

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-323-336

**RESEARCH OF BULK CARRIERS ACTUAL DIMENSIONS  
FOR THE PORT PLANNING  
(TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF MARINE TERMINALS)**

**N. V. Kuptsov**

PJSC “Gazprom Neft”, St Petersburg, Russian Federation

*The water area and handling facilities of coal terminals depend on dimensions of bulk carriers, which are performing ship calls to marine ports. Dimensions and maximum deadweight of bulk carriers tend to increase as a result of «economies scale» effect and dynamically inequable shipbuilding market. Maximum parcel sizes of vessel has been increasing every decade. That makes impact on the configuration of the terminals, the volume of construction materials and dredging, marine terminals scheduling. For an accurate design or exploitation of marine terminals there is a need for updating (every 2–3 years) of vessel dimensions by using methods classification, benchmarking and approximation.*

*The article specifies the classification of bulk carriers by vessels deadweight and regional categories and presents a detailed structure of the global dry bulk fleet (quantity and distribution for existing and planned for construction vessels, which are registered by IMO International Maritime Organization), which allows more deeply consider the current status and trends in the shipbuilding industry. For coal bulk carriers the dimensions were updated (length, breadth, draught, number of cargo holds) by every 10 000 tons of deadweight at level of 95% provision, for the first time in the practice of Russian researches obtained approximating dependencies between dimensions and deadweight.*

*It is concluded that further approximating dependencies can be included into a mathematical apparatus of integrated simulation models for marine coal terminals, which are specified with the stochastic distribution of ship calls. Actual dimensions of vessels can improve the accuracy of the design, it can be applied at all stages of the design (conceptual design, project documentation, working documentation), as well as for planning of cargo handling operations and ship calls for current operating activity.*

*Keywords: marine vessels, dimensions of bulk carriers, deadweight of bulk carriers, bulk carriers approximating dependencies between dimensions and deadweight, marine transportation of coal, marine ports and terminals, port planning (technological solutions of ports).*

**For citation:**

Kuptsov, Nikolay V. “Research of bulk carriers actual dimensions for the port planning purposes (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.

**УДК 05.22.00**

**ИССЛЕДОВАНИЕ АКТУАЛЬНЫХ РАЗМЕРЕНИЙ БАЛКЕРОВ  
ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОРСКИХ ПОРТОВ**

**Н. В. Купцов**

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

*Акватория и морской грузовой фронт угольных терминалов зависят от размерений и осадки судов - балкеров (навалочников), выполняющих судозаходы в порт. Габариты и максимальный дедвейт балкеров имеют тенденцию к росту вследствие эффекта масштаба грузоперевозок и динамичности рынка судостроения. Максимальные судовые партии возрастают каждое десятилетие, что влияет на конфигурацию причалов, объем строительных и дноуглубительных работ, диспетчеризацию морских терминалов. Для точного проектирования, а также грамотной эксплуатации морских терминалов существует необходимость в актуализации (каждые 2–3 года) характеристик судов за счет классифицирования, бенчмаркинга и аппроксимации.*

*В статье уточнены классификации судов-балкеров по дедвейту и региональным категориям и представлен детализированный состав мирового балкерного флота (распределение количества действующих и запланированных к строительству судов, состоящих на учете в Международной морской*

организации ИМО), что позволяет более глубоко рассматривать текущее состояние и тенденции судостроительной отрасли. Для балкеров морских перевозок угля актуализированы размерения (длина, ширина, осадка, количество трюмов) с разбивкой по дедвейту каждые 10 000 т при обеспеченности 95 %, впервые в практике российских исследований получены аппроксимирующие зависимости размерений от дедвейта.

Сделан вывод о том, что в дальнейшем аппроксимирующие зависимости могут быть интегрированы в математический аппарат интегрированных симуляционных моделей морских угольных терминалов, для которых характерным является стохастический характер судозаходов. Актуальные размерения судов позволяют повысить детализацию проектирования, могут быть применены на всех стадиях технологического проектирования (предпроектные проработки, проектная документация, рабочая документация), а также для планирования погрузочно-разгрузочных операций судозаходов в рамках текущей эксплуатационной деятельности.

**Ключевые слова:** морские суда, размерения судов-балкеров (навалочников), дедвейт судов-балкеров, аппроксимирующие зависимости размерений судов-балкеров от дедвейта, морские перевозки угля, морские порты и терминалы, технологическое проектирование портов.

**Для цитирования:**

Купцов Н. В. Исследование актуальных размеров 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.

**Введение**

Перевозку навалочных грузов морем выполняются суда-балкеры, также называемые навалочниками. Данный тип судов получил стремительное развитие после Второй мировой войны для обеспечения возрастающих потребностей стран в энергоресурсах. Имеющая место в XX – XXI вв. тенденция к укрупнению судовых партий [1] позволяет снижать транспортные расходы на единицу груза. Возрастающие потребности индустриальных стран в угле предопределили наращивание количества балкерных судов мирового флота с одновременным укрупнением судовых партий (*эффект масштаба*), что отмечено в публикациях Н. Ligteringen [2] и S. Chen [3]. Максимальный дедвейт судна-балкера увеличивается каждое десятилетие. Динамика изменения судовых партий приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Возрастание судовых партий балкеров (анализ базы данных IHS Fairplay)**

Рассматриваемый период	1950-е гг.	1960-е гг.	1970-е гг.	1980-е гг.	1990-е гг.	2000-е гг.	2010–2015 гг.
Стандартный дедвейт для усредненного судна, т	25 000	30 000	40 000	65 000	75 000	175 000	180 000
Экстремальный дедвейт для максимального судна, т	32 500	32 500	95 800	150 000	170 000	200 000	210 000
				200 000	230 000	230 000	260 000
				250 000	300 000	300 000	315 000
				365 000	320 000	327 000	400 000

От характеристик судов напрямую зависят технологические характеристики акватории и перегрузочных комплексов (терминалов). В связи с тем, что отрасль судостроения динамично развивается вслед за техническим прогрессом и мировыми грузопотоками, для грамотного проектирования морских терминалов существует необходимость в актуальных характеристиках судов. Примером может служить популяризация в 1990 – 2000 гг. пирсовых гидротехнических сооружений с протяженной подходной эстакадой вместо фронтальных причальных стенок, позволяющих обеспечивать швартовку судов с большой осадкой (с увеличением судовых партий увеличивалась и осадка судов) на естественных глубинах без дополнительного дноуглубления, что характерно для этапа специализации перегрузочных комплексов [4], [5]. Наиболее протяженная подходная эстакада длиной 3660 м расположена на терминале Dalrymple Bay в Австралии (рис. 1).

