следует комплексно рассматривать широкий круг вопросов — от технологических операций до воздействия на экологическую среду. При этом для принятия решения о строительстве терминала следует выполнять обоснование экономической эффективности инвестиционного проекта, для чего требуется рассматривать различные варианты компоновок. У приоритетного варианта приведенная стоимость перевалки за тонну груза должна быть минимальной с точки зрения суммы капитальных (строительно-монтажных работ) и операционных затрат (обслуживание судов в порту, эксплуатация терминала) в течение жизненного цикла проекта. Для процессов судозаходов и обслуживания судов в справочнике [2] используется теория массового обслуживания, что позволяет определять численные значения пропускной способности с учетом неравномерности судозаходов. Для проектирования навалочных терминалов методология технологических расчетов и математический аппарат теории массового обслуживания остаются актуальными до сих пор. На рис. 1 приведены основные принципы методологии технологического проектирования, изложенной в справочнике [2].



Рис. 1. Основные принципы технологического проектирования для терминалов навалочных грузов

Моделирование судозаходов и судопогрузочных операций, выполняемых на МГФ, является систематизирующей основой технологического проектирования терминалов. По этой тематике

выполнено достаточное количество иностранных исследований в области контейнерных портов, в то время как по навалочным терминалам (в частности, угольным) существует ограниченное количество публикаций. Результаты, полученные в исследованиях контейнерных терминалов, в дальнейшем могут быть применимы и к навалочным портам. Основными научными проблемами в области технологического проектирования МГФ являются следующие (детализированный анализ приведен на с. 929–930):

- распределение судов вдоль причальной линии (Berth Allocation Problem) рассмотрено в работах [4] – [10];
- распределение судопогрузочных машин к пришвартованным судам (Quay Crane Assignment problem) рассмотрено в работах [6], [11] – [14];
- определение режима работы судопогрузочных машин (Quay Crane Scheduling Problem) рассмотрено в работах [15] – [17].

В XXI в. в зарубежной практике активно используется комплексное многостадийное проектирование навалочных портов. Научное сообщество и консалтинговые компании на ранних стадиях используют концептуальное проектирование, в основу которого заложены принципы справочника [2], а также производительность современного оборудования и практика реальной эксплуатации терминалов. На следующей стадии точно рассматривается каждая технологическая зона терминала (железнодорожный грузовой фронт, складская зона, конвейерная транспортная система, морской грузовой фронт), затем находят баланс между различными значениями пропускной способности каждой технологической зоны. На поздних стадиях проектирования используется симуляционное моделирование для создания подробной модели судозаходов и погрузочно-разгрузочных процессов. Заметных успехов в этой области комплексного технологического проектирования терминалов навалочных грузов добились в Голландии — флагманами являются Delft University of Technology и проектно-консалтинговая компания Royal Haskoning DHV. Значимые результаты в области методологии технологических расчетов МГФ опубликованы в работах [18] и [19].

В рамках РД 31.3.01.01-93 основными расчетными характеристиками терминала являются потребность в грузовых причалах (п. 14.4.1 РД) и годовая пропускная способность терминала (п. 14.4.4 РД). С точки зрения методологии справочника [2] основной задачей является нахождение оптимальной занятости причала, для которой характерны технологические ограничения и следующие возможности: количество судопогрузочных машин (СПМ), количество причалов, средняя судовая партия, время на непроизводственные операции.

Для получения более точных результатов при технологическом проектировании российских терминалов существует необходимость в разработке научно-обоснованных новых методологий и создании прикладных расчетных модулей за счет обновления существующих норм, применения лучших зарубежных практик и интеграции современного практического опыта по эксплуатации терминалов, что, например, отмечается в статье [20]. В ней предлагается методика технологического проектирования МГФ навалочных терминалов на ранних стадиях. Российские авторы выполняли подобные исследования для контейнерных терминалов, в то время как навалочным терминалам посвящено незначительное количество публикаций. Данная задача имеет практическую значимость, поскольку зачастую от точности и адекватности полученных результатов пропускной способности МГФ зависит инициация инвестиционных проектов строительства или расширения терминалов.

Существующая мировая научная проблематика при технологическом проектировании МГФ делится на три основных составляющих. Рассмотрим принятые допущения при технологическом проектировании МГФ.

1. *Проблема распределения судов вдоль причальной линии.* Суда швартуются в границах причальной линии, протяженность которой требует технико-экономического обоснования в связи с высокой стоимостью территории и строительных работ. Согласно справочнику [4] и исследованиям [5], [6], существует три подхода к компоновке причальной линии, используемых затем в расчетных моделях:

1-й подход — дискретная компоновка (см. тип (1А) и (1Б) рис. 2): причальная линия разделена на отдельные отрезки причалов, на отдельном пронумерованном отрезке обслуживается только одно судно. Разновидностью компоновки является двухсторонний пирс с обслуживанием судов по обеим сторонам. Подходит для относительно простых расчетных моделей.

2-й подход — непрерывная компоновка (см. тип (2) рис. 2): причальная линия не имеет внутренних пространственных ограничений, и судно может швартоваться на произвольные позиции. Взаимозаменяемость обусловлена равными глубинами и общим ресурсом перегрузочного оборудования (СПМ). Здесь более сложное планирование операций, но занятость причала и СПМ рассчитывается точнее в сравнении с дискретной компоновкой.

3-й подход — гибридная компоновка (см. тип (3) рис. 2): причальная линия разделена на отдельные отрезки причалов, но крупные суда могут занимать более одного причала, а небольшие суда — швартоваться совместно на одном причале.

