



Расчётная оценка стоимости транспортировки малотоннажного СПГ



Олег ТАРОВИК



Ольга МУДРОВА

*Таровик Олег Владимирович – Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург, Россия.
Мудрова Ольга Михайловна – Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота, Санкт-Петербург, Россия*.*

Спрос на малотоннажные перевозки СПГ требует совершенствования логистического обеспечения. Оценка стоимости всех звеньев логистической цепочки является важной составляющей решения задачи оптимизации транспортных расходов как для потребителей, так и для поставщиков СПГ. В связи с ужесточением экологических требований к бункерному топливу особую актуальность получает задача оптимизации поставок СПГ для водного транспорта по стоимости транспортировки.

Целью исследования является разработка универсального подхода к оценке стоимости транспортировки малотоннажного СПГ для бункеровки судов в России.

В основу методологии исследования положен аналитический метод на базе системно-структурного подхода.

В рамках реализации ведомственного проекта Минпромторга России «Развитие газотоплив-

ного флота для навигации в прибрежных водах и на внутренних водных путях» авторами разработаны технико-экономические модели расчёта удельной стоимости перевозки СПГ автомобильным и водным транспортом. Для расчёта удельной стоимости перевозки СПГ железнодорожным транспортом использованы данные информационно-справочной системы «ТМкарта».

На основе модельных расчётов и данных системы «ТМкарта» были получены регрессионные соотношения, позволяющие определить стоимость перевозок для различных вариантов транспортно-технологических схем исходя из ограниченного набора параметров. Также был предложен подход для оценки стоимости перевалки СПГ. Проведена апробация регрессионных соотношений на расчётных маршрутах. В результате были сформулированы выводы о наиболее эффективных вариантах транспортировки СПГ.

Ключевые слова: СПГ, логистика, транспорт, удельная стоимость перевозок, статьи затрат, танк-контейнер, цистерна, регрессионные соотношения, автомобильный транспорт, внутренний водный транспорт.

*Информация об авторах:

Таровик Олег Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник самостоятельного сектора проектирования морских систем освоения шельфа ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия, tarovik_oleg@mail.ru.

Мудрова Ольга Михайловна – кандидат технических наук, заведующий отделом развития морского транспорта АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота», Санкт-Петербург, Россия, MudrovaOM@cniimf.ru.

Статья поступила в редакцию 03.06.2019, актуализирована 10.09.2019, принята к публикации 12.10.2019.

For the English text of the article please see p. 148.

В последние годы в России уверенно растёт спрос на малотоннажные перевозки сжиженного природного газа (СПГ). Это обусловлено как увеличением количества потребителей, так и необходимостью ограничения выбросов вредных веществ в атмосферу. Перспективы использования СПГ связаны с его применением в качестве топлива для различных судов и городского транспорта, а также для получения тепла и электроэнергии в населённых пунктах и на производственных объектах. Так, согласно оценкам авторов статьи, прирост объёмов производства малотоннажного СПГ за период с 2014 по 2018 год составил 88,9 тыс. т. Согласно оценкам [1, с. 163], в течение ближайших 15 лет установленная мощность мини-заводов СПГ в России превысит 5 млн т, то есть возрастет в 35 раз по сравнению с уровнем 2017 года. Помимо экологических причин, рост потребления СПГ обусловлен такими факторами, как невысокая стоимость газа по сравнению с другими энергоносителями, экономичный расход, а также наличие отработанных отечественных технологий для его производства. Всё это способствует благоприятному прогнозу развития отечественного рынка малотоннажного СПГ [2, 3].

В настоящее время во многих регионах России не развита инфраструктура, необходимая для транспортировки и хранения малотоннажного СПГ, её создание должно производиться практически с нуля. Известно, что СПГ может перевозиться различными видами транспорта: автомобильным, железнодорожным и водным. Причём для каждого вида транспорта возможны два альтернативных способа доставки: наливом или в танк-контейнерах [4–6]. Отсутствие готовых инфраструктурных решений и широкий спектр потенциально возможных логистических схем перевозки СПГ приводит к актуальности постановки и решения задач об определении оптимального облика транспортной системы и обосновании мест размещения производств СПГ. Такие задачи относятся к области стратегического логистического планирования и решаются в рамках формальной математической постановки, позволяющей находить оптимальную

логистическую схему для каждого сценария изменения грузопотоков и расположения мест производства и потребления СПГ. Логистическая схема может включать несколько видов транспорта и предусматривать промежуточную перевалку сжиженного газа, если это окажется экономически целесообразным. Поэтому оценка стоимости перевозки СПГ на автомобильном, железнодорожном и водном транспорте наливом и в танк-контейнерах является одним из ключевых аспектов практической реализации алгоритмов стратегического планирования.

Получение таких оценок затруднено тем, что отечественный рынок перевозок малотоннажного СПГ ещё только формируется и натурные данные о стоимости транспортировки практически недоступны.

Целью исследования является разработка технико-экономических моделей для определения интегральной эффективности системы бункеровки судов газовым топливом с учётом затрат на его доставку до портов назначения альтернативными видами наземного транспорта.

Для получения расчётных оценок стоимости перевозки СПГ использовались технико-экономические *методы* и модели, учитывающие различные технические, организационные и экономические особенности, актуальную для России нормативную базу, а также множественность технико-эксплуатационных параметров.

1. ОБЩИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СТОИМОСТИ ПЕРЕВОЗОК СПГ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ТРАНСПОРТА

Для получения оценок стоимости перевозки малотоннажного СПГ на автомобильном и водном транспорте были созданы технико-экономические модели работы специализированного автотранспортного предприятия (САП) и специализированной судоходной компании (ССК), работающей на внутренних водных путях. Предполагается, что компании на постоянной основе осуществляют транспортировку СПГ наливом и в танк-контейнерах на выбранной линии. В качестве входных параметров каждой из моделей выступает грузопоток, дистан-



ция перевозок (пробег с грузом), а также комплекс технико-эксплуатационных и стоимостных параметров, позволяющих рассчитать суммарные затраты на транспортировку с учётом всех статей расходов. Особенности реализации этих моделей описаны далее. Для получения оценок стоимости перевозок СПГ на железнодорожном транспорте были использованы данные информационно-справочной системы «ТМкарта»¹, позволяющей выполнять расчёт провозной платы, взимаемой ОАО «РЖД» при перевозках по России, с учётом актуальной информации о транспортной и тарифной сети железных дорог, планов формирования грузовых поездов, единой тарифно-статистической и гармонизированной номенклатур грузов.

Однако прямое использование технико-экономических моделей в задачах логистического планирования достаточно неудобно, поскольку требует ввода и контроля большого количества локальных параметров и стоимостных показателей [7–11].

В случае с железнодорожными перевозками массовые запросы к системе «ТМкарта» существенно замедляют работу расчётных алгоритмов. Поэтому в настоящей работе на основе модельных расчётов и данных системы «ТМкарта» были получены регрессионные соотношения, позволяющие определить стоимость перевозок исходя из ограниченного набора параметров.

Для обеспечения актуальности создаваемых регрессионных зависимостей, которые включают стоимостные показатели на дату выполнения расчётов, структура этих зависимостей была сформирована таким образом, чтобы обеспечить возможность корректировки результатов на текущую дату с учётом инфляции, изменения цен на топливо, изменения стоимости транспортных средств и корректировки тарифов на железнодорожном транспорте.

Затраты C на перевозку СПГ для всех видов транспорта определяются по соотношению:

$$C = (c + c_t) \cdot t \cdot Q \cdot L_{\text{груз}}, \quad (1)$$

где c — удельная стоимость перевозок, руб./т • км;

c_t — удельная стоимость использования тары, руб./т • км;

Q — интенсивность перевозок, т/сут.;

$L_{\text{груз}}$ — дистанция с грузом (в одну сторону), км;

t — длительность периода перевозок, сут.