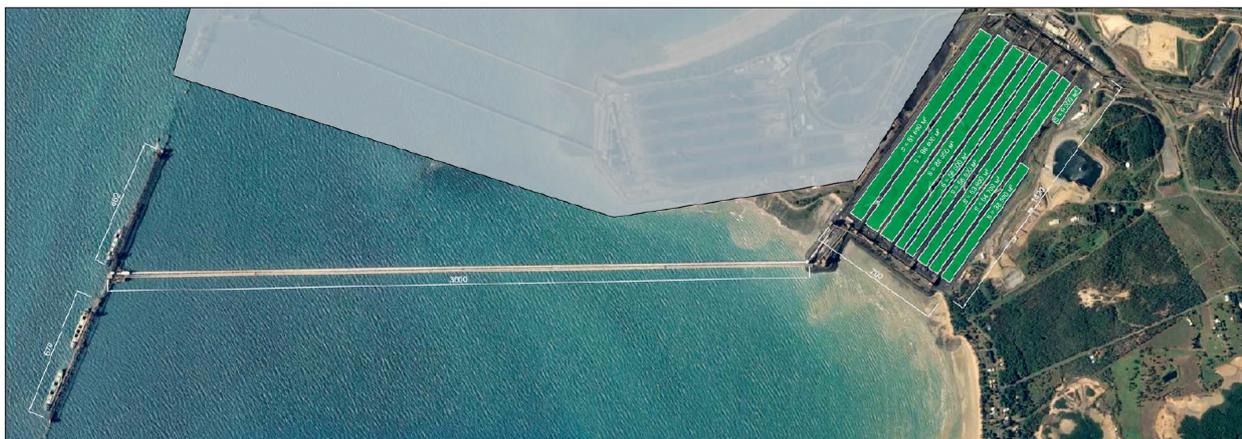


Рис. 1. Угольный экспортный терминал Dalrymple Bay (Австралия) с длиной подходной эстакады 3 660 м (Google Maps и графика автора)

Морские порты являются производственными объектами с крупными капиталовложениями. Поэтому наличие детализированной и структурированной информации по характеристикам судов, являющейся исходными данными для проектирования, позволяет увеличить точность проектирования, а, следовательно, возможность принятия более грамотных и экономически целесообразных технических решений. Характеристики габаритов и осадки судов [6], выполняющих судозаходы в порт, являются важными исходными данными для технологического проектирования морского грузового фронта экспортного угольного терминала и акватории порта:

- от передаваемых нагрузок и осадки судна зависит конфигурация причальной линии: фронтальная или пирсовая (п. 2.2.3.3, РД 31.3.01.01-93 «Руководство по технологическому проектированию морских портов»);

- от длины судна  $L_{\text{суд}}$  зависит длина причальной линии гидротехнического сооружения и параметры акватории (п. 13.3, РД 31.3.05-97 «Нормы технологического проектирования морских портов»);

- от осадки судна  $D$  зависят габариты и отметки дноуглубления причала, подходного канала и операционной акватории (разд. 5, РД 31.3.05-97 «Нормы технологического проектирования морских портов»);

- от ширины борта  $B$  зависит длина вылета стрелы судопогрузочной машины;

- от количества трюмов  $N_{\text{тр}}$  зависит количество переходов судопогрузочной машины вдоль причала, а следовательно, также производительность и эффективность судопогрузочных операций (конвейерного оборудования) [7].

Помимо актуализации характеристик (за счет бенчмаркинга и классифицирования), с теоретической точки зрения перспективным научным направлением является выявление зависимостей длины, ширины, осадки от дедвейта судна (благодаря аппроксимации):

- актуализация характеристик позволяет повысить детализацию и точность технологического проектирования морских портов;

- выявление аппроксимирующих зависимостей предоставит возможность построения математических зависимостей при стохастическом характере судозаходов в рамках составления симуляционных моделей терминалов.

### Классификация судов-балкеров

Уголь традиционно считается наименее дорогим энергоносителем по сравнению с газом, нефтью и атомной энергией. При этом традиционно исследованию балкерных судов уделяется меньшее внимание по сравнению с контейнерными и нефтеналивными судами.

Рынок энергоносителей в XX в. всегда имел тенденцию к росту, переживая краткосрочные кризисы, связанные с пересмотром спроса, предложения и стоимости энергоносителей. Прогнозы свидетельствуют об устойчивом наращивании объемов грузооборота угля даже при весомом снижении стоимости в период кризиса 2014 г. До 2040 г. ожидается сдержанный рост грузооборота угля (0,6 – 1,4 % в год), что позволит наращивать развитие морских перевозок и судостроения [8].

Транспортировку энергоносителей на большие расстояния выполняют морские суда. Во второй половине XX в. началось формирование классов балкерных судов, характеристики и названия которых определены габаритами каналов и мировых морских транспортных артерий. При этом не существует единого подхода к ранжированию судов по дедвейту (водоизмещение судна, включающее полную грузоподъемность судна: груз, балластная вода, питьевая вода, масло, топливо, продовольствие, экипаж), в справочниках и авторских публикациях указаны различные значения. В табл. 2 приведена обобщенная классификация судов-балкеров, уточненная на основе сопоставления различных источников:

- морских справочников Н. Ligteringen [2], С. А. Thorensen [9];
- отраслевого обзора Lloyd's Register [10];
- классификаций судоходных компаний Ariston ([www.aristonshipping.gr](http://www.aristonshipping.gr)), Mitsui O.S.K. Lines ([www.mol.co.jp](http://www.mol.co.jp));
- специализированных порталов Maritime Connector ([www.maritime-connector.com](http://www.maritime-connector.com)), Bulk Carriers Guide ([www.bulkcarrierguide.com](http://www.bulkcarrierguide.com)), Marine Wiki ([www.marinewiki.org](http://www.marinewiki.org)), Maritime Zone ([www.maritime-zone.com](http://www.maritime-zone.com)).

При обобщении классификации в различных источниках отмечены отклонения в 5 000 – 20 000 т при отнесении к определенному классу судов (в особенности для Handysize, Handymax, Panamax).

Таблица 2

**Обобщенная классификация судов-балкеров**

№ пп.	Класс	Дедвейт, т	Комментарии по названию и параметрам
1	Small Handysize	до 24 999	Используются для коротких плаваний в прибрежной торговле в качестве фидерных судов для рейдовой перевалки. Большинство судов оснащено судовыми кранами
2	Large Handysize	25 000 – 39 999	Распространенные суда средней вместимости
3	Handymax	40 000 – 49 999	Широко применяются в портах с ограничениями по осадке и длине судна. Подвид Supramax (дедвейт 50 – 65 тыс. т) имеет пять трюмов и судовые краны [11]
4	Large Handymax	50 000 – 59 999	
5	Panamax	60 000 – 79 999	Ограничения определяется размерами шлюзов Панамского канала. Размерения судов не должны превышать следующие значения: длина 294,1 м; ширина 32,3 м; осадка 12,0
6	Post Panamax	80 000 – 99 999	В сравнении с Panamax имеют меньшую осадку и большую ширину. Разрабатывались для портов с ограниченной осадкой. Изначально не имели возможности проходить через Панамский канал, но такая возможность появилась с расширением канала в 2016 г. ( <a href="http://www.micanaldepnpanama.com">www.micanaldepnpanama.com</a> )
7	Mini Capesize	100 000 – 129 999	Суда Capesize обладают габаритами, не позволяющими выполнять проводку судов через Панамский или Суэцкий канал. В названии обозначена необходимость огибать южные мысы (cape) континентов: Горн (Южная Америка) или Доброй Надежды (Африка)
8	Capesize	130 000 – 180 000	
9	Very Large Bulk Carrier (VLBC)	180 000 – 210 000	Для транспортировки крупных партий навалочных грузов между наиболее глубоководными портами мира
10	Very Large Ore Carrier (VLOC)	210 000 – 404 000	Для транспортировки руды, обладающей большой насыпной плотностью