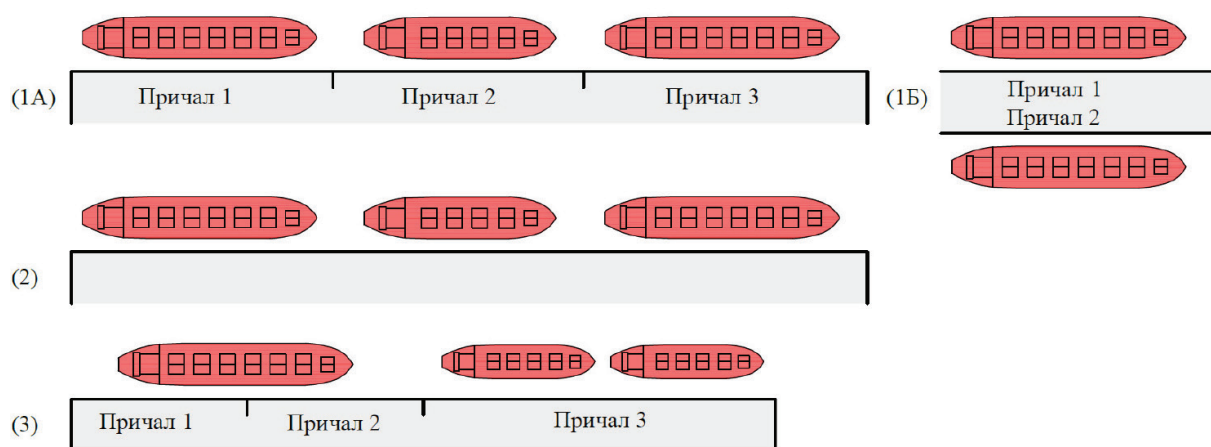


Рис. 2. Подходы к компоновке причальной линии:
(1А) и (1Б) — дискретная; (2) — непрерывная; (3) — гибридная

В научном сообществе компоновки причальной линии рассматривают для различных целей, в связи с этим вводят дополнительные условия, в частности:

- одна из первых аналитических моделей была разработана в издании [23], в настоящее время в аналитических моделях [24] применяется теория массового обслуживания;
- в работах [6], [7], [11] разработаны симуляционные модели, основной задачей которых является уменьшение времени ожидания и обслуживания судов;
- в работах [25] и [26] в своих моделях авторы вводят различные глубины у причалов, чтобы обеспечить швартовку судов с корректной осадкой;
- существует большое количество исследований, в которых помимо общих задач проблемы распределения судов вдоль причальной линии [27] также рассмотрены подзадачи вариативности фраховых ставок [28], минимизации расхода топлива и выбросов при работе двигателя [29], при оптимизации грузоотправителя [30].

Используются следующие методы для определения порядка обслуживания судов:

- FCFS (First Come First Served: первым прибыл – первым обслужен) применяется в исследованиях и расчетных моделях [7] – [9];
- EDD (Earliest Due Date — самая ранняя дата обслуживания), при котором первыми швартуются и обслуживаются суда с более ранней датой контрактного завершения — метод рассмотрен в исследованиях [7], [8];
- метод минимизации демереджа (возмещение убытка перевозчику за простой судна в течение контрсталийного времени), при котором сначала обслуживаются суда с более дорогой ставкой фрахта (предложен в исследовании [10]).

2. *Проблема распределения судопогрузочных машин к пришвартованным судам.* Основной задачей для данной проблемы является минимизация потерь производительности, связанных с перестановками СПМ и перемещением вдоль причала. Существуют следующие подходы:

- фиксированное количество СПМ на период обслуживания судна:
 - согласно публикации [6], в случае использования компоновки дискретного причала (см. тип (1А) и (1Б) на рис. 2) на каждом пронумерованном отрезке находится определенное количество СПМ, перестановок дополнительных СПМ с других отрезков не выполняется;
 - согласно публикации [12], для непрерывной компоновки причала (см. тип (2), рис. 2) одним из возможных расчетных вариантов является фиксирование количества СПМ в течение всего периода обслуживания судна;
- вариативное количество СПМ (к примеру, обслуживание судна начинают два СПМ, а заканчивает один СПМ) на период обслуживания судна (для непрерывной компоновки причала) рассмотрено в исследованиях [13], [14];
- в редких случаях используется метод присвоения минимально необходимой производительности (количества СПМ), требуемой в соответствии с контрактом между грузоотправителем и терминалом [11].

3. *Проблема определения режима работы судопогрузочных машин.* Основной задачей при решении данной проблемы является определение последовательности судопогрузочных операций для минимизации времени обслуживания судна, что связано с очередностью загрузки трюмов. Порядок загрузки трюмов определяется планом погрузки в судно, он необходим для соблюдения требований по продольной прочности и остойчивости судна. В исследовании [15] предложен алгоритм, при котором судопогрузочные операции сбалансированы при различном количестве СПМ. Затем в работе [16] авторы расширили этот алгоритм прикреплением к трюмам отдельных СПМ, что позволило уменьшить время погрузки на судно. В исследованиях [15], [16] были изложены следующие основные принципы проблемы определения режима работы СПМ:

- СПМ не должна находиться в состоянии простоя, если существует задача по погрузке судна;
- если с судном работает несколько СПМ, то одна из них должна работать с «максимальным» трюмом, которому требуется наибольшее время для работ;
- наименьшая гибкость присвоения СПМ характерна для судна, которое необходимо отправить из порта первым, так как оно обладает приоритетом;
- для трюмов с наибольшим количеством груза характерна наименьшая гибкость, что связано ограниченностью одновременных судопогрузочных операций.

В исследовании [17] был предложен гибкий подход к приоритизации судопогрузочных операций по важности грузоотправителя — при стохастическом характере судозаходов в предлагаемом подходе для СПМ было позволено перемещение к прибывающим судам, даже если судопогрузочная операция с текущим судном не завершена.

Методы и материалы (Methods and materials)

В статье разработаны методика технологического проектирования МГФ и инструмент «базовый расчет МГФ навалочного терминала», в основе которых заложены следующие подходы:

- методологии справочника [2] и РД 31.3.01.01-93 «Руководство по технологическому проектированию морских портов»;
- исследования [18] и [19];
- интеллектуальный анализ данных (Data Mining) производственных показателей МГФ, эффективности и характеристик судов-балкеров, который был приведен в предыдущих работах автора [21], [22].