Удельная стоимость перевозок с определяется на основе регрессионных формул, при получении которых были приняты следующие диапазоны изменения грузопотока и дистанции:

$$20 < Q < 5000, \text{ т/сут.};$$

$$20 < L_{\text{груз}} < 2000, \text{ км.}$$

Необходимое для обеспечения интенсивности Q количество транспортных средств $N_{\text{тр}}$, а также требуемое количество единиц тары (танк-контейнеров или цистерн) $N_{\text{тары}}$ определяются по соотношениям:

$$N_{\text{тр}} = (Q \cdot T_{\text{круг}}) / (M_{\text{СПГ}} \cdot k_{\text{исп}});$$

$$N_{\text{тары}} = n_{\text{ед}} \cdot (N_{\text{тр}} + 2), \quad (2)$$

где $T_{\text{круг}}$ — длительность кругового рейса, сут.;

$M_{\text{СПГ}}$ — грузоподъёмность (по СПГ) транспортного средства (судна, газовеца или контейнеровоза, железнодорожного состава), т;

$n_{\text{ед}}$ — количество единиц тары на одном транспортном средстве, шт.;

$k_{\text{исп}}$ — коэффициент использования транспортных средств в ходе периода перевозок, определяемый режимом рабочего времени и временем отдыха водителей, необходимостью обслуживания транспортных средств и т.п. (для автотранспорта принимается $k_{\text{исп}} = 0,49$, для прочих $k_{\text{исп}} = 1,0$).

Число $N_{\text{тары}}$ в формуле (2) определяется, исходя из предположения о том, что и в точке назначения, и в точке отправления имеются дополнительные комплекты тары, с которыми выполняются грузовые операции во время движения транспортных средств.

При расчёте удельной стоимости перевозок принимались следующие допущения:

1. Для удобства учёта налогов, страховых взносов, пошлин и различных нормативов в моделях САП и ССК в качестве периода для определения удельной стоимости принят один год. Расчёт значения c выполняется путём деления годовых затрат на суммарное количество перевезён-

¹ [Электронный ресурс]: <http://www.tmkarta.com/ru/about/long.php>.

ного груза и пробег с грузом. Изменение длительности периода перевозок, которое в формуле (1) моделируется параметром t , не приводит к значимому изменению удельного показателя c .

2. Расчёты всех затрат выполнены в ценах октября 2018 года.

3. Поскольку организации, задействованные в цепочке поставок СПГ, как правило, являются крупными, они обязаны применять общую систему налогообложения и являются плательщиками НДС. Известно, что эти организации могут возмещать уплачиваемый (входящий) НДС от своих поставщиков. Поэтому при калькулировании себестоимости работ/услуг расходы по соответствующим статьям затрат учитываются с НДС. Привлечение кредитных средств не предполагается.

4. При транспортировке СПГ наливом на автомобильном и водном транспорте стоимость ёмкостей, в которых перевозится газ, учитывается в удельной стоимости перевозок c , поскольку такие ёмкости являются неотъемлемой частью транспортных средств. В случае же контейнерных перевозок стоимость контейнеров не включается в транспортные затраты, а учитывается в составе c_t .

5. При перевозке СПГ по железной дороге стоимость вагонов-цистерн и танк-контейнеров не учитывается в удельной стоимости перевозок c , а должна быть рассчитана отдельно как удельная стоимость тары c_t . Это обусловлено тем, что у ОАО «РЖД» в настоящее время практически отсутствуют собственные мощности по перевозке СПГ [1, с. 94].

6. При определении удельной стоимости перевозок характеристики транспортных средств не варьируются, то есть принимаются конкретные типы автоцистерн, танк-контейнеров и железнодорожных цистерн, которые являются наиболее распространёнными и доступными в современных условиях. В качестве судов-перевозчиков СПГ принимаются суда внутреннего плавания с максимальными измерениями, допустимыми по ограничениям единой глубоководной системы (ЕГС).

Для определения наиболее влияющих факторов в моделях САП и ССК был проведён анализ чувствительности каждой

модели, при котором переменные варьировались в характерном для них диапазоне. Переменные, которые оказывают наибольшее влияние, были включены в число параметров регрессионных формул для определения параметра c . Помимо затрат на перевозку далее приводятся сведения о длительности всех звеньев цепочки поставки газа, включая длительность грузовых операций.

Для сравнения всех возможных вариантов доставки малотоннажного СПГ необходимо оценить удельную стоимость использования тары c_t . Существует множество организационных схем владения грузовыми ёмкостями (покупка нового и бывшего в употреблении оборудования, аренда, лизинг), при которых затраты существенно различаются и рассчитываются по-разному. В настоящей работе применён упрощённый подход, в рамках которого при расчёте c_t учитываются только затраты на амортизацию и техническое обслуживание тары:

$$c_t = (k_{\text{обсл}} \cdot C_{\text{тары}} \cdot N_{\text{тары}}) / (T_{\text{сл}} \cdot T_{\text{эксп}} \cdot Q \cdot L_{\text{груз}}), \quad (3)$$

где $C_{\text{тары}}$ — стоимость единицы тары, руб.;

$T_{\text{сл}}$ — срок службы тары, лет;

$k_{\text{обсл}}$ — коэффициент, определяющий уровень годовых расходов на техническое обслуживание и ремонт грузовой ёмкости (для вагона-цистерны принимается $k_{\text{обсл}} = 1,05$, для танк-контейнеров $k_{\text{обсл}} = 1,07$);

$T_{\text{эксп}}$ — количество дней работы транспортных средств в течение года, на которые приходится амортизация тары, сут.

Далее при выполнении расчётов принимаются следующие допущения:

- стоимость танк-контейнера типа КЦМ 40/0,7 по данным производителя² составляет 9 952 000 руб.;

- стоимость вагона-цистерны 15–5106 принята путём корректировки данных [1, с. 94] на дату расчётов и составляет 17 700 000 руб.;

- $T_{\text{сл}} = 20$ лет; $T_{\text{эксп}} = 365$ сут. для железнодорожного транспорта, $T_{\text{эксп}} = 240$ сут. для автотранспорта и равняется периоду навигации ($T_{\text{н}}$) в случае водного транспорта;

- $N_{\text{тары}}$ определяется по формулам (2).

² [Электронный ресурс]: <http://www.cryont.ru/company/bas/store>.



Порядок расчёта расходов по статьям затрат для автомобильных перевозок СПГ

Статья затрат	Порядок расчёта
Заработная плата:	
– водители	средняя по региону для категории водительских прав С, СЕ по вакансиям, опубликованным на сайте www.avito.ru .
– административно-управленческий персонал	средняя по региону для необходимого перечня должностей по вакансиям, опубликованным на сайте www.avito.ru (численность принимается в диапазоне 10–15 % от числа водителей, но не менее четырёх человек).
Страховые взносы:	
– пенсионное, социальное и медицинское страхование	в соответствии с установленными тарифами и базой для начисления страховых взносов в 2018 году (ст. 425, 426 Налогового кодекса РФ).
– травматизм	в зависимости от класса профессионального риска страхователя, установленного в соответствии с ОКВЭД 249.41.1.
Топливо и смазочные материалы:	
– расход	в соответствии с Нормами расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте (распоряжение Минтранса РФ № АМ-23-р от 14.03.2008 г. в редакции от 14.07.2015 г.).
– цена дизельного топлива	средняя цена по региону по данным сайта www.benzin-price.ru .
– цена смазочных материалов	подбор марок смазочных материалов выполняется с помощью портала oil2.ru , исходя из технических характеристик тягача и цен на смазочные материалы по сайту www.auto.ru .
Техническое обслуживание (ТО) и эксплуатационный ремонт	по видам технического обслуживания согласно ГОСТ 21624-81, расходы приняты в размере 3 % от стоимости транспортных средств.
Износ и ремонт шин:	
– норма пробега шин	в соответствии с методикой РД 3112199-1085-02, утверждённой Минтрансом.
– цена шины	в зависимости от марки шин для тягачей и полуприцепов для всесезонных моделей по сайту www.auto.ru .
– стоимость шиномонтажа	скадывалась из расходов на снятие/установку, балансировку и утилизацию шин согласно прайсам, опубликованным на профильных сайтах.
Амортизация подвижного состава	в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 01.01.2002 г. № 1 (в ред. от 28.04.2018 г.) «О классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы» и ст. 259.1 2 части Налогового кодекса РФ.
Система «Платон»	в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.11.2015 г. № 1191 в ред. от 28.06.2018 г., п. 4, ст. 31.1 Федерального закона от 08.11.2007 г. № 257-ФЗ.
Прочие расходы	включают расходы на мойку, стоянку, оснащение, предрейсовые и послерейсовые технические осмотры и техосмотры для получения диагностической карты транспортных средств, полисы ОСАГО, пошлины за постановку транспортных средств на учёт, медосмотры и экипировку водителей, аренду офисов, обучение персонала, банковское обслуживание; приняты в размере 3 % от суммы расходов по основным статьям затрат.

2. АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

При моделировании перевозок СПГ автомобильным транспортом учитываются требования ДОПОГ (Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов [12]), Правил перевозок грузов автомобильным транспортом и ряда других нормативных документов и регламентов, обязывающих перевозчика

выполнять специальные требования по перевозке опасных грузов и нести соответствующие расходы. Получаемая расчётная сумма расходов корректируется на величину рентабельности деятельности автомобильного грузового транспорта, равную 4 % [13].

Время кругового рейса автопоезда определяется как функция от дистанции пере-

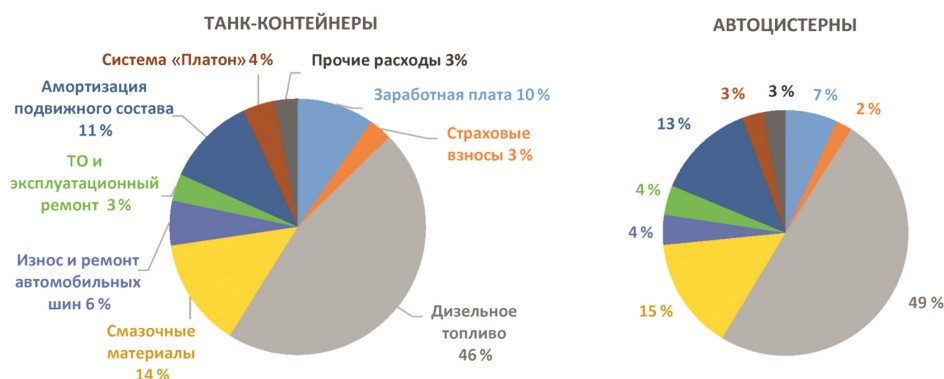


Рис. 1. Структура затрат автотранспортного предприятия при базовых условиях.

возок с использованием регрессионной зависимости, полученной на основе обработки 95 маршрутов с помощью сервиса «Яндекс.Карты». При этом учитывается максимальное время движения по кратчайшему маршруту без использования платных скоростных участков трасс и исходя из отсутствия пробок на маршруте и в местах погрузки/разгрузки. В длительности кругового рейса также учитывается продолжительность грузовых операций, однако она мала (до 2,5 часов) и не оказывает значимого влияния на результаты. При расчёте количества рейсов, выполняемых водителями за рабочую смену, выполняется проверка соблюдения требований, установленных Приказом Минтранса России от 20.08.2004 г. № 15, когда при суммированном учёте рабочего времени водителей время управления автомобилем одним водителем за неделю не может превышать 56 часов. Перевозки производятся круглогодично.

Поскольку в России при автомобильных перевозках СПГ наливом в основном используются автоцистерны объёмом около 50 м³, вмещающие до 20 т СПГ [14], в качестве цистерны был выбран газовоз GT7 СПГ ППЦТ-52³ грузоподъёмностью 18,14 т. Для контейнерной перевозки СПГ был выбран танк-контейнер КЦМ-40/0,7⁴ грузоподъёмностью 14,28 т, который соответствует размерам стандартного 40-футового контейнера. В соответствии с техническими характеристиками грузовых ёмко-

стей были подобраны модели седельного тягача и полуприцепа-контейнеровоза.

Основные источники данных, использованные нормативные документы и порядок расчёта по основным статьям затрат, представлены в табл. 1.

На рис. 1 представлено соотношение статей затрат на транспортировку для условий, которые далее именуется «базовыми» и определяются следующими параметрами: интенсивность перевозок — 500 т/сут., дистанция — 500 км, стоимость топлива — 48 руб./л, стоимость тягача/цистерны/полуприцепа — 7,5/8,66/2,35 млн руб. соответственно, одинаковый пробег с грузом и в порожнем состоянии, зарплата водителей/менеджеров — 64/52 тыс. руб. в месяц. Видно, что отличия структуры затрат на перевозку в автоцистернах и танк-контейнерах незначительны и определяются, главным образом, различиями в грузоподъёмности ёмкостей, числе водителей и стоимости подвижного состава.

Удельная стоимость перевозок при базовом сценарии для автоцистерн и танк-контейнеров составляет 7,6 и 6,9 руб./т • км без учёта НДС. При принятой грузоподъёмности автопоездов это эквивалентно 138 и 99 руб./км. Учёт стоимости танк-контейнеров на основе формул (2) и (3) не приводит к большому удорожанию перевозок, поскольку потребное число танк-контейнеров невелико. Так, при базовых условиях необходимо 47 танк-контейнеров. Это приводит к увеличению удельной стоимости перевозок с 6,9 до 7,3 руб./т • км ($c_t = 0,4$ руб./т • км) или до 104 руб./км.

Расчётные данные можно сравнить с имеющимися данными о стоимости пе-

³ [Электронный ресурс]: <http://gt7.ru/catalog-tr/transportirovshchiki-spg/spg-pptst-52/>.

⁴ [Электронный ресурс]: <http://www.cryont.ru/production/>.



Таблица 2

Регрессионные коэффициенты

Коэффициент	Танк-контейнеры	Автоцистерны
a_1	0,024	0,032
a_2	2,501	2,055
a_3	0,018	0,011
a_4	36,20	38,02
a_5	-0,486	-0,548
a_6	0,119	0,096
a_7	0,738	0,702
a_8	2,598	2,771

ревозок на автотранспорте. При этом необходимо отметить, что в зависимости (1) учитывается только пробег с грузом, тогда как традиционно тарифные ставки на автотранспорте включают также и порожний пробег. Учитывая, что в рассмотренном примере порожний пробег равен пробегу с грузом, разделим полученные значения на 2 и получим следующие оценки указанных ранее стоимостей: 69, 50 и 52 руб./км.

Эти значения можно сопоставить с прайсом компании ООО «ТрансАвтоЦистерна» [15], выполняющей перевозки в автоцистернах по цене от 50 руб./км, и данными портала «АвтоПравозащита.Ру» [16], где стоимость грузоперевозок тягачами оценивается в 55–155 руб./км, а стоимость перевозок обычных грузов автосоставами грузоподъемностью 20 т на большие дистанции варьируется от 30 до 57 руб./км. Сравнение полученных данных позволяет заключить, что перевозки СПГ находятся в верхней ценовой категории, но не выходят за диапазон значений, характерных для автотранспорта.

