

DOI: 10.24937/2542-2324-2022-2-400-89-98  
УДК 656.614.3+629.563.82

М.В. Власьев , Г.Ф. Демешко  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», Санкт-Петербург, Россия

## ОБОСНОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА СУДОВ-БУНКЕРОВЩИКОВ СЖИЖЕННЫМ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ ДЛЯ МОРСКОГО ПОРТА

**Объект и цель научной работы.** В работе рассматриваются специализированные суда, снабжающие топливом газомоторные суда – т.н. LNG bunkering tanker (в правилах Российского морского регистра судоходства – LNG bunkering ship). Целью исследования является формирование рекомендаций по обоснованию состава флота судов-бункеровщиков для морского порта с учетом модели их функционирования и прогнозируемого уровня спроса на газомоторное топливо.

**Материалы и методы.** Выполнены обобщение и анализ опыта эксплуатации судов рассматриваемого типа, а также факторов, влияющих на их работу. Собраны и систематизированы статистические материалы по функционированию бункеровочных компаний на рынке морского порта Санкт-Петербург, позволяющие дать рекомендации по прогнозируемому уровню спроса на топливо.

**Основные результаты.** Обобщены характеристики работы судов-бункеровщиков в составе бункеровочной инфраструктуры порта. Предложен способ обоснования потребного количества судов-бункеровщиков для снабжения судов сжиженным природным газом (СПГ), в основу которого положено использование аппарата теории игр. Выделены основные факторы, определяющие объемы бункеровки газомоторным топливом в порту. Приведен пример обоснования количества судов-бункеровщиков, обеспечивающих снабжение топливом газомоторные суда в порту Санкт-Петербурга.

**Заключение.** Суда-бункеровщики являются опорным звеном бункеровочной инфраструктуры любого порта. Количество судов-бункеровщиков СПГ с каждым годом растет, что связано с тенденциями по предотвращению загрязнения окружающей среды и ужесточению требований по сокращению выбросов в атмосферу с эксплуатирующихся судов. Настоящее исследование позволяет выполнить обоснование количественного состава судов-бункеровщиков на этапе формирования бункеровочной инфраструктуры порта.

**Ключевые слова:** судно-бункеровщик, сжиженный природный газ (СПГ), уровень спроса, судозаходы, теория игр.  
*Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.*

DOI: 10.24937/2542-2324-2022-2-400-89-98  
UDC 656.614.3+629.563.82

M.V. Vlasiev , G.F. Demeshko  
St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

## LNG BUNKERING TANKERS IN MARINE PORTS: VALIDATION OF DEMAND IN NUMBERS

**Object and purpose of research.** The paper considers specialist vessels for re-fueling gas-engined ships, so-called LNG bunkering tankers (LNG bunkering ship as per the Russian Maritime Register of Shipping). The purpose is to formulate recommendations regarding the bunkering tanker fleet configuration for a marine port taking into consideration their functioning model and projected demand for natural gas motor fuel.

**Materials and methods.** Operational experience of the ship type under consideration as well as the performance factors have been generalized and analyzed. Statistics of bunkering companies operating on the St. Petersburg port market have been collected and systematized enabling us to give recommendations for the projected fuel demand.

*Для цитирования:* Власьев М.В., Демешко Г.Ф. Обоснование количества судов-бункеровщиков сжиженным природным газом для морского порта. Труды Крыловского государственного научного центра. 2022; 2(400): 89–98.

*For citations:* Vlasiev M.V., Demeshko G.F. Lng bunkering tankers in marine ports: validation of demand in numbers. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2022; 2(400): 89–98 (in Russian).

**Main results.** Operational characteristics of bunkering tankers in the port bunkering infrastructure have been generalized. An approach is suggested for justifying the required number of LNG re-fueling tankers based on the game theory. The main factors defining the volumes of LNG fuel required in port are highlighted. A case study is given for validation of the bunkering tanker demand in numbers for the port of St. Petersburg.

**Conclusion.** Bunkering tankers are a key link in the bunkering infrastructure of any harbor. LNG tankers are growing in numbers every year, which is related to more stringent requirements for environment pollution and reduced discharges from vessels in operation. This study enables justification of bunkering tanker numbers early in the design of a port bunkering infrastructure.

**Keywords:** bunkering tanker, liquefied natural gas (LNG), level of demand, ship calls, game theory.

*The authors declare no conflicts of interest.*

## Введение

### Introduction

Согласно требованиям Международной конвенции по предотвращению загрязнения окружающей среды с судов (MARPOL) мировой гражданский флот уже третий год живет в условиях ввода в действие ряда ограничений.