В мировой и российской практике от заказчиков (крупных производственных корпораций или портовых операторов) при разработке проекта терминала поступает запрос на перевалку определенного количества груза (млн т / г.). Затем проектировщик выполняет подбор компоновок с рас-

смотрением наиболее эффективных вариантов механизации под эту задачу. Для ранних стадий проектирования (предпроектный анализ / Due Diligence, предпроектные решения / Pre Front End Engineering Design) особую актуальность имеет многовариантный расчет, так как общая технологическая цепочка порта обладает неопределенностью, которая будет сниматься на последующих стадиях по каждой из технологических зон. В связи с этим был разработан инструмент «Базовый расчет МГФ навалочного терминала», в который заложены принципы многовариантного расчета (от общего к частному) с поиском эффективных значений технической производительности СПМ. Общая логика подхода к расчетам приведена на рис. 3.



Рис. 3. Логика расчета инструмента «Базовый расчет МГФ навалочного терминала»

В основу инструмента «Базовый расчет МГФ навалочного терминала» заложены принципы ТМО. Принятые допущения:

- используется схема дискретных причалов (см. тип (1А) на рис. 2);
- фиксированное количество СПМ в течение всего цикла проведения судопогрузочных операций;
- суда швартуются к выделенным причалам, каждый причал при этом использует собственные судопогрузочные машины, что отвечает требованиям ТМО.

При этом используются значения коэффициента занятости причалов $k_{зан}$, рекомендованные математическим аппаратом справочника [2] для балкерных терминалов. На ранних предпроектных стадиях инструмент «Базовый расчет МГФ навалочного терминала» представляет диапазон результатов, для которых, понимая промежуточный характер исходных данных и коэффициентов, на последующих проектных стадиях будет предоставлена возможность выполнить более детальный перерасчет, чтобы принять более эффективные технические решения.

Все величины, входящие в «Базовый расчет МГФ навалочного терминала», разделены на три категории (табл. 1): исходные данные, вариативно-расчетные величины и результаты. В табл. 2 приведены наименования по каждой категории, а также указаны источники получения исходных данных, приведены сведения о том, на основе использования каких принципов и расчетных формул следует определять вариативно-расчетные величины и как оценивать результаты.

Таблица 1

Категории величин, входящих в «Базовый расчет МГФ навалочного терминала»

Исходные данные	Вариативно-расчетные величины	Результаты
1. Грузооборот $P_{год}$, млн т/г. 2. Бюджет рабочего времени, дней/г. 3. Судооборот: – максимальная судовая партия, т; – минимальная судовая партия, т; – распределение по тоннажным группам, %; – средняя судовая партия, т. 4. Время непроизводительного простоя, ч/судно.	1. Количество причалов, шт. 2. Соотношение времени ожидания W_i к времени обслуживания S_i [–]. 3. Коэффициент занятости причала [–]. 4. Интенсивность обработки судна с учетом непроизводительного простоя, т / сут. 5. Занятость судна у причала с учетом непроизводительного простоя, ч / судно. 6. Занятость судна погрузочными операциями, ч / судно. 7. Суммарная эксплуатационная производительность всех линий на одном причале, т/ч. 8. Суммарная техническая производительность всех линий на одном причале, т / ч; т / сут. 9. Мощность МГФ, млн т / г.	1. Коэффициент запаса производительности судопогрузочных операций $K_{СПМ}$ [–]. 2. Техническая производительность одной линии, т/ч, в зависимости от количества СПМ, шт.

Таблица 2

**Разъяснения исходных данных, вариативно-расчетных величин и результатов
в составе «Базового расчета МГФ навалочного терминала»**

Категория «Исходные данные»	
Наименование	Источник получения или формула для расчета
1. Грузооборот $P_{\text{год}}$, млн т/г.	Заказчик — намерения (планы развития) по грузообороту или гарантированные контрактами значения грузооборота
2. Бюджет рабочего времени, дн. / г.	Заказчик или расчет по формуле $T_{\text{рабоч}} = (365 - T_{\text{нерабоч}}) \cdot k_{\text{метео}}$ где 365 — количество дней в году; $T_{\text{нерабоч}}$ — количество праздничных и прочих нерабочих дней в году, дн./г., $k_{\text{метео}}$ — коэффициент использования бюджета рабочего времени по метеоусловиям (для предпроектной стадии принять из прил. 23 РД 31.3.01.01- 93)
3. Судооборот	Заказчик или исследование (судов-балкеров региона мореплавания, осадок перед причалом для региональных или мировых терминалов). Для дальнейших расчетов принимается значение средней судовой партии $D_{\text{сред}}$ т / судно. В качестве источника следует использовать актуальные базы данных судов или значения из статьи [22]
4. Время непроизводственного простоя $t_{\text{непроизв}}$, ч / судно	Заказчик: опыт существующих терминалов в порту, намерения по режиму работы служб на терминале. Составляющие времени непроизводственного простоя: — подход судна по подходному каналу; — швартовка; — оформление необходимых документов (заход и выход судна, погранично-таможенная служба, санитарно-карантинная служба, стивидорно- погрузочная служба); — отшвартовка; — выход судна по подходному каналу. На современных терминалах существует стремление к сокращению непроизводственного времени, в связи с этим оформление документов стали выполнять на рейде, что позволяет выполнять швартовые и подходные операции за 2 – 4 ч (в частности, ЗАО «Дальтрансголь»). Для более консервативного расчета можно использовать значения из табл. 80 РД 31.3.01.01- 93
Категория «Вариативно-расчетные величины»	
Наименование	Принцип применения, формула для расчета
1. Количество причалов $n_{\text{прич}}$, шт.	В результате анализа двадцати шести современных терминалов по экспортной перевалке угля [21] сделаны следующие выводы: — один – три причала при грузообороте до 50 млн т/г; — четыре – шесть причалов при грузообороте 50 ... 100 млн т/г.
2. Соотношение времени ожидания W_i к времени обслуживания S_i , [–]	Целевое значение $W_i/S_i = 0,3$ в соответствии с данными справочника [2, пп. 113 (р. I, ch. II) и 120 (р. I, ch. II)]. Применение только целевого значения в итоге приводит только к одному значению занятости причала. Для анализа чувствительности используется вариация $\pm 0,05$ вокруг целевого значения (0,25 и 0,35)