Далее был выполнен анализ чувствительности модели САП, который показал, что наибольшее влияние на величину c оказывают: дистанция перевозок (0,93), цена топлива (0,48) и доля порожнего пробега (0,33). В скобках указаны значения условного коэффициента, характеризующего степень влияния каждого фактора. Опираясь на эти данные, после выполнения серии массовых численных экспериментов с моделью САП, была получена следующая регрессионная зависимость для определения удельной стоимости перевозок на автотранспорте:

$$c_{\text{авто}} = k_p \cdot (c_{\text{гсм}} + c_{\text{пр}} \cdot k_{\text{ц}}), \quad (4)$$

где $c_{\text{гсм}}$ — удельные затраты на дизельное топливо и смазочные материалы;

$c_{\text{пр}}$ — прочие удельные затраты;

$k_{\text{ц}}$ — коэффициент индекса потребительских цен на товары и услуги, принимаемый по данным Федеральной службы государственной статистики [17], исходя из того, что настоящие расчётные показатели получены в октябре 2018 года;

$k_p = 1,04$ — коэффициент, учитывающий рентабельность перевозок.

Удельные затраты в формуле (4) определяются по следующим соотношениям:

$$c_{\text{гсм}} = a_1 \cdot (L_{\text{пор}}/L_{\text{груз}} + a_2) \cdot c_{\text{топл}}; \quad (5)$$

$$c_{\text{пр}} = [(a_3 \cdot Q + a_4)(L_{\text{груз}})^{a_5 \cdot Q^{a_6}} + a_7] \cdot (L_{\text{пор}}/L_{\text{груз}} + a_8), \quad (6)$$

где $L_{\text{пор}}$ — порожний пробег, км (принимается $L_{\text{груз}} \leq L_{\text{пор}} \leq 2 \cdot L_{\text{груз}}$);

$c_{\text{топл}}$ — стоимость топлива, руб./л (произвольный диапазон значений);

a_1 – a_8 — регрессионные коэффициенты, принимаемые по табл. 2.

Отметим, что при построении зависимостей (5) и (6) принимался следующий диапазон возможных цен на топливо: $40 < c_{\text{топл}} < 90$. Поскольку формула (5) аппроксимирована с нулевыми погрешностями, что объясняется линейностью модели для определения расходов на топливо, в практических расчётах цена топлива может принимать значения от 0 до 1000 руб./л, не приводя к росту погрешностей зависимости (5). Отметим, что в стоимости перевозок, определяемой по формуле (6), не учитывается стоимость контейнерного парка.

Длительность кругового рейса $T_{\text{авто}}$ с учётом длительности грузовых операций составляет:

$$T_{\text{авто}} = 0,0127 \cdot (L_{\text{груз}} + L_{\text{пор}}) + 2,5, \text{ час.} \quad (7)$$

Стандартное отклонение (S) зависимости составляет 0,8 часа, коэффициент детерминации (R^2) равен 0,989, что говорит о высокой степени адекватности линейной модели. Средняя относительная ошибка аппроксимации (A) составляет 8 %, снижаясь с 25–40 % при коротких рейсах (менее 100 км) до 1–3 % при дальних дистанциях (более 1000 км).

Для анализа погрешностей регрессионной формулы (4) по сравнению с расчётами по технико-экономической модели САП был применён следующий подход.

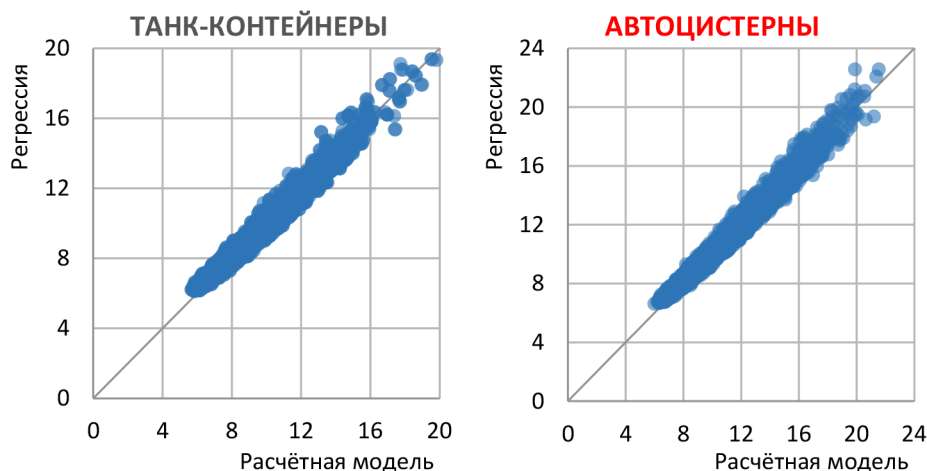


Рис. 2. Соответствие регрессионных значений и результатов расчётной модели САП.

Выполнялся массовый численный эксперимент (30 000 прогонов), в ходе которого на вход модели каждый раз подавался набор всех её параметров, причём каждый параметр был случайным образом выбран из допустимого диапазона значений. Границы диапазонов определялись на основе характерного для текущего времени размаха варьирования различных стоимостных показателей, например, стоимость тягача изменялась от 6,0 до 9,0 млн руб., цена шины — от 18 до 27 тыс. руб., зарплата водителя — от 50 до 80 тыс. руб. в месяц. Параметры регрессионной модели задавались случайным образом наряду с другими параметрами модели. Такой подход обеспечивает комплексную проверку адекватности регрессионной модели и степень учёта ею влияния различных факторов. Полученная картина соответствия регрессионных и модельных значений показана на рис. 2.

Полученные параметры точности регрессионной модели (4) свидетельствуют о её пригодности для выполнения практических расчётов:

- танк-контейнеры $S=0,271$ руб./т • км, $A=2,3\%$, $R^2=0,977$;
- автоцистерны $S=0,275$ руб./т • км, $A=2,1\%$, $R^2=0,983$.

3. ВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ

В основу расчётной модели ССК положена методика АО «ЦНИИМФ» [18], но при этом учтена специфика перевозимого груза и повышенные требования к безопас-

ности, квалификации персонала, техническому оснащению судна и т.п. Логика расчётов затрат при работе судна на линии аналогична логике, используемой в модели САП: вначале определяются суммарные годовые затраты (в навигационный и межнавигационный периоды), затем выполняется их корректировка на величину рентабельности и рассчитывается удельный показатель с.

В качестве расчётных судов для перевозки СПГ были выбраны суда с максимальными размерами по ограничениям ЕГС, так как такие суда будут иметь наибольшую экономическую эффективность. Поскольку построенных газовозов СПГ для работы на внутренних водных путях (ВВП) в настоящее время не существует, для перевозки наливом был принят проект газовоза вместимостью 7100 м³ (100 %), способный перевозить 2500 т СПГ. Основные характеристики судна были получены с использованием данных по газовозу проекта 23070 для перевозки сжиженного нефтяного газа [19]. Стоимость подобного газовоза СПГ оценивается в 32 млн долл. В качестве расчётного судна для контейнерных перевозок было выбрано универсальное судно с характеристиками, близкими к проекту RSD19 [20]. Его стоимость оценивается в 18 млн долл. Поскольку перевозка СПГ-контейнеров возможна только на открытой палубе [21], загрузка судна составляет всего 35 контейнеров типа КЦМ-40/0,7, вмещающих 500 т СПГ, что существенно ухудшает экономические