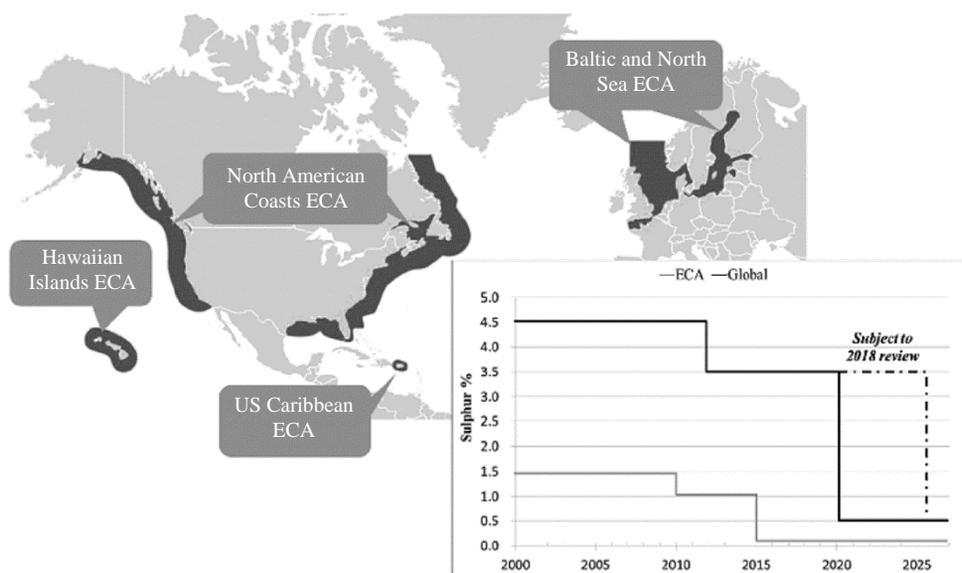
Так, с 1 января 2020 г. допустимая концентрация серы в судовом топливе повсеместно не должна превышать 0,5 %. Для оговоренных зон особого контроля выбросов ECA (Emission Control Area) норма еще жестче – 0,1 %. Сейчас в эти зоны входят акватории Балтийского и Северного морей, пролив Ла-Манш, Карибское море и 200-мильные зоны США и Канады. В перспективе зоны ECA могут быть расширены за счет прибрежных районов Австралии, Средиземного и Баренцева морей, побережья Японии, Норвегии и других акваторий.

Следующими после серы загрязняющими веществами признаны оксиды азота. К зонам с жест-

ким контролем выбросов NO<sub>x</sub> с 2016 г. относят Североамериканскую часть ECA и Карибское море. В 2021 г. к ним присоединены Балтийское и Северное моря. Нормы выбросов NO<sub>x</sub> устанавливаются в зависимости от номинальной частоты вращения судового двигателя и поэтапно ужесточаются [1, 5] (рис. 1).

Новые экологические стандарты заставляют перевозчиков использовать в качестве судового топлива низкосернистые дистилляты – например, газойль (MGO – marine gas oil). Кроме того, идет переход на новый вид мазута с ультранизким содержанием серы, в производстве которого используются компоненты как легкие, так и тяжелые – в частности, ультрасернистый мазут (ULSFO – ultra-low sulfur fuel oil). Рассматриваются также технологии очистки выхлопных газов, для чего суда оснащаются т.н. скрубберами.

Планируемое ужесточение экологических требований к судовому топливу повышает спрос на альтернативу мазуту и дизельному топливу, прежде

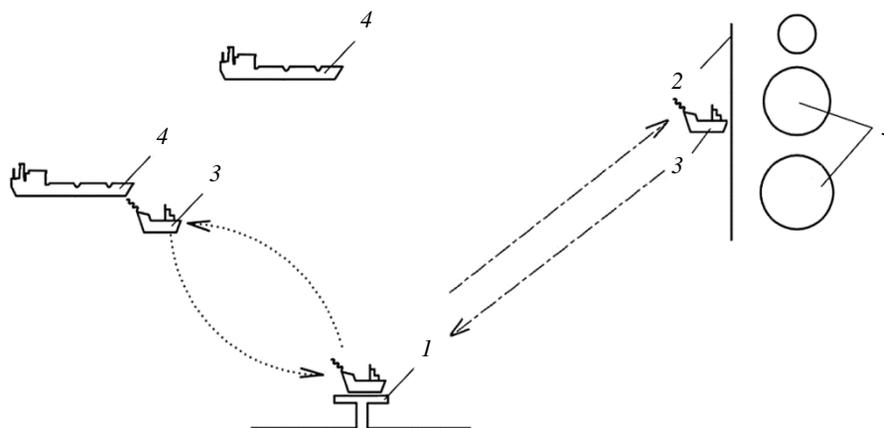


**Рис. 1.** Особые зоны контроля выбросов ECA [1]

**Fig. 1.** Emission control areas (ECA) [1]

**Рис. 2.** Схема работы судна-бункеровщика:  
1 – причал отстоя;  
2 – причал бункеровочной базы; 3 – бункеровщик;  
4 – судно-клиент;  
5 – топливные склады бункеровочной базы

**Fig. 2.** Schematic of bunkering tanker operation:  
1 – standby berth;  
2 – berth of bunkering base;  
3 – bunkering ship;  
4 – client ship;  
5 – fuel storages of bunkering base



всего, в виде сжиженного природного газа (СПГ). В части экологических стандартов по содержанию серы СПГ полностью соответствует требованиям MARPOL, и его использование позволит уменьшить выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу на 20–30 %, оксидов азота – более чем на 90 %, оксидов серы и сажи – на 100 % (по сравнению с традиционным тяжелым топливом, применяемым на аналогичных судах).

Помимо экологических преимуществ, привлекательность перехода на СПГ обеспечивает фактор цены. Из-за наблюдающейся тенденции роста стоимости традиционного моторного топлива расходы судовладельцев неуклонно растут. В то же время СПГ в большинстве случаев заметно дешевле, что делает его применение экономически оправданным. Доля коммерческих судов, работающих на газомоторном топливе, ежегодно увеличивается, что требует активного развития инфраструктуры СПГ-бункеровки.