Таблица 2
(Продолжение)

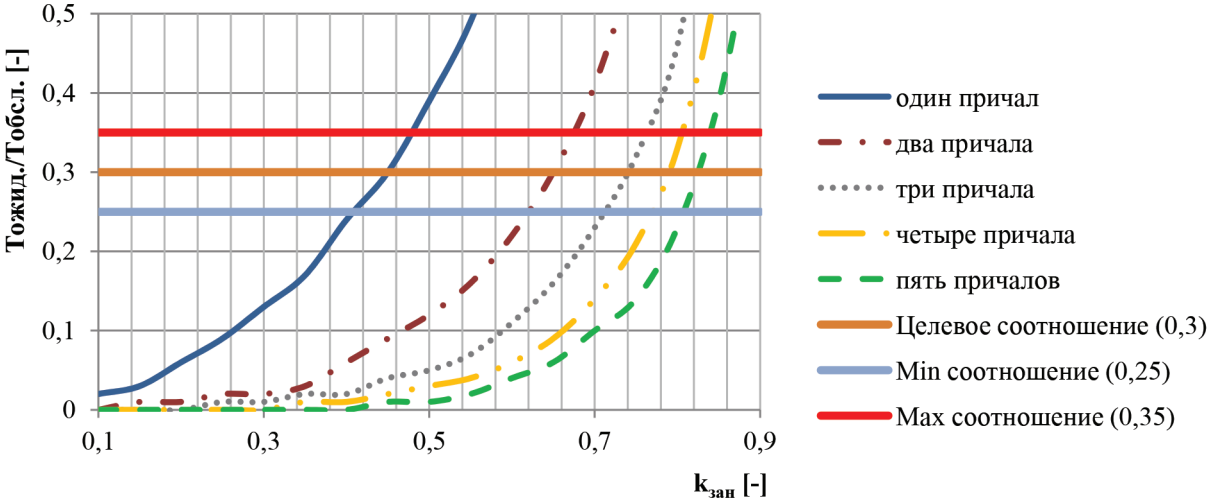
3. Коэффициент занятости причала, $k_{зан}$ [—]	В соответствии с данными справочника [2, п. 345 (р. II, ch. VII)] для навалочных терминалов используется распределение Erlang 2 как для времени обслуживания, так и для частоты судозаходов. В итоге коэффициент занятости причала при $W_i/S_i=0,3$ равен: – 0,45 — для одного причала; – 0,65 — для двух причалов; – 0,73 — для трех причалов; – 0,78 — для четырех причалов; – 0,82 — для пяти причалов. Численные значения для распределения E2/E2/n приведены в справочнике [2, табл. IX прил. II].
Оптимизированный вид приведен на следующем рисунке:  Соотношение $W_i/S_i (T_{ожид}/T_{обсл.})$ при распределении E2/E2/n ($E2$ — время обслуживания, $E2$ — частота судозаходов, n — количество причалов) для навалочного терминала	
4. Интенсивность обработки судна с учетом непроизводительного простоя, т/сут	Определяется по формуле $M = \frac{P_{год}}{T_{рабоч.} \cdot k_{зан}}$ В рамках инструмента «Базовый расчет МГФ навалочного терминала» не используется коэффициент месячной неравномерности, рекомендованный РД 31.3.01.01-93, ввиду того, что все современные мировые терминалы работают равномерно круглый год, максимально используя свои перегрузочные возможности, ежемесячные отклонения грузооборота могут возникать только в случае ремонта оборудования (как планового, так и непредвиденного) или метеоусловий
5. Занятость судна у причала с учетом непроизводительного простоя, ч/судно	В общем случае занятость судна у причала является суммой занятости погрузочными операциями и непроизводительного простоя и определяется по формуле $t = \frac{D_{сред.}}{M} \cdot 24 \text{ ч.}$
6. Занятость судна погрузочными операциями, ч/судно	Определяется по формуле $t_{погруз} = t - t_{непроизв}$

Таблица 2
(Окончание)

7. Суммарная эксплуатационная производительность всех линий на одном причале, т/ч	Определяется по формуле $Q_{\text{эк.общ}} = \frac{D_{\text{сред}}}{t_{\text{погруз}}}$
8. Суммарная техническая производительность всех линий на одном причале, т/ч; т/сут	Определяется по формуле $Q_{\text{тех.общ}} = Q_{\text{эк.общ}} \cdot k_{\text{эф}}$ Используется коэффициент эффективности $k_{\text{эф}}$ перехода от эксплуатационной к технической производительности, рекомендованный равным 0,7 для операций с навалочными грузами в соответствии с данными справочника [2, пп. 265 (р. I, ch. II) и 339 (р. II, ch. VII)]. Для определения суточной производительности коэффициент эффективности $k_{\text{эф}}$ следует умножить на 24 ч
9. Мощность МГФ, млн т/г.	Максимально возможный объем перевалки груза через МГФ при теоретической работе 365 сут в году и непрерывной работе СПМ. Определяется по формуле $P_{\text{мощн}} = Q_{\text{тех.общ}} \cdot n_{\text{прич}} \cdot 365 \text{ сут}$
Категория «Результаты»	
1. Коэффициент запаса производительности судопогрузочных операций $k_{\text{СПМ}}$ [–]	Определяется по формуле $k_{\text{СПМ}} = \frac{P_{\text{год}}}{P_{\text{мощн}}}$
2. Техническая производительность одной линии, т/ч, в зависимости от количества СПМ, шт.	Определяется по формуле $Q_{\text{тех.единич}} = \frac{Q_{\text{тех.общ}}}{k_{\text{СПМ}}}$ где $k_{\text{СПМ}}$ — коэффициент перехода к единичной СПМ, который, в соответствии с данными справочника [2, п. 340 (р. II, ch. VII)], равен: 1,00 — для одной СПМ; 1,75 — для двух СПМ; 2,25 — для трех СПМ; 2,60 — для четырех СПМ; 2,85 — для пяти СПМ

Результаты (Results)

Для оценки полученных результатов были использованы следующие критерии:

- эффективности (для $k_{\text{СПМ}}$);
- применимости в реальной эксплуатации (для технической производительности одной линии СПМ).