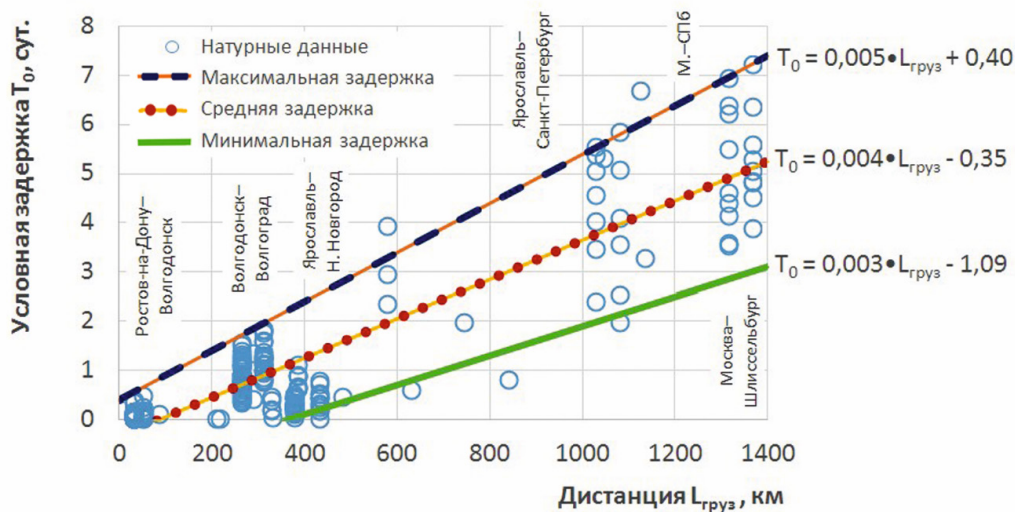


Рис. 3. Условная задержка судна в рейсе при движении по ЕГС.

показатели такой транспортной схемы. Для определённости при расчётах стоимости доставки контейнеров водным транспортом не учитывалась возможность перевозки попутных грузов в трюмах судна.

Важной особенностью эксплуатационной модели судна-газовоза является то, что время рейса рассчитывается не по предопределённой формуле, а является параметром, который может варьироваться. Это обусловлено тем, что задержка судна на ВВП, вызванная шлюзованием, различными навигационными ограничениями и метеоусловиями, сильно зависит от региона перевозок и оказывает существенное влияние на экономическую эффективность всей системы, поэтому должна учитываться отдельно. Для этого в модели полагается, что судно движется по ВВП с наибольшей эксплуатационной скоростью, характерной для реальных рейсов, а прочее время находится в режиме ожидания (простоя). Для получения оценок длительности реальных рейсов судов на ЕГС был выполнен анализ данных АИС-мониторинга движения 14 судов смешанного плавания, совершавших в 2018 году рейсы между 22 портами, расположенными на водных путях от Азова до Санкт-Петербурга (всего 260 рейсов). Данные были приобретены у компании Marinetransport⁵. В ходе

анализа определялось время между сигналами о выходе из одного порта и прибытием в другой порт. Затем из полученного времени вычиталось условное ходовое время, определённое в предположении, что судно движется с максимальной средней рейсовой скоростью, которая, согласно имеющимся данным, составляет 18 км/ч. Полученная условная задержка судна в рейсе показана на рис. 3 как функция от расстояния между портами (некоторые маршруты подписаны). На рисунке также приведены параметры линейной функции, характеризующей максимальную расчётную задержку, среднюю задержку в рейсе и наименьшие натурные значения задержки.

Средняя длительность кругового рейса судна $T_{\text{водн}}$ при принятом условии равенства дистанций с грузом и в балласте ($L_{\text{груз}} = L_{\text{порт}}$) может быть определена по выражению:

$T_{\text{водн}} = 2 \cdot (L_{\text{груз}} / 18 + T_{\text{порт}} + 24 \cdot T_0)$, час, (8)
где T_0 — средняя длительность условной задержки судна (движение в одну сторону), сут.;

$T_{\text{порт}}$ — средняя длительность операций в одном порту, учитывающая погрузочно-разгрузочные работы и вспомогательные операции, час.

В качестве средних значений в модели принято: $T_{\text{порт}} = 5,8$ ч. — для танк-контейнеров, $T_{\text{порт}} = 9,3$ ч. — для судовых танков.

Необходимо отметить, что представленная схема расчёта $T_{\text{водн}}$ является доста-

⁵ [Электронный ресурс]: <https://www.marinetraffic.com>.

**Порядок расчёта расходов по статьям затрат для перевозок
СПГ на внутреннем водном транспорте**

Статья затрат	Порядок расчёта
Содержание экипажа:	
– заработная плата	ФОТ формируется в соответствии с рекомендациями Международной Федерации работников транспорта на основании действующего в настоящее время Договора общей стоимости экипажа.
– рацион питания	Оценивается на базе Постановления Правительства РФ от 07.12.2001 г. № 861 «О рационах питания экипажей морских, речных и воздушных судов» и Приказа Минтранса России от 30.09.2002 г. № 122 «О порядке обеспечения питанием экипажей морских, речных и воздушных судов».
Страховые взносы	0 % до 2027 года согласно пп. 4, п. 1–2, ст. 427 Налогового кодекса РФ.
Топливо и смазочные материалы:	
– расход топлива	Рассчитывается в зависимости от СЭУ и режимов работы судна (на ходу, на стоянке с грузовыми операциями или без них).
– цена топлива	Определяется на основе данных информационно-аналитических изданий в базовом порту.
– цена смазочных материалов	4 % от соответствующих расходов на топливо.
Техническая эксплуатация:	
– материалы и снабжение	0,1 % от стоимости судна.
– текущий ремонт	0,25 % от стоимости судна.
– средний ремонт	3 % от стоимости судна (ремонт выполняется 1 раз в 5 лет).
Страхование	Нормативная ставка расходов на страхование определяется в процентах от стоимости судна в год статистическим методом по базе данных страховых компаний.
Амортизация	В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 01.01.2002 г. № 1 (в ред. от 28.04.2018 г.) «О классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы» и ст. 259.1 2 части Налогового кодекса РФ.
Прочие расходы	Включают расходы на радиосвязь и навигацию, банковское обслуживание, охрану труда и технику безопасности, подготовку профессиональных кадров; приняты в размере 5 % от суммы постоянных затрат.
Межнавигационные расходы	Определяются расходами на содержание экипажа и топливными расходами на стоянке без ГО.
Регистрация и ежегодное подтверждение регистрации в РМРС	Регламентируются п. 1, пп. 108–109 Налогового кодекса РФ.

точно условной. В частности, средняя скорость движения судна по реке существенно отличается от скорости в 18 км/ч, которая достигается только на участках рек без шлюзов или на водохранилищах. По результатам обработки около 10 тыс. значений мгновенной скорости судна, находящегося в режиме движения в произвольных точках ЕГС, было установлено, что средняя мгновенная скорость составляет 11,5 км/ч, стандартное отклонение $S = 3,2$ км/ч. Однако для обеспечения

возможности моделирования «быстрой» доставки СПГ в модели принимается скорость движения 18 км/ч. Кроме этого, согласно натурным данным, среднерейсовые скорости по течению и против течения различаются на 0,8–1,2 км/ч. Однако поскольку судно, работая на линии, движется как в прямом, так и обратном направлениях, этой разницей было решено пренебречь.

Основные источники данных, использованные нормативные документы и поря-



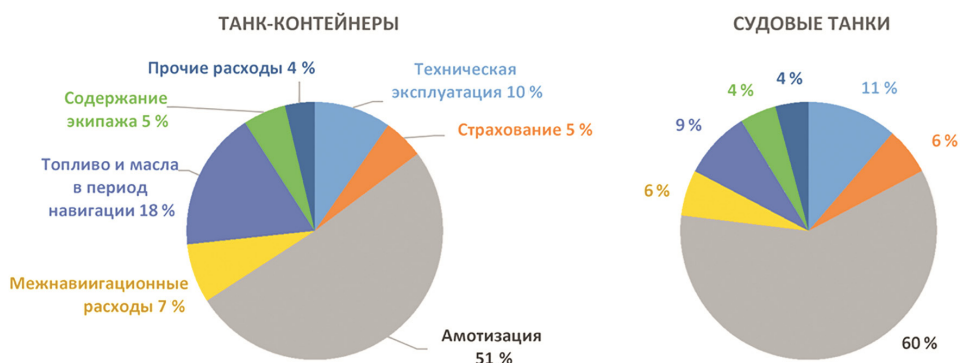


Рис. 4. Структура затрат на содержание судов при перевозке СПГ.