На начало 2021 г., согласно данным DNV GL [4], количество газомоторных судов в мире составило 191 единиц, еще 142 судна обладают классом LNG-ready (могут быть быстро переоборудованы под использование газа в качестве топлива). При этом число танкеров-бункеровщиков СПГ, обеспечивающих функционирование таких судов, насчитывало только 27 единиц. Отметим, что в начале 2020 г. в постройке находилось еще 238 судов с газотопливными и двухтопливными двигателями, а также 18 судов-бункеровщиков СПГ-топливом [5].

На практике широкомасштабное внедрение использования СПГ на флоте во многом тормозится тем, что формирование соответствующей инфраструктуры в части производства и хранения СПГ, а также снабжения им судов как бункерным топливом требует значительных инвестиций.

Путем сопоставления прибыли от бункеровки судов-бункеровщиков СПГ-топливом и затрат на их содержание рассматривается задача по обоснованию для порта потребности в их количестве. Применен аппарат теории игр [3, 10], который позволяет алгоритмизировать процесс бункеровки газомоторных судов СПГ-топливом, базируясь на существующем уровне его потребления.

В большинстве морских портов все виды бункеровки судов осуществляются преимущественно с использованием самоходных судов-бункеровщиков. Функционально это выглядит следующим образом (рис. 2):

- бункеровщик принимает топливо у причала бункеровочной базы и направляется к причалу отстоя, где ждет заявку от бункеруемого судна, либо направляется непосредственно к обслуживаемому судну, если заявка уже поступила;
- если к моменту окончания бункеровки судна других заявок нет, бункеровщик направляется к причалу отстоя;
- после исчерпания запаса топлива на бункеровщике он возвращается на бункеровочную базу для приема топлива (самобункеровки).

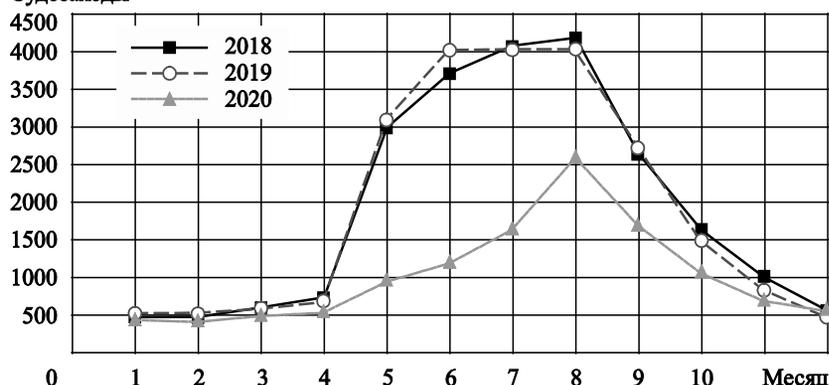
## Анализ рынка судового топлива в морском порту Санкт-Петербург

Analysis of ship fuel market for St. Petersburg marine port

Данный порт рассмотрен для апробации предлагаемой методики по следующим причинам:

- он является крупнейшим транспортным и бункеровочным центром на Балтийском море;
- данные по порту постоянно присутствуют в ежедневных рейтингах бункерных сайтов,

Судозаходы



**Рис. 3.** Количество судозаходов в порт Санкт-Петербург за 2018–2020 гг. (по месяцам)

**Fig. 3.** Ship calls in St. Petersburg marine port in 2018–2020 (by months)

в т.ч. в отношении отслеживания динамики цен на судовое топливо;

- гавань функционирует круглый год.

Развитие морского порта Санкт-Петербурга имеет ряд ограничений, прежде всего, по максимальной осадке заходящих в него судов по фактам ограничений по глубине и ширине действующего фарватера. Это снижает его возможности по приему крупных морских судов с большой осадкой.

Согласно [11] увеличение осадки заходящих в порт судов с допустимых 11,6 м до 14,0 м привело бы к росту количества судозаходов на 19 %. В свою очередь, наращивание интенсивности потока прибывающих судов будет способствовать необходимости увеличения числа средств для их бункеровки.

Анализ данных по бункерному рынку порта Санкт-Петербург показал, что общий объем требуемого традиционного судового топлива составляет около 1 млн т в год, со среднемесячным объемом

его обработки около 70–80 тыс. т. При этом потребность в топливе является сезонным фактором и меняется в течение года. Очевидно, что спрос на топливо зависит от количества судозаходов. В течение летних месяцев (с июня по август) наблюдается наибольший объем сбыта бункерного топлива – до 100 тыс. т в месяц (рис. 3).

В зимние месяцы потребность в топливе падает, порой до уровня 65 тыс. т в месяц, поскольку из-за сложных ледовых условий в гавань заходит гораздо меньше судов. Это иллюстрируется данными по заходам в порт Санкт-Петербург пассажирских судов в течение «доковидного» 2019 г. (табл. 1).

Диаграмма всех судозаходов в порт Санкт-Петербург за период 2018–2021 гг. представлена на рис. 3.

Из диаграммы видно, что в «ковидный» 2020 г. в связи с замедлением международной торговли количество судозаходов значительно снизилось. Начиная с 2021 г. объемы международной торговли снова вошли в состояние роста.

Поскольку период 2020–2021 гг. не отражает реальный уровень работы порта и спроса на топливо в порту, в рамках данного исследования используются данные об объемах сбыта топлива в морском порту Санкт-Петербург за 2019 г. (рис. 4). В этот период 90 % реализованного в порту бункерного топлива составлял тяжелый мазут (стандарта IFO-380 HS). В 2020 г. объем его сбыта сократился на 45 %: он был замещен мазутом ULFSO с содержанием серы не более 0,5 % и частично – морским дизельным топливом MGO [7, 8].