В соответствии с исследованиями, проведенными в области эффективности современных навалочных терминалов по экспортной перевалке угля [21], были выделены следующие значения $k_{\text{СПМ}}$:

- менее 3,0 — для высокоэффективного терминала;
- 3,0 – 4,5 — для эффективного терминала;
- 4,5 – 6,0 — для недостаточно эффективного терминала;
- более 6,0 — для терминала с чрезмерным запасом.

Для технической производительности одной линии СПМ автором на основе данных исследования [21] был выполнен анализ применимости различной технической производительности СПМ в зависимости от грузооборота терминала. Полученные критерии применимости технической производительности и количества СПМ приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Критерий применимости технической производительности и количества СПМ
в зависимости от грузооборота терминала**

Грузооборот терминала, млн т / г.	Производительность одной СПМ, т / ч	Кол-во СПМ, шт.
10 – 25	2500	2
	3500	
	4000	
	4500	
	6000	1
	6500	
	7000	
	8000	
25 – 45	6000	2
	6500	
	7000	
	8000	
	11000	
55	6000	3
	10500	2
70 – 75	7600	3
	9000 - 11000	4
90 – 100	6800	8
	10500	3

Итоговым результатом инструмента «Базовый расчет МГФ навалочного терминала» является нахождение для заданного грузооборота вариантов количества причалов (их может быть несколько), отвечающих критерию *эффективный* или *высокоэффективный* (по $k_{СПМ}$), для которых выполняется подбор количества СПМ и их производительности. При этом количество причалов и СПМ должно быть минимально возможным, так как в данном случае потребуются меньше затрат на строительство терминала. Полученные результаты являются наиболее важными для МГФ на стадии предпроектного концептуального проектирования. На последующих проектных стадиях необходимо выполнять более детальный перерасчет.

Обсуждение (Discussion)

В качестве примера в табл. 4 – 6 приведен расчет на основе инструмента «Базовый расчет МГФ навалочного терминала» для условного терминала с грузооборотом 20 млн т / г.

Таблица 4

Исходные данные для условного терминала с грузооборотом 20 млн т / г.

Наименование	Ед. изм.	Значение	Комментарий
Исходные данные			
1. Грузооборот	млн т / г.	20	

Таблица 4
(Окончание)

2. Бюджет рабочего времени	дн. / г.	310,3	При $T_{\text{нерабоч}} = 0$ дн./г.; $k_{\text{метео}} = 0,85$
3. Средняя судовая партия	т	57 860	65 % судов DWT 20 – 60 тыс. т, итого 263 судно / г.; 30 % судов DWT 70 – 90 тыс. т, итого 73 судна / г.; 5 % судов DWT 100 – 120 тыс. т, итого 9 судов / г.
4. Время непроизводственного простоя	ч / судно	6	

Таблица 5

Вариативно-расчетные величины для условного терминала с грузооборотом 20 млн т / г.

$n_{\text{прич.}}^{\text{шт.}}$	Wt/St		$k_{\text{зан}}$	$M, \text{ т / сут}$	$t, \text{ ч / судно}$	$t_{\text{погруз.}}, \text{ ч / судно}$	$Q_{\text{эк.общ.}}, \text{ т / ч}$	$Q_{\text{тех.общ.}}$		$P_{\text{мощн.}}, \text{ т / г.}$
								т / ч	т / сут	
1	мин.	0,25	0,40	161 160	8,6	2,6	22115	31 593	758 223	276 751 549
	цель	0,30	0,45	143 254	9,7	3,7	15666	22 380	537 112	196 045 786
	макс.	0,35	0,48	134 300	10,3	4,3	13333	19 047	457 128	166 851 615
2	мин.	0,25	0,61	52 839	26,3	20,3	2853	4 076	97 818	71 407 279
	цель	0,30	0,65	49 588	28,0	22,0	2630	3 757	90 157	65 814 697
	макс.	0,35	0,67	48 108	28,9	22,9	2530	3 615	86 760	63 334 533
3	мин.	0,25	0,71	30 265	45,9	39,9	1451	2 073	49 740	54 465 391
	цель	0,30	0,73	29 436	47,2	41,2	1405	2 007	48 179	52 755 741
	макс.	0,35	0,71	28 274	49,1	43,1	1342	1 917	46 012	50 383 461

Таблица 6

Результаты для условного терминала с грузооборотом 20 млн т / г.

$n_{\text{прич.}}^{\text{шт.}}$	Wt/St		$k_{\text{зан}}$	$k_{\text{СПМ}}$		Техническая производительность одной линии (т / ч) в зависимости от количества СПМ (шт.) на одном причале			
						1	2	3	4
1	мин.	0,25	0,40	13,84	Чрезвычайный запас	31 600	18 000	14 000	12 100
	цель	0,30	0,45	9,80	Чрезвычайный запас	22 300	12 800	9 900	8 600
	макс.	0,35	0,48	8,34	Чрезвычайный запас	19 000	10 900	8 500	7 300
2	мин.	0,25	0,61	3,57	Эффективный	4 100	2 300	1 800	1 600
	цель	0,30	0,65	3,29	Эффективный	3 800	2 100	1 700	1 400
	макс.	0,35	0,67	3,17	Эффективный	3 600	2 000	1 600	1 400
3	мин.	0,25	0,71	2,72	Высокоэффективный	2 100	1 200	900	800
	цель	0,30	0,73	2,64	Высокоэффективный	2 000	1 100	900	750
	макс.	0,35	0,71	2,52	Высокоэффективный	1 900	1 096	850	750

Полученные результаты (см. табл. 6) с использованием двух причалов при одной СПМ на каждом (итого 2 шт. × СПМ) и возможной технической производительностью для каждой СПМ 3600 или 3800 либо 4100 т/ч отвечают следующим поставленным критериям:

- терминал является эффективным (по $k_{\text{СПМ}}$);
- количество и схожая техническая производительность СПМ применяются в реальной эксплуатации на терминалах «Ростерминалуголь», «Восточный (ППК-3)», «Дальтрансуголь», «Tanjung Bara».