док расчёта расходов по статьям затрат представлены в табл. 3.

На рис. 4 показано соотношение статей затрат при базовых условиях: дистанция — 500 км, задержка на линии (в одну сторону) — 1,65 сут., стоимость топлива — 25 тыс. руб./т, длительность периода навигации — 215 сут., цена газове/контейнерове составляет 2050/1100 млн руб., средняя зарплата командного/рядового состава равна 80/38 тыс. руб. в месяц, численность экипажа на газове/контейнерове составляет 16/12 человек. Как видно, основные отличия в структуре затрат обусловлены количеством судов и разницей в их стоимости, что определяет размер затрат на топливо и амортизацию судов.

Удельная стоимость перевозок при базовых условиях составляет 12,7 руб./т • км для танк-контейнеров (без учёта их стоимости) и 4,2 руб./т • км для наливного способа перевозки. Если в случае автомобильного транспорта стоимость контейнерного парка практически не сказывается на стоимости перевозок, поскольку из-за высокой скорости доставки число контейнеров невелико, то в случае водного транспорта учёт этого фактора приводит к существенному удорожанию. Так, при базовых условиях необходимы 283 контейнера, что приводит к росту удельной стоимости перевозок на 2,8 руб./т • км (с 12,7 до 15,5 руб./т • км).

Анализ чувствительности модели ССК выполнялся аналогично модели САП. Было выявлено, что доминирующее влияние на удельную стоимость c оказывает дистанция перевозок (6,58). Другими сильно влияющими факторами является задержка судна на линии (0,68), длительность

навигации (0,39), цена судна (0,30) и стоимость топлива (0,17). Интенсивность перевозок не оказывает никакого влияния, то есть абсолютные затраты, прямо пропорциональны объёму перевозок. Это связано с тем, что все затраты, кроме затрат на топливо, в модели ССК принимаются в долях от стоимости судна. Существенное влияние длительности периода навигации обусловлено тем, что полезная работа судна происходит только в навигацию, соответственно все годовые затраты должны быть компенсированы именно в этот период. Опираясь на этот анализ, структура регрессионной зависимости была подобрана таким образом, чтобы учесть два основных ценообразующих фактора — стоимость судна и цену топлива и не вводить никакие другие параметры, учитывающие инфляцию. Удельная стоимость перевозок СПГ водным транспортом определяется по соотношению:

$$c_{\text{водн}} = k_p \cdot (c_{\text{гсм}} + c_{\text{пр}}), \quad (9)$$

где $c_{\text{гсм}}$ — удельные затраты на топливо и смазочные материалы;

$c_{\text{пр}}$ — прочие удельные затраты;

$k_p = 1,035$ — коэффициент, учитывающий рентабельность перевозок.

Составляющие стоимости в формуле (9) определяются по следующим соотношениям:

$$c_{\text{гсм}} = [(T_0 + b_1)/L_{\text{груз}} + b_2] \cdot c_{\text{топл}}; \quad (10)$$

$$c_{\text{пр}} = b_3 \cdot [(b_4 - T_n^{b_5}) \cdot (c_c + b_6) \cdot (T_0 + b_7) / L_{\text{груз}} + (T_0 + 1)^{b_8} + b_9 \cdot c_c], \quad (11)$$

где T_n — длительность навигации, принимаемая в диапазоне от 180 до 365 сут.;

T_0 изменяется в диапазоне от 0 до $T_{0\text{max}} = 0,005 \cdot L_{\text{груз}} + 0,4$;

$L_{\text{груз}}$ — дистанция перевозок (рейс судна с грузом), км;

$c_{\text{топл}}$ — стоимость топлива, тыс. руб./т (произвольный диапазон значений);

c_c — стоимость судна, млн руб. (произвольный диапазон значений);

b_1-b_9 — регрессионные коэффициенты, принимаемые по табл. 4.

В модели принималось, что дистанция плавания судна в балласте равна дистанции с грузом. Анализ погрешностей регрессионной формулы (9) выполнялся так же, как и для модели САП. Диапазоны варьирования различных показателей следующие: стоимость газовоза 1630–2400 млн руб., стоимость контейнеровоза 890–1200 млн руб., зарплата командного состава 1200–1800 долл. в месяц, рядового состава — 450–900 долл. в месяц, курс доллара 50–100 руб./долл.; длительность навигации 180–365 дней.

Соответствие регрессионных и модельных значений показано на рис. 5, который демонстрирует достаточно высокую точность регрессионной модели, имеющей следующие показатели:

- танк-контейнеры $S = 0,538$ руб./т • км, $A = 4,2\%$, $R^2 = 0,985$;
- судовые танки $S = 0,256$ руб./т • км, $A = 5,0\%$, $R^2 = 0,980$.

4. ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

Для получения значений удельной стоимости доставки СПГ железнодорожным транспортом были использованы данные системы «ТМкарта». Опираясь на заданные

Таблица 4

Регрессионные коэффициенты

Коэффициент	Танк-контейнеры	Судовые цистерны
b_1	2,0638	0,7639
b_2	0,0773	0,0091
b_3	1,3957	0,4726
b_4	5,5701	3,8432
b_5	0,2808	0,2180
b_6	157,35	130,01
b_7	0,2206	0,3704
b_8	-0,0861	-0,1063
b_9	0,0014	0,0008

в формуле (1) диапазоны изменения дистанции и интенсивности перевозок, была сформирована расчётная матрица, включающая 44 маршрута и 21 значение суточной интенсивности перевозок. Маршруты выбирались таким образом, чтобы обеспечить изменение дистанции с шагом в 50 км, причём география перевозок охватывала всю европейскую часть России. Интенсивность перевозок также изменялась с постоянным шагом в 250 т/сут. Далее для каждого сочетания маршрута и грузопотока определялись значения тарифной ставки и времени движения для наливных и контейнерных перевозок на малой (грузовой) и большей скоростях.

Плата за перевозку грузов по железной дороге исчисляется за расстояние, определяемое в соответствии с Тарифным руководством № 4, поэтому $L_{\text{груз}}$ принимается равным тарифному расстоянию. Тарифы на перевозку по железной дороге включают плату за пробег гружёных и порожних вагонов с локомотивом и стоимость услуг по

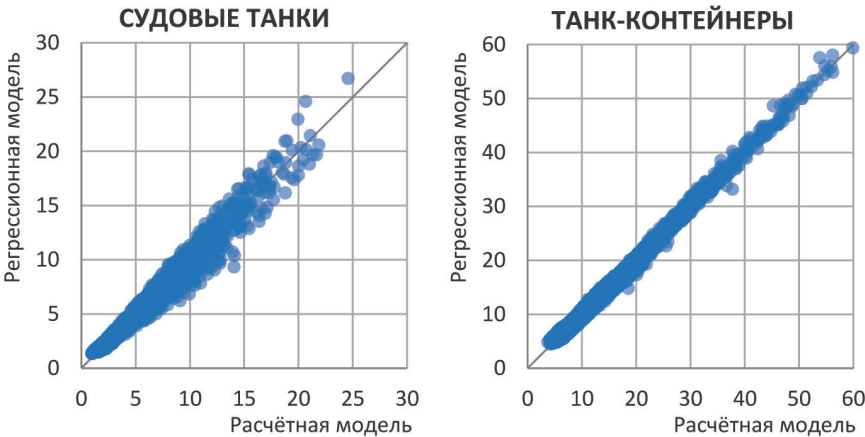


Рис. 5. Соответствие регрессионных значений и результатов расчётной модели ССК.