С учетом тенденций, развивающихся на бункерном рынке порта Санкт-Петербург, можно ожидать, что альтернативой тяжелому мазуту (стандарта IFO-380 HS) и мазуту UFLSO с содержанием серы до 0,5 % может стать газомоторное топливо, а именно СПГ. При этом реальный объем замеще-

**Таблица 1.** Судозаходы пассажирских судов в порт Санкт-Петербурга за 2019 г. [6]

**Table 1.** Passenger ship calls in St. Petersburg marine port in 2019 [6]

Обслуживающий причал в порту	Количество/тип судов
Морской фасад	266 – круизные, 2 – линейные
Морской вокзал	2 – круизные, 71 – линейные
Набережная Лейтенанта Шмидта	43 – круизные
Английская набережная	34 – круизные
<b>Всего</b>	<b>345 – круизные, 73 – линейные</b>

ния традиционного топлива на СПГ можно ожидать в пределах 50 % от объема сбыта мазута.

Эквивалентное количество СПГ, необходимого для замещения нефтяного судового топлива, может быть определено с учетом энергетических характеристик нефтяного и газового топлива (табл. 2).

Данные по сбыту мазута в бункерных операциях в порту Санкт-Петербург за 2019 г. приведены в табл. 3.

Массу СПГ-топлива, эквивалентную по теплотворной способности углеводородному, с учетом разности теплотворных способностей нефтяного и газового топлива соответственно (табл. 2) можно найти, используя следующие расчетные зависимости (табл. 3):

$$G_{\text{СПГ}} = G_{\text{нт}} \frac{H_{\text{нт}}}{H_{\text{СПГ}}} = 83571 \cdot \frac{41,4}{50,02} = 69169 \text{ т,}$$

здесь  $G_{\text{нт}}$  – масса нефтяного топлива, т;  $H_{\text{нт}}$ ,  $H_{\text{СПГ}}$  – удельная теплота сгорания нефтяного и газового топлива, МДж/кг.

Объем этого количества СПГ-топлива из-за существенно меньшего значения его плотности ( $\rho = 0,420 \text{ т/м}^3$ ) составит:

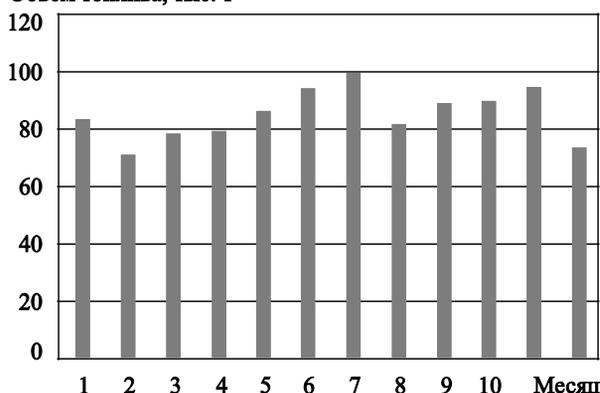
$$V_{\text{СПГ}} = \frac{69169}{0,420} = 164688 \text{ м}^3.$$

**Таблица 3.** Данные по реализованным объемам мазута и ULSFO за 2019 г. в порту Санкт-Петербург и прогнозный спрос на СПГ-топливо

**Table 3.** Fuel oil and ULSFO consumed over 2019 in St. Petersburg marine port and projected demand for LNG fuel

Месяц	Месячная реализация мазута марок IFO-380 HS и ULSFO в 2019 г., т [7, 8]	Месячный эквивалентный объем СПГ-топлива, м <sup>3</sup>	Замещаемый объем СПГ-топлива (50 % от объема в столбце 3), м <sup>3</sup>	Среднесуточный спрос СПГ-топлива в порту (согласно данным в столбце 3), м <sup>3</sup> /сут.
Январь	83 571	164 188,0	82 094,0	5 296,387
Февраль	71 136	140 183,5	70 091,7	5 006,554
Март	78 674	155 038,0	77 519,0	5 001,226
Апрель	79 652	156 965,5	78 482,7	5 232,183
Май	86 766	170 984,6	85 492,3	5 515,632
Июнь	94 640	186 501,4	93 250,7	6 216,713
Июль	100 260	197 576,4	98 788,2	6 373,432
Август	82 095	161 779,8	80 889,9	5 218,703
Сентябрь	89 306	175 990,1	87 995,1	5 866,337
Октябрь	90 353	178 053,3	89 026,6	5 743,655
Ноябрь	95 004	187 218,8	93 609,4	6240,627
Декабрь	73 852	145 535,8	72 767,9	4 694,703
<b>Итого</b>	<b>1 025 309</b>	<b>2 020 015,2</b>	<b>1 010 007,5</b>	–

**Объем топлива, тыс. т**



**Рис. 4.** Объем сбыта топлива в морском порту Санкт-Петербург за 2019 г.

**Fig. 4.** Quantity of fuel consumed in St. Petersburg marine port in 2019

**Таблица 2.** Энергетические характеристики сравниваемых видов судового топлива

**Table 2.** Energy characteristics of ship fuel types compared

Вид топлива	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплота сгорания, МДж/кг
Мазут (HFO)	920	41,4
СПГ (LNG)	420	50,02

## Технико-экономические характеристики судна-бункеровщика сжиженным природным газом

Technical and economic characteristics of LNG bunkering tanker

В качестве расчетного судна рассматривается СПГ-бункеровщик, проект которого разработан в Крыловском центре. Судно имеет двойные борта и двойное дно, вкладной танк типа С (в трюме), двухвальную энергетическую установку, поворотные винторулевые колонки [9]. Данный бункеровщик может обеспечивать доставку СПГ как в прибрежные, так и в устьевые порты. Его общий вид и характеристики приведены на рис. 5 и в табл. 4.