Заключение (Conclusion)

Необходимо констатировать, что были получены результаты по двум основным направлениям:

1) разработана методика технологического проектирования МГФ на основе симбиоза российских и зарубежных методологий, современных научных исследований, глубинного анализа производственных характеристик и эффективности навалочных терминалов;

2) разработан расчетный инструмент «Базовый расчет МГФ навалочного терминала», позволяющий на концептуальных предпроектных стадиях выполнять многовариантный расчет МГФ с нахождением количества причалов и СПМ, а также производительности СПМ.

При этом в качестве основного критерия расчета используется критерий эффективности, который представлен численными значениями в общем для терминала (по $k_{\text{СПМ}}$) и для СПМ в частности (по применимости производительности и количеству СПМ в реальной эксплуатационной практике). Предлагаемая методика разработана для получения более точных результатов технологического проектирования на ранних концептуальных стадиях, при этом инструмент «Базовый расчет МГФ навалочного терминала» может быть использован в деятельности проектно-консалтинговых компаний.

Для последующих исследований научный интерес представляет разработка указанных далее моделей судопогрузочных процессов и методологий расчетов для более детального перерасчета МГФ (стадий проектная документация / Front End Engineering Design, рабочая документация / Detail Design), которые будут служить логическим продолжением предложенного инструмента, а именно:

- определение необходимого количества переходов СПМ между трюмами судна-балкера, которые связаны с возникновением излишних напряжений корпуса при судопогрузочных операциях;
- моделирование судопогрузочного процесса при различном количестве для определения эксплуатационной производительности СПМ и времени, затрачиваемого на непроизводственные операции для определения значений коэффициента эффективности $k_{\text{эф}}$ перехода от эксплуатационной к технической производительности СПМ;
- моделирование судозаходов и судопогрузочных операций для непрерывной (см. тип (2) рис. 2) и гибридной (см. тип (3) рис. 2) компоновок причала для получения производительностей и занятости причала, наиболее приближенных к реальной эксплуатации терминала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The overseas coastal area development institute of Japan et al. Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in Japan. — Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, 2009. — 981 p.
2. Port Development. A handbook for planners in developing countries. — Second Edition, Revised and expanded. — New York: UNCTAD, 1985. — 227 p.
3. *Thorensen C. A.* Port Designer's Handbook / C. A. Thorensen. — Third Edition. — London: Thomas Telford Limited, 2014. — 587 p.
4. Handbook of terminal planning / ed J. W. Böse. — Springer Science & Business Media, 2011. — 433 p. DOI: 10.1007/978-1-4419-8408-1.
5. *Imai A.* Berth allocation in a container port: using a continuous location space approach / A. Imai, X. Sun, E. Nishimura, S. Papadimitriou // Transportation Research Part B: Methodological. — 2005. — Vol. 39. — Is. 3. — Pp. 199–221. DOI: 10.1016/j.trb.2004.04.004.
6. *Bierwirth C.* A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals / C. Bierwirth, F. Meisel // European Journal of Operational Research. — 2010. — Vol. 202. — Is. 3. — Pp. 615–627. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.05.031.