Таблица 6

Регрессионные коэффициенты

Коэффициент	Танк-контейнеры	Цистерны
e_1	0,1222	0,0454
e_2	0	-64,302
e_3	0	-1,0307
e_4	-7,0141	0,0071
e_5	0,0495	-1,0231
e_6	244,02	106,70
e_7	-0,8709	-0,6673
e_8	0	0,0016
e_9	-16,303	-20,309
e_{10}	0,0347	0,0093
e_{11}	18,811	21,981

использованию инфраструктуры ОАО «РЖД», тогда как плата за грузовые операции должна рассчитываться отдельно. В качестве подвижного состава в расчётах были использованы вагон-цистерна для перевозки СПГ и этилена модели 15–5106 грузоподъёмностью 23,56 т (наливные перевозки), а также четырёхосная фитинговая платформа для перевозки большегрузных контейнеров и контейнер-цистерна модели КЦМ-40/0,7 (контейнерные перевозки). Габариты и посадочные размеры КЦМ-40/0,7 позволяют перевозить по два гружёных танк-контейнера на одной платформе [22, 23]. Количество вагонов в железнодорожном составе принято равным 75, то есть один состав перевозит либо 75 вагонов-

цистерн, либо 150 танк-контейнеров СПГ. Принадлежность платформы указывалась в системе «ТМкарта» как «общий парк», а вагонов-цистерн и танк-контейнеров – как «собственный парк», то есть ни цистерны, ни контейнеры не учитываются в стоимости перевозок.

Анализ полученных данных показал, что факторами, определяющими стоимость перевозок, являются три параметра: грузопоток, дистанция и срочность доставки. Это позволило сформировать следующие зависимости для определения удельной стоимости перевозок СПГ:

$$c_{ж.д.} = k_{бс} \cdot \left[e_1 \cdot Q^{e_2} \cdot L_{груз}^{e_3} / \left((L_{груз}^{e_4} + e_5) + e_6 \cdot L_{груз}^{e_7} \right) \right], \quad (12)$$

где $k_{бс}$ – коэффициент скорости доставки, определяемый по соотношению:

$$k_{бс} = \begin{cases} 1, & \text{малая скорость;} \\ e_8 \cdot \ln(Q) + e_9 \cdot \ln(L_{груз})^{e_{10}} + e_{11}, & \text{большая скорость;} \end{cases}$$

a_1 – a_9 – регрессионные коэффициенты, принимаемые по табл. 6.

Несмотря на случайный характер выбора расчётных маршрутов на территории России, удельная стоимость перевозок аппроксимируется с достаточно высокой точностью, что говорит о стабильности удельного показателя в целом. Показатели точности регрессионной модели (12) следующие:

• танк-контейнеры $S = 0,089$ руб./т • км, $A = 1,4 \%$, $R^2 = 0,999$;

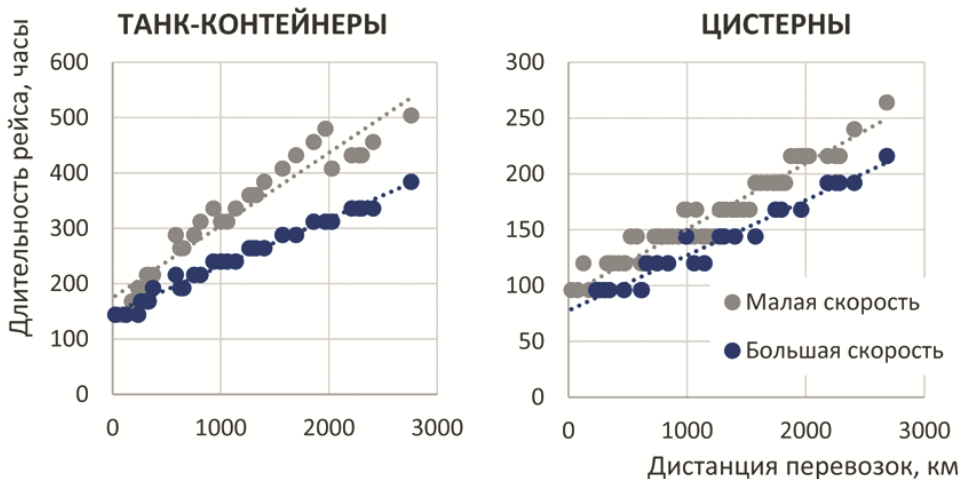


Рис. 6. Длительность перевозки по расчётным маршрутам железной дороги.

Таблица 7

Параметры зависимости для определения длительности перевозок по железной дороге

Параметр	Танк-контейнеры		Цистерны	
	Малая скорость	Большая скорость	Малая скорость	Большая скорость
f_1	0,131	0,085	0,059	0,049
f_2	174	147	92	78
S , часы	28,6	9,5	10,1	7,8
A , %	8,5 %	3,6 %	5,7 %	5,0 %
R^2	0,927	0,979	0,938	0,958

• цистерны $S = 0,170$ руб./т • км, $A = 3,4$ %, $R^2 = 0,997$.

Полученная формула для определения $c_{ж.д.}$ не учитывает влияние инфляционных процессов, поэтому актуализацию получаемых значений на конкретную дату перевозок следует выполнять путём выборочного обновления сведений по расчётным рейсам и корректировки тарифов на соответствующую изменениям величину. Например, с мая по октябрь 2018 года железнодорожный тариф на перевозку газов углеводородных сжиженных (ЕТСНГ 226074) снизился на 3,4 %.

Важным аспектом перевозок по железной дороге является их длительность — $T_{ж.д.}$. При нормировании железнодорожных перевозок срок доставки принимается кратным одним суткам (см. рис. 6), однако для решения расчётных задач удобнее использовать гладкие аппроксимации. В частности, в настоящей работе была использована линейная модель и предполагалось, что длительность возврата порожней тары равна длительности перевозки гружёной:

$$T_{ж.д.} = 2 \cdot (f_1 \cdot L_{груз} + f_2), \text{ час}, \quad (13)$$

где f_1, f_2 — регрессионные коэффициенты, принимаемые по табл. 7.

В таблице 7 также приведены показатели, характеризующие точность зависимости (13) и свидетельствующие о её применимости для решения исследовательских задач. Следует обратить внимание, что длительность доставки танк-контейнеров в два раза превосходит длительность доставки цистерн, что может быть обусловлено особенностями формирования составов различного типа. Зависимость (13) не учитывает длительность грузовых операций, которая, однако, оказывается существенно меньше, чем длительность перевозки, поэтому может не учитываться.

Из таблицы 6 видно, что железнодорожный тариф контейнерных перевозок не зависит от грузопотока, тогда как при перевозке в цистернах такая зависимость существует. При дистанции 500 км, грузопотоке 500 т/сут. и малой скорости доставки удельная стоимость c составляет 2,8 и 3,6 руб./т • км для перевозок в цистернах и танк-контейнерах соответственно. Однако стоимость использования тары очень существенно корректирует итоговую стоимость доставки, увеличивая её более чем вдвое. Так, при указанных условиях необходимо 365 вагонов-цистерн или 998 танк-контейнеров, при этом c_t составляет 3,7 и 5,8 руб./т • км соответственно. Коэффициент срочности доставки при перевозках в цистернах изменяется в диапазоне от 1,293 до 1,463, а при контейнерных перевозках — от 1,337 до 1,839. Применение ускоренной доставки во всех случаях оказывается нецелесообразным с точки зрения общей стоимости перевозок, поскольку снижение затрат на тару при увеличении скорости доставки не компенсирует рост тарифа на перевозку. Например, удельная стоимость доставки с учётом расходов на тару (дистанция — 500 км, грузопоток — 500 т/сут.) при малой/большой скорости доставки составляет 6,5/7,0 руб./т • км для цистерн и 9,4/10,1 руб./т • км для танк-контейнеров соответственно.