Для рассматриваемого газоведа-бункеровщика была рассчитана величина тайм-чартерной ставки на

аренду судна. Она определена из условия окупаемости судна и с условием получения судовладельцем прибыли в соответствии с внутренней нормой доходности. Оплата аренды судна его владельцу производится исходя из продолжительности использования, а также рейсовых расходов (на топливо и сборы за портовые и погрузо-разгрузочные работы).

Учитывая, что в [9] все данные по рассмотренному соответствуют 2019 г, их результаты были индексированы с учетом инфляции и изменения цен на 2021 г. (Авторы особо обращают внимание, что здесь не учтены изменения в ценах, произошедшие в 2022 г.) Согласно [9] величина тайм-чартерной ставки на аренду судна – 657,7 тыс. руб./сут.

В качестве примера рассмотрен маршрут доставки СПГ-топлива от терминала СПГ в порту Высоцк в Большой порт Санкт-Петербурга. Расходы на содержание бункеровщика определяются

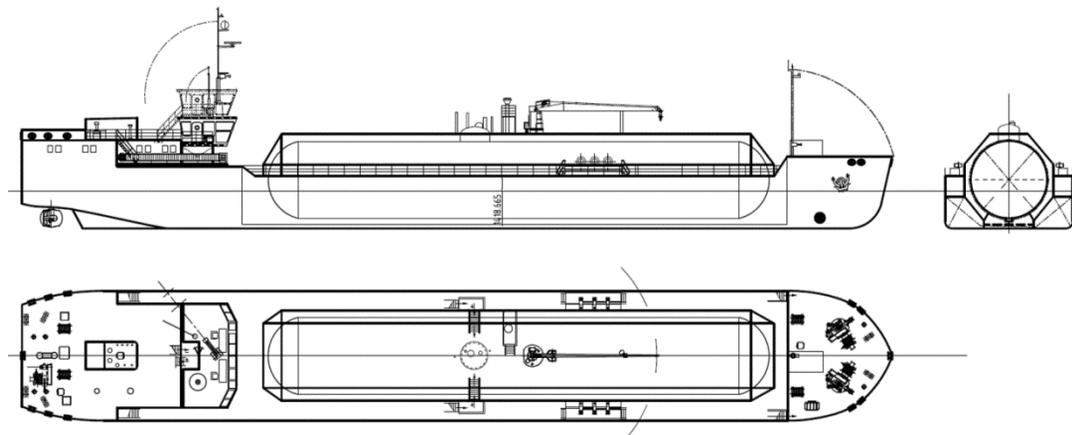


Рис. 5. Общий вид СПГ-бункеровщика

Fig. 5. General view of LNG bunkering tanker

Таблица 4. Характеристики СПГ-бункеровщика [9]

Table 4. Characteristics of LNG bunkering tanker [9]

Характеристика	Значение
Назначение судна	Перевозка СПГ наливом в танке типа С
Архитектурно-конструктивный тип	СПГ-газовоз с одним грузовым танком типа С, кормовым расположением надстройки и подруливающим устройством
Размерения: $L \times B \times H \times T$ , м	80,0×12,2×4,9×2,7
Водоизмещение, т	2320
Вместимость грузовой емкости, м <sup>3</sup>	1900
Масса СПГ (невывгружаемый остаток 2 %), т	713 (14,3)
Скорость хода, уз	10,0
Мощность СЭУ, кВт	1400

по фрахтовой ставке. Годовой эффективный фонд времени судна принят 335 суток. С учетом времени перехода, ожидания и проведения операции бункеровки (рис. 2) совокупный объем бункеровки за год, выполняемый одним судном по данному маршруту, составил 405,7 тыс. м<sup>3</sup> или 170,4 тыс. т (в предположении бункерования одного судна в сутки). В этом случае удельные расходы на доставку топлива с учетом рейсовых затрат оценены в 3700 руб./т (50,5 долл./т).

### Обоснование потребного количества судов-бункеровщиков СПГ-топливом с использованием аппарата теории игр

Justification of demand for LNG bunkering tanker numbers using theory of games tools

Поскольку данные о количестве заявок на бункеровку газовым топливом по морскому порту Санкт-Петербург на настоящий момент отсутствуют, в качестве решения задачи обоснования необходимого количества судов-бункеровщиков СПГ-топливом предложено представить это как статистическую «игру с природой» из аппарата теории игр, когда он применяется в маркетинге транспортных услуг и управлении транспортом [3, 10].

Рассмотрим пять стратегий, т.е. возможных вариантов с использованием в порту от одного до пяти судов-бункеровщиков. Такое количество судов обосновано, исходя из технической возможности рассматриваемого судна-бункеровщика и возможных годовых объемов сбыта СПГ-топлива в рассматриваемом порту.