В статье К. П. Манжула [12] отмечено, что часть морских портов Российской Федерации в настоящий момент способна принимать суда категорий Post-Panamax (Усть-Луга, Бронка, Восточный, Мурманск) и Capesize (Усть-Луга).

В некоторых источниках: Lloyd's Register [10], Maritime Connector, Bulk Carriers Guide, Maritime Zone, отмечается существование региональных наименований категорий балкерных судов, которые имеют особенности (длина, ширина, осадка), предусматривающие конкретные грузопотоки в связи с ограничениями по швартовным операциям в порту или с судоходной глубиной моря, канала. Например, учитывая ограничения реки Рейн, Hekkenberg в своем исследовании выполнил оптимизацию длины балкерных судов [13]. Региональные категории судов-балкеров приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Региональные категории судов-балкеров**

№ пп.	Региональная категория	Типичный дедвейт, т	Класс	Ограничение	Объект, с которым связано ограничение
1	Seawaymax	28 500	Handysize	Длина до 225,6 м; ширина до 23,8 м; осадка до 8,1 м	Канал морского пути Святого Лаврентия (США)
2	Kamsarmax	82 000	Panamax	Длина до 229 м	Порт Камсар (Гвинея)
3	Dunkirkmax	175 000	Capesize	Ширина до 45 м, длина до 289 м	Порт Дюнкерк (Франция)
4	Newcastlemax	185 000	VLBC	Ширина до 50 м, длина до 300 м	Порт Ньюкасл (Австралия)
5	Setouchimax	205 000	VLBC	Осадка до 16,1 м	Глубина внутреннего Японского моря
6	Malaccamax	300 000	VLOC	Осадка до 20,5 м	Малаккский пролив (Индонезия)

В мировой практике суда-балкеры большой грузоподъемности используются для транспортировки как угля, так и руды. При этом суда с дедвейтом более 210 000 т выделяют в отдельную категорию Very Large Ore Carrier (VLOC), так как их конструкция предназначена для специализированной транспортировки руды. В связи с большой насыпной плотностью руды 1,6 – 4,5 т/м<sup>3</sup> (СП 37.13330.2012 «Промышленный транспорт») трюмы судов VLOC выполняют узкими для центрирования груза вдоль оси симметрии и вовлечения межкорпусного пространства в качестве дополнительных балластных отсеков (отмечено в исследованиях P. Cudina [14] и классификационного бюро Det Norske Veritas [15]) в целях обеспечения остойчивости судна при судопогрузочных операциях, плавании в регулярных и штормовых условиях. Конструктивные различия между судами VLOC и VLBC представлены на рис. 2.

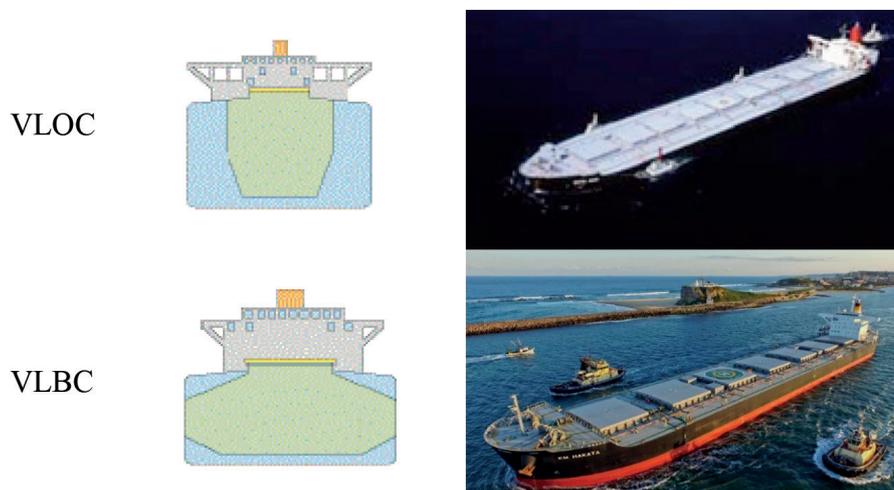


Рис. 2. Конструкция судов для транспортировки: угля VLBC и руды VLOC

### Анализ состояния мирового балкерного флота

Численность судов мирового балкерного флота значительна, с каждым годом возрастает количество балкерных судов в связи с ростом мирового грузопотока. В результате анализа базы данных морского регистра IHS Fairplay автором работы было установлено, что по состоянию на январь 2016 г. мировой балкерный флот представлен 11 569 судами, состоящими на учете в Международной морской организации (ИМО), из них:

87,4 % = 10 117 шт. являются действующими (в работе, в ремонте, заложен киль, временно не выполняют операции)

12,6 % = 1 452 шт. запланированы к вводу до 2020 г. (анонсированные, в списке заказов, на реконструкции).

Детализация распределения количества действующих и запланированных судов в зависимости от класса приведена в табл. 4.