7. *Lai K. K.* A study of container berth allocation / K. K. Lai, K. Shih // Journal of advanced transportation. — 1992. — Vol. 26. — Is. 1. — Pp. 45–60. DOI: 10.1002/atr.5670260105.
8. *Hartmann S.* Simulation of container ship arrivals and quay occupation / S. Hartmann, J. Pohlmann, A. Schönknecht // Handbook of terminal planning. — 2011. — Pp. 135–154. DOI: 10.1007/978-1-4419-8408-1_8.
9. *Umang N.* Exact and heuristic methods to solve the berth allocation problem in bulk ports / N. Umang, M. Bierlaire, I. Vacca // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. — 2013. — Vol. 54. — Pp. 14–31. DOI: 10.1016/j.tre.2013.03.003.
10. *Barros V. H.* Model and heuristic for berth allocation in tidal bulk ports with stock level constraints / V. H. Barros, T. S. Costa, A. C. Oliveira, L. A. Lorena // Computers & Industrial Engineering. — 2011. — Vol. 60. — Is. 4. — Pp. 606–613. DOI: 10.1016/j.cie.2010.12.018.
11. *Legato P.* Addressing robust berth planning under uncertainty via simulation based optimization / P. Legato, R. M. Mazza // Proceedings of the 12nd International Conference on Modeling and Applied Simulation. — 2013. — Pp. 144–152.
12. *Oguz C.* Berth allocation as a moldable task scheduling problem / C. Oguz, J. Błażewicz, T. C. E. Cheng, M. Machowiak // Proceedings of 9th International Workshop on Project Management and Scheduling. — France, 2004. — Pp. 201–205. DOI: 10.1057/jors.2010.54.
13. *Robenek T.* A branch-and-price algorithm to solve the integrated berth allocation and yard assignment problem in bulk ports / T. Robenek, N. Umang, M. Bierlaire, S. Ropke // European Journal of Operational Research. — 2014. — Vol. 235. — Is. 2. — Pp. 399–411. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.08.015.
14. *Bugaric U. S.* Optimal utilization of the terminal for bulk cargo unloading / U. S. Bugaric, P. B. Petrovic, Z. V. Jeli, D. V. Petrovic // Simulation. — 2012. — Vol. 88. — Is. 12. — Pp. 1508–1521. DOI: 10.1177/0037549712459773.
15. *Daganzo C. F.* The crane scheduling problem / C. F. Daganzo // Transportation Research Part B: Methodological. — 1989. — Vol. 23. — Is. 3. — Pp. 159–175. DOI: 10.1016/0191-2615(89)90001-5.
16. *Peterkofsky R. I.* A branch and bound solution method for the crane scheduling problem / R. I. Peterkofsky, C. F. Daganzo // Transportation Research Part B: Methodological. — 1990. — Vol. 24. — Is. 3. — Pp. 159–172. DOI: 10.1016/0191-2615(90)90014-P.
17. *Han X.* A proactive approach for simultaneous berth and quay crane scheduling problem with stochastic arrival and handling time / X. Han, Z. Lu, L. Xi // European Journal of Operational Research. — 2010. — Vol. 207. — Is. 3. — Pp. 1327–1340. DOI: 10.1109/ICCIE.2009.5223886.
18. *Kleinheerenbrink A. J. A.* A Design Tool for Dry Bulk Terminals / A. J. A. Kleinheerenbrink. — Delft University of Technology, 2012. — 142 p.
19. *Van Vianen T. A.* Simulation-integrated Design of Dry Bulk Terminals / T. A. Van Vianen. — Delft University of Technology, 2015. — 247 p. DOI: 10.4233/uuid:d707f257-307a-4fd0-9ee6-160f507a42a8.
20. *Кутиков А. Н.* Ограничения при расчете морского фронта методами теории массового обслуживания / А. Н. Китиков, А. Л. Кузнецов, И. А. Русинов // Эксплуатация морского транспорта. — 2013. — № 1 (71). — С. 3–6.
21. *Купцов Н. В.* Бенчмаркинг и эффективность современных морских терминалов по экспортной перевалке угля / Н. В. Купцов // Транспорт Урала. — 2016. — № 4 (51). — С. 18–26. DOI: 10.20291/1815-9400-2016-4-18-26.
22. *Купцов Н. В.* Исследование актуальных размерений балкеров для технологического проектирования морских портов / Н. В. Купцов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 2. — С. 323–336. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-323-336.
23. *Schonfeld P.* Optimizing the use of a containership berth / P. Schonfeld, S. Frank. — 1984. — № 984. — Pp. 56–62.
24. *Dragović B.* Ship-berth link performance evaluation: simulation and analytical approaches / B. Dragović, N. K. Park, Z. Radmilović // Maritime Policy & Management. — 2006. — Vol. 33. — Is. 3. — Pp. 281–299. DOI: 10.1080/03088830600783277.
25. *Han M.* The algorithm for berth scheduling problem by the hybrid optimization strategy GASA / M. Han, P. Li, J. Sun // Control, Automation, Robotics and Vision, 2006. ICARCV'06. 9th International Conference on. — IEEE, 2006. — Pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICARCV.2006.345455.
26. *Zhou P.* A dynamic berth allocation model based on stochastic consideration / P. Zhou, H. Kang, L. Lin // Intelligent Control and Automation, 2006. WCICA 2006. The Sixth World Congress on. — IEEE, 2006. — Vol. 2. — Pp. 7297–7301. DOI: 10.1109/WCICA.2006.1714503.

27. Golias M. M. The berth allocation problem: Optimizing vessel arrival time / M. M. Golias, G. K. Saharidis, M. Boile, S. Theofanis, M. G. Ierapetritou // *Maritime Economics & Logistics*. — 2009. — Vol. 11. — Is. 4. — Pp. 358–377. DOI: 10.1057/mel.2009.12.
28. Golias M. M. Berth scheduling with variable cost functions / M. M. Golias, H. E. Haralambides // *Maritime Economics & Logistics*. — 2011. — Vol. 13. — Is. 2. — Pp. 174–189. DOI: 10.1057/mel.2011.4.
29. Golias M. The berth-scheduling problem: Maximizing berth productivity and minimizing fuel consumption and emissions production / M. Golias, M. Boile, S. Theofanis, C. Efstathiou // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. — 2010. — Vol. 2166. — Pp. 20–27. DOI: 10.3141/2166-03.
30. Golias M. M. Service time based customer differentiation berth scheduling / M. M. Golias, M. Boilé, S. Theofanis // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. — 2009. — Vol. 45. — Is. 6. — Pp. 878–892. DOI: 10.1007/s00170-009-2068-x.