Для каждой стратегии предполагаются два игрока: *A* – бункеровочная компания и *B* – бункеровочный рынок. Для определения экономического

эффекта составлена платежная матрица игры. Величина прибыли от эксплуатации бункеровщика в данном исследовании принимается с возможностью варьирования доли величины удельных затрат на доставку тонны СПГ-топлива: 5 % – 185 руб./т (2,52 долл./т), 10 % – 370 руб./т (5,1 долл./т), 25 % – 924 руб./т (12,5 долл./т), 50 % – 1848 руб./т (25,1 долл./т), 75 % – 2772 руб./т (37,7 долл./т), 100 % – 3700 руб./т (50,5 долл./т).

Обоснование потребного количества плавучих самоходных бункеровщиков в порту (указанного выше типа) выполняется по критериям Лапласа, Гурвица и Сэвиджа [3].

### Критерий Лапласа

При использовании данного критерия исходят из того, что оснований считать какую-либо из ситуаций более вероятной, чем остальные, нет, поэтому полагают, что все ситуации на рынке бункеровки равновероятны. Исходя из этого, выбирают тот вариант, для которого величина, именуемая критерием Лапласа и рассчитываемая по нижеприведенной формуле, оказывается наибольшей:

$$K(A_i) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n k_{ij}, \quad i = 1, \dots, m;$$

$$K_{opt} = \max\{K(A_i), i = 1, \dots, m\},$$

где *n* – общее число ситуаций; *k<sub>ij</sub>* – прибыль от работы бункеровщика в *j*-й ситуации.

После расчетов были получены значения *K(A<sub>i</sub>)* млн руб. для различных значений прибыли бункеровочной компании.

Лучшие стратегии выделены в табл. 5. Из полученных результатов видно, что компания начинает получать реальный доход при норме прибыли от 1848 руб. за тонну топлива.

**Таблица 5.** Критерий Лапласа. Значения *K(A<sub>i</sub>)* миллионов рублей для различных величин прибыли бункеровочной компании

**Table 5.** Laplace criterion. Values of *K(A<sub>i</sub>)* in million rubles for various profit levels of a bunkering company

Прибыль за топливо, руб./т (долл./т)	Количество плавучих бункеровщиков, <i>i</i>				
	1	2	3	4	5
185 (2,5)	-31,52	-107,05	-321,14	-673,80	-1165,04
370 (5,1)	-63,05	-88,13	-264,39	-591,83	-1070,45
924 (12,5)	-157,4	-31,52	-94,56	-346,52	-787,4
1848 (25,1)	-314,8	62,92	188,76	62,72	-315,2
2772 (37,7)	-472,3	157,42	472,26	472,22	157,3
3700 (50,5)	-629,8	251,92	755,76	881,72	629,8

## Критерий Гурвица

Согласно данному критерию, который также называют критерием обобщенного максимума, при оценке и выборе стратегии учитываются самое высокое и самое низкое значения эффективности (взвешиваются наихудшее и наилучшее условия). Принимается среднеарифметическое между ними.

$$K(A_i) = \frac{\max k_{ij} + \min k_{ij}}{2}, i = 1, \dots, m.$$

Условие оптимальности стандартное  $K_{opt} = \max\{K(A_i), i = 1, \dots, m\}$ .

По результатам расчетов получены значения  $K(A_i)$  млн руб. для различных значений прибыли бункеровочной компании.

Лучшие стратегии также выделены в табл. 6. Из приведенных результатов видно, что, как и по критерию Лапласа, компания начинает получать доход лишь при норме прибыли от 1848 руб. за тонну топлива. Недостатком критерия является то, что он не учитывает значения промежуточных элементов платежной матрицы.

## Критерий Сэвиджа

Этот критерий базируется на том, что каждая рассматриваемая ситуация предполагается лучшей. Поэтому для нее определяются убытки или дополнительные затраты, после чего выбирают тот вариант, где потери наименьшие.

Такой подход позволяет минимизировать снижение эффективности компании при наихудших условиях. Для оценки систем по принципу Сэвиджа платежная матрица преобразуется в матрицу потерь (риска). Каждый элемент данной матрицы определяется как разность между максимальным и текущим значениями оценок эффективности в столбце:

$$\Delta k_{ij} = \max k_{ij} - k_{ij}.$$

После преобразования матрицы используется критерий минимакса:

$$K(A_i) = \max k_{ij}, i = 1, \dots, m;$$

$$K_{opt} = \min\{K(A_i), i = 1, \dots, m\}.$$

**Таблица 6.** Критерий Гурвица. Значения  $K(A_i)$  миллионов рублей для различных значений прибыли бункеровочной компании

**Table 6.** Hurwicz criterion. Values of  $K(A_i)$  in million rubles for various profit levels of a bunkering company

Прибыль за топливо, руб./т (долл./т)	Количество плавучих бункеровщиков, $i$				
	1	2	3	4	5
185 (2,5)	-31,52	-267,62	-566,76	-865,9	-1165,04
370 (5,1)	-63,05	-220,33	-503,7	-787,08	-1070,45
924 (12,5)	-157,44	-78,74	-314,92	-551,1	-787,28
1848 (25,1)	-314,8	157,3	-0,2	-157,7	-315,2
2772 (37,7)	-472,3	236,15	314,8	236,05	157,3
3700 (50,5)	-629,8	314,9	629,8	629,8	629,8

**Таблица 7.** Критерий Сэвиджа. Матрица потерь для различных значений прибыли бункеровочной компании

**Table 7.** Savage test. Loss matrix for various profit levels of a bunkering company

Прибыль за топливо, руб./т (долл./т)	Количество плавучих бункеровщиков, $i$				
	1	2	3	4	5
185 (2,5)	-252,16	-629,8	-1259,6	-1889,4	-2519,2
370 (5,1)	-504,4	-629,8	-1259,6	-1889,4	-2519,2
924 (12,5)	-1259,52	-944,64	-129,62	-1889,4	-2519,2
1848 (25,1)	-2518,4	-1888,8	-1259,6	-1889,4	-2519,2
2772 (37,7)	-3778,4	-2833,8	-1889,2	-1889,4	-2519,2
3700 (50,5)	-5038,4	-3778,8	-2519,2	-1889,4	-2519,2

По результатам расчетов получены значения  $K(A_i)$  в млн руб. и рассчитана матрица потерь для различных значений прибыли бункеровочной компании.