Таблица 4

**Распределение существующих и планируемых к вводу судов-балкеров по классам (январь 2016 г., IHS Fairplay)**

№ пп.	Класс	Диапазон дедвейта, тыс. т	Количество, шт.				Процент от общего количества			
			Существующее		Планируемое		Существующее		Планируемое	
1	Small Handysize	0 – 10	240	766	6	22	2,1	6,6	0,1	0,2
		10 – 20	268		6		2,3		0,1	
		20 – 25	258		10		2,2		0,1	
2	Large Handysize	25 – 30	723	2167	8	315	6,2	18,7	0,1	2,7
		30 – 40	1444		307		12,5		2,7	
3	Handymax	40 – 50	704	704	25	25	6,1	6,1	0,2	0,2
4	Large Handymax	50 – 60	1938	1938	77	77	16,8	16,8	0,7	0,7
5	Panamax	60 – 70	556	1767	452	476	4,8	15,3	3,9	4,1
		70 – 80	1211		24		10,5		0,2	
6	Post Panamax	80 – 90	825	1129	285	296	7,1	9,8	2,5	2,6
		90 – 100	304		11		2,6		0,1	
7	Mini Capesize	100 – 110	49	143	3	7	0,4	1,2	0,0	0,1
		110 – 120	85		2		0,7		0,0	
		120 – 130	9		2		0,1		0,0	
8	Capesize	130 – 140	1	742	0	17	0,0	6,4	0,0	0,1
		140 – 150	24		0		0,2		0,0	
		150 – 160	37		8		0,3		0,1	
		160 – 170	57		0		0,5		0,0	
		170 – 180	623		9		5,4		0,1	
9	VLBC	180 – 190	347	545	88	173	3,0	4,7	0,8	1,5
		190 – 200	7		0		0,1		0,0	
		200 – 210	191		85		1,7		0,7	
10	VLOC	210 – 250	42	216	16	44	0,4	1,9	0,1	0,4
		250 – 300	120		23		1,0		0,2	
		300 – 350	19		4		0,2		0,0	
		350 – 404	35		1		0,3		0,0	
<i>Итого</i>			<b>10 117</b>	<b>1 452</b>			<b>87,4</b>	<b>12,6</b>		
			<b>11 569</b>			<b>100</b>				

Установлено, что большинство существующих судов относится к классу Post-Panamax и менее грузоподъемных (8471 шт. — 83,7 % от существующих судов), остальная часть относится к судам Mini Capesize и более вместительным (1646 шт. — 16,3 %). Наиболее востребованными судами средней вместимости, которые способны выполнять экономически эффективную транспортировку угля на длинные и короткие расстояния, являются Large Handysize (2167 шт. — 21,4 %), Large Handymax (1936 шт. — 19,1 %) и Panamax (1767 шт. — 17,4 %). Распределение количества существующих судов в зависимости от дедвейта приведено на рис. 3.

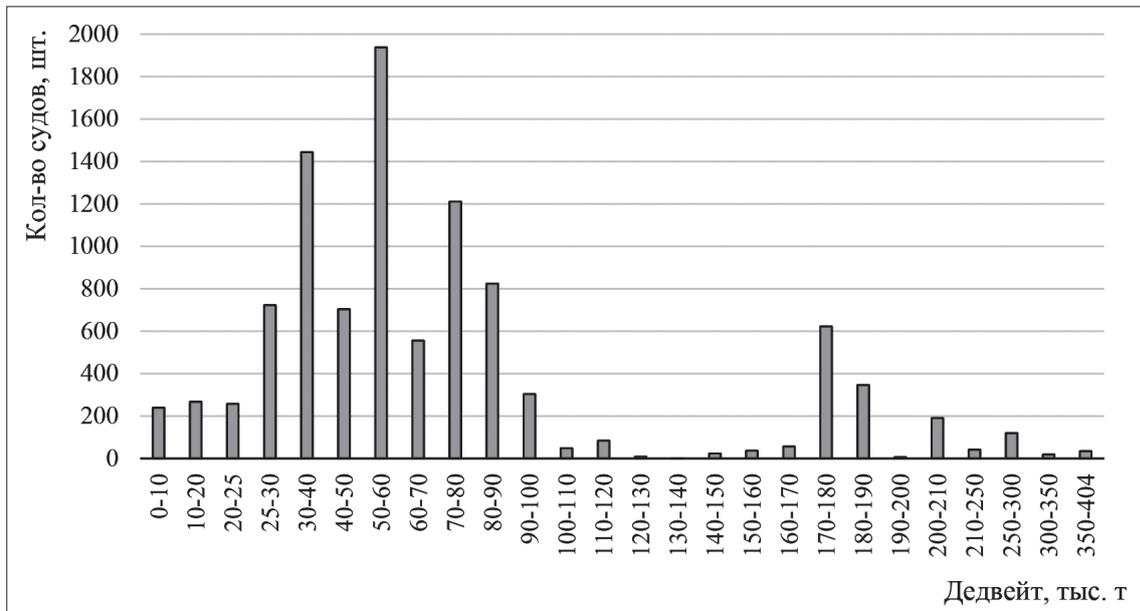


Рис. 3. Количество существующих судов-балкеров в зависимости от дедвейта (январь 2016 г., IHS Fairplay)

Также получен вывод о том, что помимо среднетоннажных судов большим спросом на запланированные к вводу суда обладают классы повышенной вместимости: Panamax (476 шт. — 32,8 % от планируемых судов), Post-Panamax (296 шт. — 20,4 %) и VLBC (14,9 % — 217 шт.). Данный факт указывает о тенденции к укрупнению судовых партий мировой торговли. Распределение количества запланированных к вводу судов в зависимости от дедвейта приведено на рис. 4.

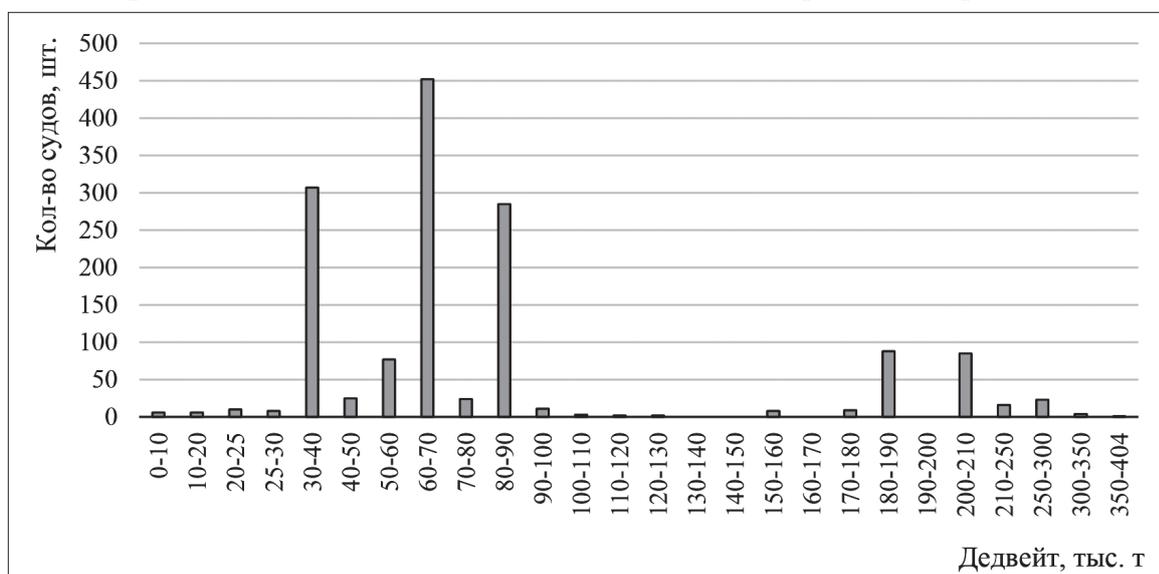


Рис. 4. Количество запланированных к вводу судов-балкеров в зависимости от дедвейта (январь 2016 г., IHS Fairplay)

### Основные результаты для балкеров транспортировки угля:

#### актуализация характеристик и выявление аппроксимирующих зависимостей

**Характеристики судов-балкеров.** В международной практике характеристики балкерных судов рассмотрены и приведены в различных источниках: в справочнике С. А. Thorensen [9], рекомендациях по проектированию портов и гаваней Японии [16], исследовании компании - производителя силовых установок балкеров MAN [17], руководящем документе РД 31.03.01-90 «Технико-экономические характеристики судов морского флота» [18], журналах о судостроении Significant Ships [19], исследовании N. Kuptsov характеристик судов для дальневосточных портов РФ [20]. Наиболее современным и подробным источником является справочник С. А. Thorensen [9], третье издание которого было выпущено в 2014 г., где характеристики судов рассмотрены в четырех «сценариях» различной обеспеченности: 50 %, 70 %, 90 % и 95 %.