REFERENCES

1. *The overseas coastal area development institute of Japan et al. Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in Japan*. Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, 2009.
2. *Port Development. A handbook for planners in developing countries*. Second Edition, Revised and expanded. New York: UNCTAD, 1985.
3. Thorensen, C. A. *Port Designer's Handbook*. Third Edition. London: Thomas Telford Limited, 2014.
4. Böse, Jürgen W., ed. *Handbook of terminal planning*. Springer Science & Business Media, 2011. DOI: 10.1007/978-1-4419-8408-1.
5. Imai, Akio, X. Sun, E. Nishimura, and S. Papadimitriou. “Berth allocation in a container port: using a continuous location space approach.” *Transportation Research Part B: Methodological* 39.3 (2005): 199–221. DOI: 10.1016/j.trb.2004.04.004.
6. Bierwirth, Christian, and Frank Meisel. “A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals.” *European Journal of Operational Research* 202.3 (2010): 615–627. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.05.031.
7. Lai, K. K., and Katharine Shih. “A study of container berth allocation.” *Journal of advanced transportation* 26.1 (1992): 45–60. DOI: 10.1002/atr.5670260105.
8. Hartmann, Sönke, Jennifer Pohlmann, and Axel Schönknecht. “Simulation of container ship arrivals and quay occupation.” *Handbook of terminal planning* (2011): 135–154. DOI: 10.1007/978-1-4419-8408-1_8.
9. Umang, Nitish, Michel Bierlaire, and Ilaria Vacca. “Exact and heuristic methods to solve the berth allocation problem in bulk ports.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 54 (2013): 14–31. DOI: 10.1016/j.tre.2013.03.003.
10. Barros, Victor Hugo, T. S. Costa, A. C. Oliveira, and L. A. Lorena. “Model and heuristic for berth allocation in tidal bulk ports with stock level constraints.” *Computers & Industrial Engineering* 60.4 (2011): 606–613. DOI: 10.1016/j.cie.2010.12.018.
11. Legato, Pasquale, and Rina M. Mazza. “Addressing robust berth planning under uncertainty via simulation based optimization.” *Proceedings of the 12nd International Conference on Modeling and Applied Simulation*. 2013: 144–152.
12. Oguz C., J. Blazewicz, T.C.E. Cheng, and M. Machowiak. “Berth allocation as a moldable task scheduling problem.” *Proceedings of 9th International Workshop on Project Management and Scheduling* (2004): 201–205. DOI: 10.1057/jors.2010.54.
13. Robenek, Tomáš, N. Umang, M. Bierlaire, and S. Ropke. “A branch-and-price algorithm to solve the integrated berth allocation and yard assignment problem in bulk ports.” *European Journal of Operational Research* 235.2 (2014): 399–411. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.08.015.
14. Bugaric, U. S., P. B. Petrovic, Z. V. Jeli, and D. V. Petrovic. “Optimal utilization of the terminal for bulk cargo unloading.” *Simulation* 88.12 (2012): 1508–1521. DOI: 10.1177/0037549712459773.
15. Daganzo, Carlos F. “The crane scheduling problem.” *Transportation Research Part B: Methodological* 23.3 (1989): 159–175. DOI: 10.1016/0191-2615(89)90001-5.
16. Peterkofsky, Roy I., and Carlos F. Daganzo. “A branch and bound solution method for the crane scheduling problem.” *Transportation Research Part B: Methodological* 24.3 (1990): 159–172. DOI: 10.1016/0191-2615(90)90014-P.
17. Han, X., Z. Lu, and L. Xi. “A proactive approach for simultaneous berth and quay crane scheduling problem with stochastic arrival and handling time.” *European Journal of Operational Research* 207.3 (2010): 1327–1340. DOI: 10.1109/ICCIE.2009.5223886

18. Kleinheerenbrink, A. J. A. *A Design Tool for Dry Bulk Terminals*. Delft University of Technology, 2012.
19. Van Vianen, T.A. *Simulation-integrated Design of Dry Bulk Terminals*. Delft University of Technology, 2015. DOI:10.4233/uuid:d707f257-307a-4fd0-9ee6-160f507a42a8.
20. Kitikov, A. N., A. L. Kuznetsov, and I. A. Rusinov. "Limitation of the queuing theory techniques for the assessment of sea port front." *Ekspluatatsia morskogo transporta* 1(71) (2013): 3–6.
21. Kuptsov, Nikolay V. "Benchmarking and performance of sea terminals for export coal transshipment." *Transport Urala* 4 (51) (2016): 18–26. DOI: 10.20291/1815-9400-2016-4-18-26.
22. Kuptsov, Nikolay V. "Research of bulk carriers actual dimensions for the port planning (technological solutions of marine terminals)." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.2 (2017): 323–336. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-323-336.
23. Schonfeld, Paul, and Stephen Frank. *Optimizing the use of a containership berth*. 1984. No. 984. 56–62.
24. Dragović, Branislav, Nam Kyu Park, and Zoran Radmilović. "Ship-berth link performance evaluation: simulation and analytical approaches." *Maritime Policy & Management* 33.3 (2006): 281–299. DOI: 10.1080/03088830600783277.
25. Han, Mei, Ping Li, and Junqing Sun. "The algorithm for berth scheduling problem by the hybrid optimization strategy GASA." *Control, Automation, Robotics and Vision, 2006. ICARCV'06. 9th International Conference on*. IEEE, 2006. DOI: 10.1109/ICARCV.2006.345455.
26. Zhou, Pengfei, Haigui Kang, and Li Lin. "A dynamic berth allocation model based on stochastic consideration." *Intelligent Control and Automation, 2006. WCICA 2006. The Sixth World Congress on*. Vol. 2. IEEE (2006): 7297–7301. DOI: 10.1109/WCICA.2006.1714503.
27. Golias, Mihalios M., G. K. Saharidis, M. Boile, S. Theofanis, and M. G. Ierapetritou. "The berth allocation problem: Optimizing vessel arrival time." *Maritime Economics & Logistics* 11.4 (2009): 358–377. DOI: 10.1057/mel.2009.12.
28. Golias, Mihalios M., and Hercules E. Haralambides. "Berth scheduling with variable cost functions." *Maritime Economics & Logistics* 13.2 (2011): 174–189. DOI: 10.1057/mel.2011.4.
29. Golias, Mihalios, M. Boile, S. Theofanis, and C. Efstathiou. "The berth-scheduling problem: Maximizing berth productivity and minimizing fuel consumption and emissions production." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2166 (2010): 20–27. DOI: 10.3141/2166-03.
30. Golias, M. M., M. Boilé, and S. Theofanis. "Service time based customer differentiation berth scheduling." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 45.6 (2009): 878–892. DOI: 10.1007/s00170-009-2068-x.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Купцов Николай Владимирович —
главный специалист по поддержке проектной
деятельности
ПАО «Газпром Нефть»
190000, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Почтамтская, 3-5
e-mail: kuptsov.nv@gazprom-neft.ru,
kuptsov.nikolay@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kuptsov, Nikolay V. —
Lead specialist for the projects support
PJSC "Gazprom Neft"
3-5 Pochtamtskaya Str., St Petersburg, 190000,
Russian Federation
e-mail: kuptsov.nv@gazprom-neft.ru,
kuptsov.nikolay@gmail.com

Статья поступила в редакцию 10 сентября 2017 г.
Received: September 10, 2017.