Лучшие результаты по критерию Сэвиджа выделены в табл. 7. Поскольку здесь оцениваются потери для каждой стратегии, то с повышением уровня прибыли с тонны топлива увеличивается и количество размещаемых в порту бункеровщиков. Минусом критерия является учет лишь крайних членов платежной матрицы.

Результаты расчетов по рассмотренным критериям представлены на рис. 6. Как видно, различные критерии оценки дают близкие решения по значению потребного количества судов-бункеровщиков.

Таким образом, на основе решения задачи по максимизации дохода от деятельности судов-бункеровщиков была установлена связь между потребным количеством судов-бункеровщиков СПГ и величиной прибыли с тонны бункеруемого топлива, которую получает бункеровочная компания. Показано, что с увеличением уровня прибыли с тонны бункеруемого топлива количество судов-бункеровщиков в порту следует увеличивать, что ведет к росту рентабельности работы этих судов. Однако решению о приобретении трех и более судов-бункеровщиков должны предшествовать как исследование рынка бункеровки и оценка потенциального уровня спроса на газовое топливо в порту, так и анализ действий компаний-конкурентов.

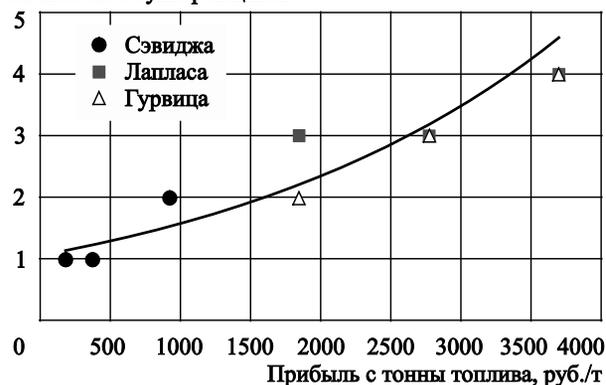
## Заключение

### Conclusion

Предложенный метод учитывает основные факторы, которые определяют потребное количество судов-бункеровщиков СПГ-топливом на начальных этапах обоснования состава бункеровочной инфраструктуры порта.

Такими факторами являются: прогнозируемый уровень спроса на бункерный СПГ как топливо в регионе рассматриваемого порта, устанавливаемая прибыль от деятельности судов-бункеровщиков и расходы на их содержание. Апробация предложенного метода расчета выполнена на примере Морского порта Санкт-Петербург. Этот подход может быть применим и для оценки количественного состава портофлота судов-бункеровщиков, снабжающих потребителей традиционным топливом.

### Количество бункеровщиков



**Рис. 6.** Потребное количество СПГ-бункеровщиков рассмотренного типа для порта Санкт-Петербурга в зависимости от величины устанавливаемой прибыли с тонны топлива

**Fig. 6.** Required number of LNG bunkering tankers for St. Petersburg marine port depending on the profit per fuel ton

## Список использованной литературы

1. Map and requirements of the Emission Control Areas: [site]. URL: [https://www.researchgate.net/figure/Map-and-requirements-of-the-Emission-Control-Areas\\_fig1\\_322205913](https://www.researchgate.net/figure/Map-and-requirements-of-the-Emission-Control-Areas_fig1_322205913) (Accessed: 13.03.2022).
2. *Нарусбаев А.А.* Введение в теорию обоснования проектных решений. Ленинград : Судостроение, 1976. 223 с.
3. *Бреслав Л.Б.* Технично-экономическое обоснование средств освоения Мирового океана. Ленинград : Судостроение, 1982. 239 с.
4. *Книжников А., Климентьев А.* Перевод арктического флота с мазута на сжиженный природный газ (СПГ). Россия в окружающем мире : дискуссионные материалы к международной конференции «Судостроение в Арктике», июнь 2019 г., Архангельск // WWF : [сайт]. URL: [https://wwf.ru/upload/iblock/629/rabochie\\_materialy\\_po\\_spg\\_forum\\_sudostroenie\\_iyun\\_2019.pdf](https://wwf.ru/upload/iblock/629/rabochie_materialy_po_spg_forum_sudostroenie_iyun_2019.pdf) (дата обращения: 20.10.2021).
5. *Орлов С.* Морской перекресток. Мировой рынок бункеровки выбирает новое топливо // Сибирская нефть. 2021. № 2/179. С. 20–27. URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2021-march/5336157/> (дата обращения: 20.10.2021).
6. Порты и терминалы Санкт-Петербурга и Ленинградской области : ежегодн. справочник, 2020. Санкт-Петербург : Морской Петербург, [2020]. 219, [6] с.
7. Аналитический обзор бункерного рынка порта Санкт-Петербург // Порт Ньюс. 2021. №1(37). С. 58–59.