Автором была выполнена также дополнительная детализация характеристик балкеров для транспортировки угля. В анализ вошли 10 873 существующих и планируемых к строительству угольных балкеров дедвейтом 15 000 ... 210 000 т (из общего количества судов были исключены суда VLCC для транспортировки руды, а также суда-лейкеры для озер США и Канады). Суды были разделены на группы, по 10 000 т каждая. Для каждой тоннажной группы угольных балкеров судов при 95 % - й обеспеченности в качестве наиболее жесткого «сценария» по аналогии с [9] были актуализированы характеристики длины, ширины, осадки и количества трюмов. Результаты приведены в табл. 5.

Таблица 5

**Размерения судов-балкеров для транспортировки угля  
(обработка базы данных судов IHS Fairplay по состоянию на январь 2016 г.)**

№ пп.	Дедвейт судна, т	Обеспеченность 95 % (перцентиль)			
		Длина $L_{\text{суд}}$ , м	Ширина $B$ , м	Осадка $D$ , м	Кол-во трюмов $N_{\text{тр}}$ , шт.
1	20 000	158,6	25,0	9,3	5
2	30 000	180,5	27,2	10,4	5
3	40 000	190,4	32,0	10,9	5
4	50 000	200,0	32,3	11,8	5
5	60 000	200,0	32,3	13,0	5
6	70 000	225,0	36,0	13,3	7
7	80 000	229,0	32,3	14,6	7
8	90 000	229,9	38,0	14,6	7
9	100 000	240,0	43,0	14,9	7
10	110 000	255,2	43,0	15,7	7
11	120 000	260,4	43,0	15,4	7
12	130 000	266,0	44,0	16,2	9
13	140 000	267,8	43,0	16,0	9
14	150 000	270,4	43,0	17,4	9
15	160 000	288,7	46,8	17,7	9
16	170 000	290,5	46,0	18,2	9
17	180 000	292,2	45,0	18,3	9
18	190 000	295,0	47,0	18,3	9
19	200 000	300,0	50,0	18,1	9
20	210 000	300,0	50,0	18,5	9

По сравнению со справочником С. А. Thorensen [9] полученные результаты по отдельным позициям различаются по длине –15 ... –5 %, по ширине –5 ... +10 %, по осадке –15 ... –5 %. Отличительной

особенностью данной статьи является более подробная разбивка по дедвейту (каждые 10 000 т), впер-  
 вые приведено количество трюмов. Результаты представляют интерес с теоретической точки зрения  
 и могут быть использованы для более точного технологического проектирования морских портов.

Существует ряд исследований, в которых авторы, обладая статистической базой характери-  
 стик судов, выполняют оптимизацию размерений судов в зависимости от выполняемых операций  
 (S. Chen [21], C. Sys [22]) или от экономической составляющей фрахта (W. K. Talley [23], J. O. Jansson  
 [24], Australian Government [25]), определяют параметры маневренности (А. Тома [26]).

**Аппроксимирующие зависимости.** В международной практике используются аппроксими-  
 рующие зависимости характеристик судов от дедвейта. Впервые подобные зависимости для су-  
 дов-балкеров были приведены в 1983 г. в справочнике UNCTAD по проектированию портов в раз-  
 вивающихся странах [27] — в частности, были продемонстрированы графические кривые без  
 численных зависимостей. Данного рода зависимости находятся в зоне внимания профессионалов  
 и научного сообщества. В настоящий момент наиболее актуальные исследования этой тематики  
 выполнены и приведены в справочнике Н. Ligteringen [2], работах Н. О. Kristensen [28], [29], ис-  
 следованиях Т. Van Vianen [30] и компании-производителя силовых установок балкеров MAN [17].  
 Цели установления подобных зависимостей различны: в рамках [2] автор использует их для корре-  
 ляции с ограничениями по судоходству для каналов и портов, в рамках [30] — для использования  
 в рамках симуляционных моделей портов, в рамках [17], [28], [29] — для корреляции с мощно-  
 стью силовой установки и скоростью судна.

Автором установлены аппроксимирующие зависимости характеристик (длина, ширина,  
 осадка) для балкеров, транспортирующих уголь. В анализ вошли 10 873 существующих и плани-  
 руемых к строительству угольных балкеров дедвейтом 15 000 – 210 000 т. Методика и результаты  
 представляют интерес для последующих теоретических исследований. Для аппроксимирующих  
 функций (зависимости длины, ширины, осадки от дедвейта) применены степенные функции, для  
 которых коэффициент достоверности аппроксимации по среднеквадратичному отклонению  $R^2$   
 наиболее приближен к единице в сравнении с логарифмической или экспоненциальной функциями.

Длина угольных балкеров значительна, для самых крупных судов она достигает до 300 м.  
 Для зависимости длины от дедвейта применена степенная функция  $y = 8,109x^{0,2942}$  (где  $y$  — длина  
 судна,  $x$  — дедвейт судна), достоверность аппроксимации при этом составляет  $R^2 = 0,9482$ . Зависи-  
 мость длины судна от его дедвейта приведена на рис. 5.

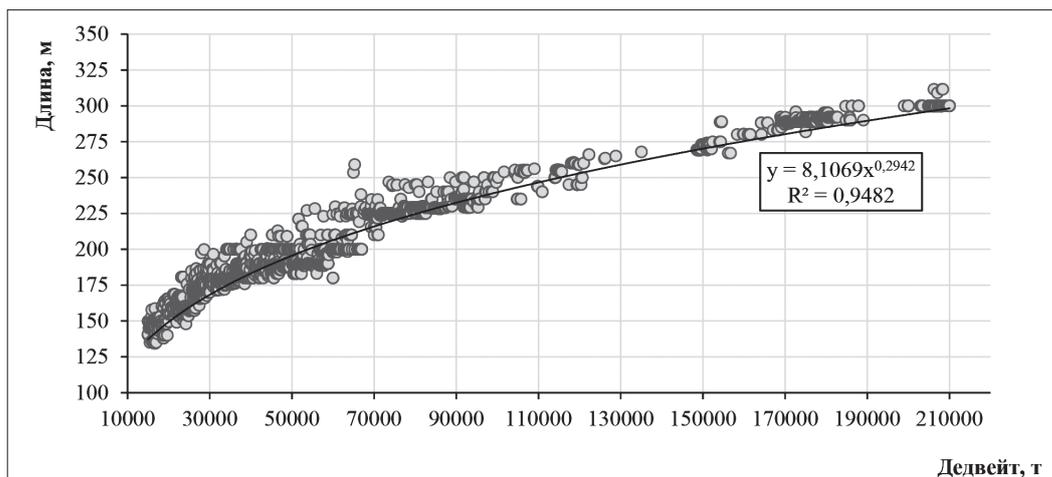


Рис. 5. Зависимость длины от дедвейта судна

Ширина угольных балкеров для самых крупных судов достигает до 50 м. Для зависимости  
 ширины от дедвейта применена степенная функция  $y = 1,4853x^{0,2805}$  (где  $y$  — ширина судна,  $x$  —  
 дедвейт судна), достоверность аппроксимации при этом составляет  $R^2 = 0,8926$ . Зависимость ши-  
 рины судна от его дедвейта приведена на рис. 6.

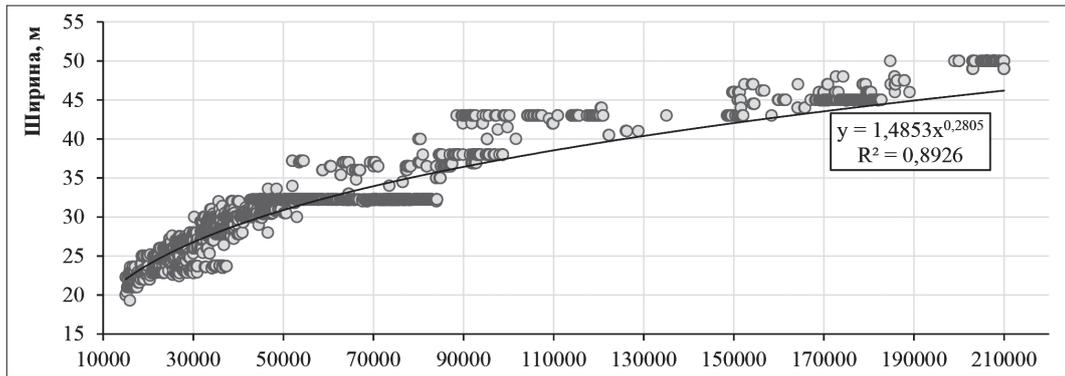


Рис. 6. Зависимость ширины от дедвейта судна

Осадка угольных балкеров для самых крупных судов достигает до 18,5 м. Для выявления зависимости осадки от дедвейта применена степенная функция  $y = 0,3297x^{0,3318}$  (где  $y$  — осадка судна,  $x$  — дедвейт судна), достоверность аппроксимации при этом составляет  $R^2 = 0,9646$ . Зависимость осадки судна от его дедвейта приведена на рис. 7.

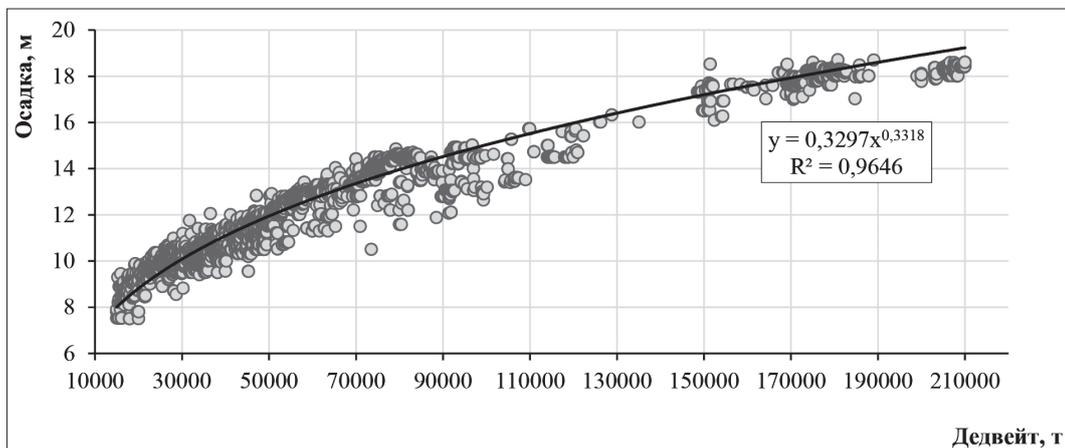


Рис. 7. Зависимость осадки от дедвейта судна

Количество трюмов угольных балкеров обычно нечетное: 5, 7 или 9 шт. Незначительное количество судов обладает четным количеством: четыре или шесть трюмов. Установлены следующие зависимости количества трюмов судна от дедвейта: пять трюмов имеют суда дедвейтом до 60 000 т; семь трюмов для судов дедвейтом 70 000 ... 120 000 т; девять трюмов для судов дедвейтом 130 000 ... 210 000 т. Графическое распределение количества трюмов судна от его дедвейта приведено на рис. 8.

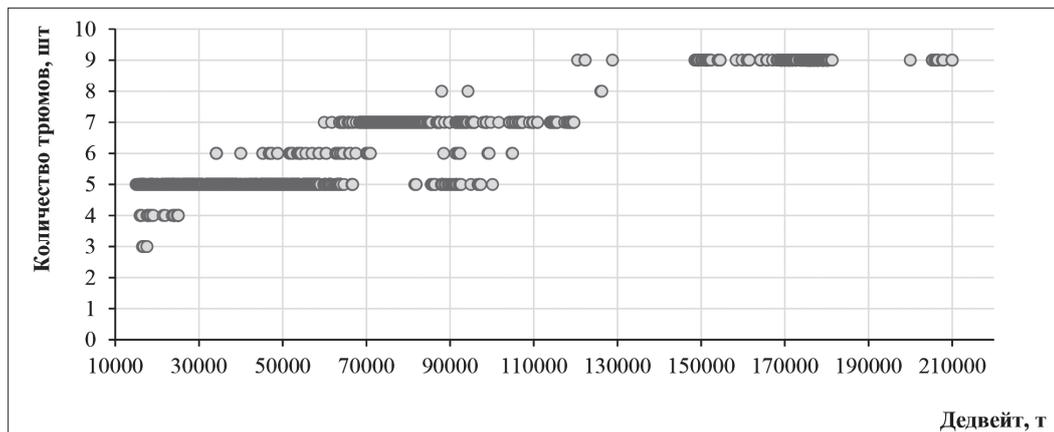


Рис. 8. Зависимость количества трюмов от дедвейта судна

Метод и результаты представляют интерес с теоретической точки зрения. В дальнейшем автором планируется их использование в рамках внедрения в математический аппарат симуляционного моделирования судопогрузочных операций экспортного угольного терминала аналогично рассмотренным в работе [30]. В сравнении с результатами исследования Т. Van Vianen [30] полученные аппроксимирующие зависимости демонстрируют схожесть ( $R^2$  — для длины и ширины отличается незначительно) или большую точность ( $R^2$  — для осадки значительно ближе к единице) степени соответствия трендовой модели исходным данным. При этом в рамках данной статьи использованы более комплексные исходные данные по 10 873 судам (мировой балкерный флот для транспортировки угля), в то время как в работе [30] использованы характеристики 289 судов, выполняющих судозаходы в порты Нидерландов. Следует отметить, что количество трюмов в различных источниках до этого не приводилось.