8. Бункеровка в порту Санкт-Петербург // Порт Ньюс. 2019. № 3(31). С. 78–79.
9. Транспортировка природного газа малотоннажным морским и речным транспортом / Р.Ю. Романов, Н.А. Вальдман, А.П. Завьялов [и др.]. Санкт-Петербург : Крыловский гос. науч. центр, 2020. 196, [2] с.
10. Бодренко И.И. Теория игр. Лекция 5: Игры с природой // Бодренко И.И., Бодренко А.И. : [персон. сайт]. URL: [http://bodrenko.org/ti/L5\\_ti.htm](http://bodrenko.org/ti/L5_ti.htm) (дата обращения: 20.10.2021).
11. О реорганизации Санкт-Петербургского филиала ФГУП «Росморпорт». Развитие морских путей и подходных каналов, строительство и реконструкция причальных сооружений Большого порта Санкт-Петербург. Основные проекты, реализуемые ФГУП «Росморпорт» в портах Ленинградской области // Росморпорт : [сайт]. Москва, 2021. URL: [https://www.rosmorport.ru/media/File/new2/SPB\\_Prospects\\_New2.pdf](https://www.rosmorport.ru/media/File/new2/SPB_Prospects_New2.pdf) (дата обращения: 20.10.2021).
7. Analytical bunkering market overview of St. Petersburg port // Port News 2021. No. 1(37). P. 58–59 (*in Russian*).
8. Bunkering in St. Petersburg port // Port News. 2019. No. 3(31). P. 78–79 (*in Russian*).
9. Transportation of natural gas by small-size marine and river carriers / R.Yu. Romanov, N.A. Valdman, A.P. Zavyalov [et al.]. St. Petersburg : Krylov State Research Centre, 2020. 196, [2] p. (*in Russian*).
10. Bodrenko I.I. Game Theory. Lecture 5: Games with nature // Bodrenko I.I., Bodrenko A.I.: [personal site]. URL: [http://bodrenko.org/ti/L5\\_ti.htm](http://bodrenko.org/ti/L5_ti.htm) (Accessed: 20.10.2021) (*in Russian*).
11. On re-organizing of St. Petersburg branch of FSUE Rosmorport. Development of marine waterways and access channels, construction and modernization of quays in the Big Port of St. Petersburg. Major projects of FSUE Rosmorport in Leningrad Region // Rosmorport [site]. Moscow, 2021. URL: [https://www.rosmorport.ru/media/File/new2/SPB\\_Prospects\\_New2.pdf](https://www.rosmorport.ru/media/File/new2/SPB_Prospects_New2.pdf) (Accessed: 20.10.2021) (*in Russian*).

## References

1. Map and requirements of the Emission Control Areas: [site]. URL: [https://www.researchgate.net/figure/Map-and-requirements-of-the-Emission-Control-Areas\\_fig1\\_322205913](https://www.researchgate.net/figure/Map-and-requirements-of-the-Emission-Control-Areas_fig1_322205913) (Accessed: 13.03.2022).
2. Narusbaev A.A. Introduction in the theory of justification of design choices. Leningrad : Sudostroenie, 1976. 223 p. (*in Russian*).
3. Breslav L.B. Technical & economic feasibility study of ocean engineering facilities. Leningrad : Sudostroenie, 1982. 239 p. (*in Russian*).
4. Knizhnikov A., Klimentiev A. Conversion of arctic fleet from fuel to LNG gas. Russia in the world around // Materials for discussion to the International Conference “Shipbuilding in the Arctic”, June 2019, Arkhangelsk. URL: [https://wwf.ru/upload/iblock/629/rabochie\\_materialy\\_po\\_spg\\_forum\\_sudostroenie\\_iyun\\_2019.pdf](https://wwf.ru/upload/iblock/629/rabochie_materialy_po_spg_forum_sudostroenie_iyun_2019.pdf) (Accessed: 20.10.2021) (*in Russian*).
5. Orlov S. Marine crossroad. World market of bunkering is choosing a new fuel // Sibirskaia neft. 2021. No. 2/179. P. 20–27. URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2021-march/5336157/> (Accessed: 20.10.2021) (*in Russian*).
6. Ports and terminals of St. Petersburg and Leningrad Region: Yearbook, 2020. 219, [6] p.

---

## Сведения об авторах

Власьев Максим Валерьевич, к.т.н., доцент кафедры проектирования судов ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». Адрес: 190008, Россия, Санкт-Петербург, ул. Лощманская, д. 3. E-mail: valmax2006@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0001-8485-9549>.

Демешко Геннадий Федорович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой проектирования судов ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». Адрес: 190008, Россия, Санкт-Петербург, ул. Лощманская, д. 3. E-mail: morcenter@mail.ru.

## About the authors

Maxim V. Vlashev, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of Ship Design Chair, St. Petersburg State Marine Technical University. Address: 3, Lotsmanskaya st., St. Petersburg, Russia, post code 190008. E-mail: valmax2006@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0001-8485-9549>.

Gennady F. Demeshko, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Ship Design Chair, St. Petersburg State Marine Technical University. Address: 3, Lotsmanskaya st., St. Petersburg, Russia, post code 190008. E-mail: morcenter@mail.ru.

Поступила / Received: 12.07.21  
Принята в печать / Accepted: 04.05.22  
© Власьев М.В., Демешко Г.Ф., 2022