### Выводы

Следует отметить, что результаты были получены по двум основным направлениям:

- актуализация классификации и количественного состава мирового балкерного флота;
- исследования в области размеров судов-балкеров для перевозки угля.

В рамках первого направления уточнена классификация балкерных судов по тоннажным группам (см. табл. 2) и региональным категориям (см. табл. 3), детализировано распределение количества действующих и запланированных для строительства судов-балкеров, состоящих на учете в Международной морской организации ИМО (см. табл. 4, рис. 3 и 4). Полученные результаты являются обзорными, они позволяют оценить текущее состояние мирового балкерного флота и тенденции рынка судостроения.

В рамках второго направления для балкеров транспортировки угля актуализированы измерения (длина, ширина, осадка, количество трюмов) с разбивкой 10 000 т по дедвейту при обеспеченности 95 % (см. табл. 5), а также установлены аппроксимирующие зависимости размеров судов от дедвейта (графически и алгебраически приведены на рис. 5 – 8). Полученные результаты представляют теоретический и практический интерес для более точного технологического проектирования морского грузового фронта перегрузочных комплексов (терминалов), акватории и подходных каналов, а также для внедрения в математический аппарат в составе интегрированных симуляционных моделей терминала, которые могут применяться как для проектирования, так и планирования в рамках текущей эксплуатационной деятельности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Wei G.* New breed of bulk carrier designs: upsizing trend / G. Wei, S. Z. L. Neo, J. T. Heng, H. L. Lee. — Singapore Maritime Academy, 2015. — 153 p.
2. *Ligteringen H.* Ports and terminals / H. Ligteringen, H. Velsink. — CA Delft, Netherlands: VSSD, 2012. — 276 p.
3. *Chen S.* Modelling and Forecasting in Dry Bulk Shipping / S. Chen. — CPI Wohrmann, 2011. — 271 p.
4. *Кириченко А. В.* Взаимоотношения города и порта: эволюция и перспективы / А. В. Кириченко, А. Л. Кузнецов // Транспорт Российской Федерации. — 2014. — № 1 (50). — С. 12–15.
5. *Кузнецов А. Л.* Генезис моделей развития портов в современной транспортной науке / А. Л. Кузнецов, А. В. Галин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 2 (30). — С. 141–153.
6. *Papanikolaou A.* Selection of Main Dimensions and Calculation of Basic Ship Design Values / A. Papanikolaou // Ship Design. — Springer Netherlands, 2014. — Pp. 69–292. DOI: 10.1007/978-94-017-8751-2\_2.
7. *Isbester J.* Bulk Carrier Practice / J. Isbester. — Nautical Institute, 2010. — 423 p.
8. *Купцов Н. В.* Перспективы развития морских портовых угольных терминалов в России / Н. В. Купцов // Транспорт Урала. — 2016. — № 1 (48). — С. 16–23. DOI: 10.20291/1815-9400-2016-1-16-23.
9. *Thorensen C. A.* Port Designer's Handbook / C. A. Thorensen. — Third Edition. — London: Thomas Telford Limited, 2014. — 587 p.

10. Infosheet No. 30: Modern ship size definitions. — Lloyd's Register Foundation, 2014. — 1 p.
11. Пен А. В. Основные тенденции развития и новые технологии в гражданском судостроении / А. В. Пен // Транспорт Российской Федерации. — 2015. — № 4 (59). — С. 44–51.
12. Манжула К. П. Готовность морских портов России к приему сухогрузов типа Post-Pанамак и Capesize / К. П. Манжула, Е. Е. Андриянова // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: материалы Междунар. науч.-техн. конф. — Тюмень: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», 2016. — С. 181–185.
13. Hekkenberg R. Optimization of the dimensions of dry bulk ships: The case of the river Rhine/R. Hekkenberg // Maritime Economics & Logistics. — 2016. — Vol. 18. — Is. 2. — Pp. 211–229. DOI: 10.1057/mel.2014.36.
14. Cudina P. Design procedure and mathematical models in the concept design of tankers and bulk carriers / P. Cudina // Brodogradnja. — 2008. — Vol. 59. — № 4. — Pp. 323–339.
15. Strength Analysis of Hull Structure in Bulk Carriers – Classification Notes, no. 31.1. — Det Norske Veritas AS, 2011. — 99 p.
16. 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.
17. Propulsion Trends in Bulk Carriers. — MAN Diesel & Turbo, 2014. — 28 p.
18. РД 31.03.01-90. Техничко-экономические характеристики судов морского флота. — М: «Мортехинформреклама», 1992. — 232 с.
19. Significant Ships of 2015. — Edition 26. — Royal Institution of Naval Architects, 2015. — 92 p.
20. Kuptsov N. Characteristics of Bulk Carriers with Respect to the Developing Export Coal Terminals on the Far East of Russia / N. Kuptsov // Applied Mechanics and Materials. — 2015. — Vol. 725–726. — Pp. 333–341. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.725-726.333.
21. Chen S. Simulation-based optimization of ship design for dry bulk vessels / S. Chen, K. Frouws, E. Van De Voorde // Maritime Economics and Logistics. — 2011. — Vol. 13. — Is. 2. — Pp. 190–212. DOI: 10.1057/mel.2011.2.
22. Sys C. In search of the link between ship size and operations / C. Sys, G. Blauwens, E. Omev, E. Van De Voorde, F. Witlox // Transportation Planning and Technology. — 2008. — Vol. 31. — Is. 4. — Pp. 435–463. DOI: 10.1080/03081060802335109.
23. Pope J. A. Inventory costs and optimal ship size / J. A. Pope, W. K. Talley // Logistics and Transportation Review. — 1988. — Vol. 24. — № 2. — Pp. 107.
24. Jansson J. O. A model of scheduled liner freight services: Balancing inventory cost against ship owner's costs / J. O. Jansson, D. Shneerson // Logistics and Transportation Review. — 1985. — Vol. 21. — № 3. — Pp. 195–215.
25. Characteristics and Cost Structure of the Bulk Shipping Fleet. — Canberra: Australian Government Publishing Service, 1988. — 244 p.
26. Toma A. Determination of relevant features of a scale model for a 55 000 dwt bulk carrier necessary to study the ship maneuverability / A. Toma, M. Waldemar, M. Pricop // Scientific Bulletin "Mircea cel Batran" Naval Academy. — 2016. — Vol. 19. — Is. 1. — Pp. 128. DOI: 10.21279/1454-864X-16-11-007.
27. Port Development. A handbook for planners in developing countries. — Second Edition, Revised and expanded. — New York: UNCTAD, 1985. — 227 p.
28. Kristensen H. O. Determination of Regression Formulas for Main Dimensions of Tankers and Bulk Carriers based on IHS Fairplay data. Project no. 2010-56, Emissionsbeslutningsstøttesystem, Work Package 2, Report no. 02 / H. O. Kristensen. — Technical University of Denmark, 2012. — 35 p.
29. Kristensen H. O. H. Existing Design Trends for Tankers and Bulk Carriers - Design Changes for Improvement of the EEDI in the Future / H. O. H. Kristensen, M. Lützen // IMDC2012. — Glasgow, United Kingdom, 2012. — 15 p.
30. Van Vianen T. A. Simulation-integrated Design of Dry Bulk Terminals / T. A. Van Vianen. — Delft University of Technology, 2015. — 247 p.

## REFERENCES

1. Wei, G., S. Z. L. Neo, J. T. Heng, and H. L. Lee. *New breed of bulk carrier designs: upsizing trend*. Singapore Maritime Academy, 2015.

2. Ligteringen, H., and H. Velsink. *Ports and terminals*. CA Delft, Netherlands: VSSD, 2012.
3. Chen, S. *Modelling and Forecasting in Dry Bulk Shipping*. CPI Wohrmann, 2011.
4. Kirichenko, A. V., and A. L. Kuznetsov. "Interrelations between cities and ports: evolution and perspectives." *Transport Rossiiskoi Federatsii* 1(50) (2014): 12–15.
5. Kuznetsov, A. L., and A. V. Galin. "Genezis modelei razvitiya portov v sovremennoi transportnoi nauke." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 2(30) (2015): 141–153.
6. Papanikolaou, Apostolos. "Selection of Main Dimensions and Calculation of Basic Ship Design Values." *Ship Design*. Springer Netherlands, 2014. 69–292. DOI: 10.1007/978-94-017-8751-2\_2.
7. Isbester, J. *Bulk Carrier Practice*. Nautical Institute, 2010.
8. Kuptsov, Nikolay Vladimirovich. "Development prospects of Russian marine coal terminals." *Transport Urala* 1(48) (2016): 16–23. DOI: 10.20291/1815-9400-2016-1-16-23.
9. Thorensen, C. A. *Port Designer's Handbook*. Third Edition. London: Thomas Telford Limited, 2014.
10. *Infosheet No. 30: Modern ship size definitions*. Lloyd's Register Foundation, 2014.
11. Pen, A.V. "Main development trends and new technologies in civil shipbuilding." *Transport Rossiiskoi Federatsii* 4(59) (2015): 44–51.
12. Manzhula, K. P., and E. E. Andriyanova. "Readiness of Russian seaports to work with Post-Panamax and Capesize dry-cargo ships." *Nazemnye transportno-tekhnologicheskie komplekсы i sredstva: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*. Tyumen': Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Tyumenskii industrial'nyi universitet», 2016. 181–185.
13. Hekkenberg, Robert. "Optimization of the dimensions of dry bulk ships: The case of the river Rhine." *Maritime Economics & Logistics* 18.2 (2016): 211–229. DOI: 10.1057/mel.2014.36.
14. Čudina, Predrag. "Design procedure and mathematical models in the concept design of tankers and bulk carriers." *Brodogradnja* 59.4 (2008): 323–339.
15. *Strength Analysis of Hull Structure in Bulk Carriers – Classification Notes, no. 31.1*. Det Norske Veritas AS, 2011.
16. *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.
17. *Propulsion Trends in Bulk Carriers*. MAN Diesel & Turbo, 2014.
18. Russian Federation. Working documentation RD 31.03.01-90. *Tekhniko-ekonomicheskie kharakteristiki sudov morskogo flota*. M: «Mortekhinformreklama», 1992.
19. *Significant Ships of 2015*. 26<sup>th</sup> ed. Royal Institution of Naval Architects, 2015.
20. Kuptsov, Nikolay. "Characteristics of Bulk Carriers with Respect to the Developing Export Coal Terminals on the Far East of Russia." *Applied Mechanics and Materials* 725–726 (2015): 333–341. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.725-726.333.
21. Chen, Shun, Koos Frouws, and Eddy Van De Voorde. "Simulation-based optimization of ship design for dry bulk vessels." *Maritime Economics & Logistics* 13.2 (2011): 190–212. DOI: 10.1057/mel.2011.2
22. Sys, Christa, Gust Blauwens, Eddy Omey, Eddy Van De Voorde, and Frank Witlox. "In search of the link between ship size and operations." *Transportation Planning and Technology* 31.4 (2008): 435–463. DOI: 10.1080/03081060802335109.
23. Pope, James A., and Wayne K. Talley. "Inventory costs and optimal ship size." *Logistics and Transportation Review* 24.2 (1988): 107.
24. Jansson, Jan Owen, and Dan Shneerson. "A model of scheduled liner freight services: balancing inventory cost against shipowners' costs." *Logistics and Transportation Review* 21.3 (1985): 195–215.
25. *Characteristics and Cost Structure of the Bulk Shipping Fleet*. Canberra: Australian Government Publishing Service, 1988.
26. Toma, Alecu, Mironiuk Waldemar, and Mihail Pricop. "Determination of relevant features of a scale model for a 55 000 DWT bulk carrier necessary to study the ship maneuverability." *Scientific Bulletin "Mircea cel Batran" Naval Academy* 19.1 (2016): 128. DOI: 10.21279/1454-864X-16-11-007.
27. *Port Development. A handbook for planners in developing countries*. Second Edition, Revised and expanded. New York: UNCTAD, 1985.
28. Kristensen, H. O. *Determination of Regression Formulas for Main Dimensions of Tankers and Bulk Carriers based on IHS Fairplay data*. Project no. 2010-56, Emissionsbeslutningsstøttesystem, Work Package 2, Report no. 02 / H.O. Kristensen. Technical University of Denmark, 2012.

29. Kristensen, Hans Otto Holmegaard, and Marie Lützen. “Existing Design Trends for Tankers and Bulk Carriers-Design Changes for Improvement of the EEDI in the Future.” *IMDC2012*. Glasgow, United Kingdom, 2012.
30. Van Vianen, T.A. *Simulation-integrated Design of Dry Bulk Terminals*. Delft University of Technology, 2015.

**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.nikolay@gmail.com](mailto: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.nikolay@gmail.com](mailto:kuptsov.nikolay@gmail.com)

*Статья поступила в редакцию 20 декабря 2016 г.  
Received: December 20, 2016.*