5. СТОИМОСТЬ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ

Для получения всех стоимостных составляющих интермодальной логистической схемы перевозки СПГ была выполнена оценка стоимости грузовых операций с контейнерами и железнодорожными цистернами.

Для определения стоимости перевалки цистерн использовались положения



Договора о Международном железнодорожном транзитном тарифе [24], подписанного Россией. В соответствии с разделом III «Дополнительные сборы и платы» сбор за перегрузку наливных грузов, перевозимых в цистернах, на 1 января 2018 года составлял 1,2 швейцарских франка за 100 кг или 19 827 руб. за перевалку расчётной цистерны, то есть 842 руб./т. Авторы [1] определили цену перевалки СПГ в цистерны и из цистерн в Байкальском регионе на начало 2017 г. как 919 руб./т, что позволяет оценить расчётные значения стоимости перевалки железнодорожных цистерн как адекватные.

Грузовые операции при контейнерном способе перевозки СПГ можно разделить на:

- а) операции, выполняемые спецтехникой при погрузке контейнеров на СПГ-заводах;
- б) операции, выполняемые силами и средствами железной дороги;
- в) операции, выполняемые в портах.

Грузовые операции, выполняемые на железной дороге, рассчитаны по ставкам сборов таблицы № 4 Тарифного руководства № 3. Для контейнеров с массой брутто свыше 30 т сбор составляет 160 руб. за контейнеро-операцию, сбор за операции с порожними контейнерами взимается с коэффициентом 0,75. В случае перевалки СПГ-контейнеров между железнодорожным и автотранспортом на один контейнер приходится две контейнеро-операции, а в случае, если порожний контейнер меняется на полный — четыре контейнеро-операции.

Анализ тарифов на перевалку контейнеров в речных портах и тарифов на перевалку контейнеров в каботаже в морских портах России⁶ показал значительный разброс стоимости данных услуг. Например, стоимость перевалки по схеме «транспортное средство—склад—транспортное сред-

ство» для гружёных 40-футовых контейнеров составляет 8 350—12 480 руб./конт., для порожних составляет 4 280—9 110 руб./конт. Кроме того, точные значения тарифов на перевалку груза являются предметом коммерческой тайны оператора порта и грузовладельца. В зависимости от объёма перевалки груза и срока договора могут применяться различные скидки на оказание услуг, достигающие 50 %. При перевалке опасных грузов предусмотрено увеличение базовых тарифов. Хранение грузов сверх нормативного срока оплачивается отдельно. Поэтому для оценки стоимости грузовых операций $C_{го}$ в портах с $N_{ед}$ контейнерами был использован следующий упрощённый подход:

$$C_{го} = c_{пор} \cdot N_{ед} \cdot P_{пор}, \quad (14)$$

где $P_{пор}$ — производительность контейнерного погрузчика соответствующей грузоподъёмности, конт./сут.;

$c_{пор}$ — стоимость аренды контейнерного погрузчика, руб./сут.

По данным порталов аренды строительной техники стоимость аренды контейнерного погрузчика составляет от 1400 до 3000 руб./час. При аренде погрузчика с водителем стоимость аренды повышается. Формула (14) может быть использована также для оценки стоимости грузовых операций, выполняемых спецтехникой при погрузке контейнеров на СПГ-заводах.

6. СРАВНЕНИЕ СТОИМОСТИ ПЕРЕВОЗОК РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ТРАНСПОРТА

Визуализация полученных регрессионных формул для определения удельной стоимости перевозок всеми видами транспорта выполнена на рис. 7, где стоимость приведена как функция от дистанции и грузопотока, при этом учтены как затраты на транспортировку, так и расходы на приобретение и содержание тары. Для автотранспорта приняты следующие значения параметров регрессионных формул:

$$L_{пор} = L_{груз}, k_c = 1, c_{топл} = 48 \text{ руб./л.}$$

Для водного транспорта принято: $T_n = 215$ сут, $T_0 = 0,004 \cdot L_{груз}$, $c_{топл} = 25$ тыс. руб./т, стоимость газовоза/контейнеровоза c_c составляет 2050/1100 млн руб. соответственно. При перевозке по железной дороге принято, что доставка произ-

⁶ [Электронные ресурсы]: <http://www.seaport.spb.ru/article/22>;
http://terminals.spb.ru/o_kompanii/raskritie_informacii;
<http://www.fct.ru/disclosure>; <http://ulct.ru/disclosure>,
<http://bscbalt.ru/index.php?id=10#.W450r8J9iUk>;
http://www.nle.ru/for_clients/cargo_tarifs;
<http://rostovport.ru/klientam/uslugi>;
<http://www.arprnet.ru>;
<http://yarport.com/uslugi/pogruzochno-razgruzochnye-raboty.php>.

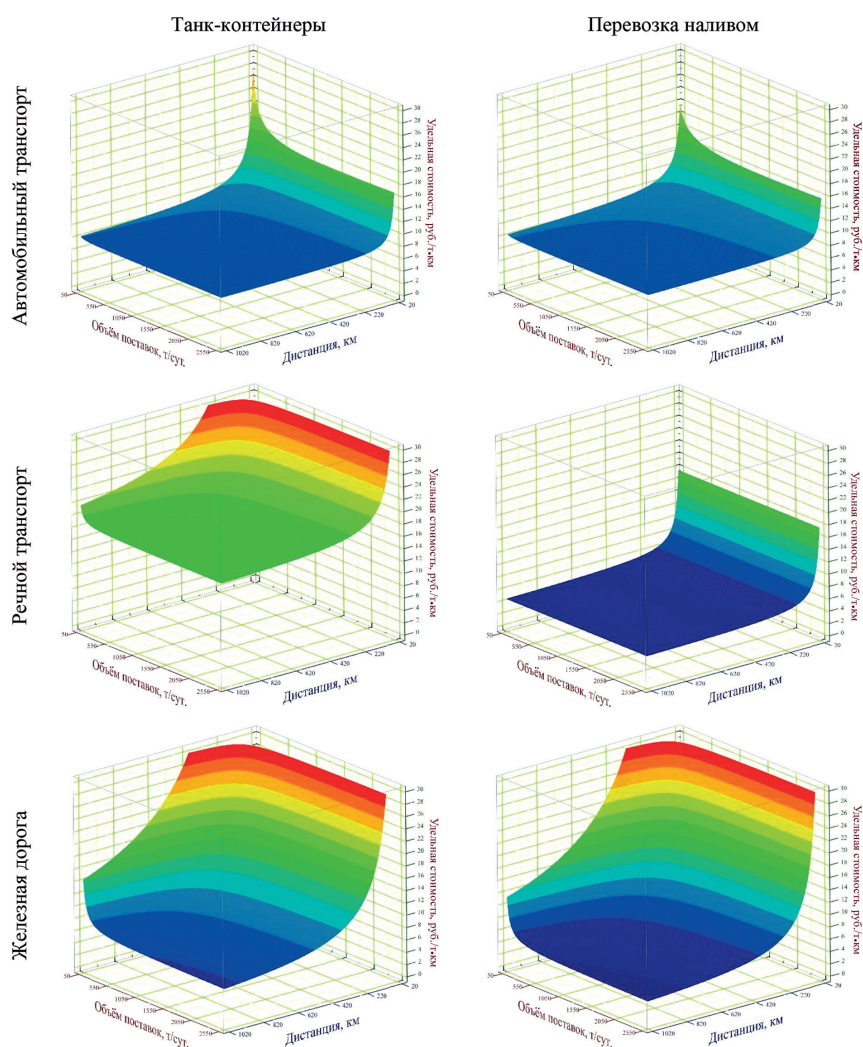


Рис. 7. Характерный вид зависимостей удельной стоимости перевозок (с учётом тары) от дистанции и объёма поставок.

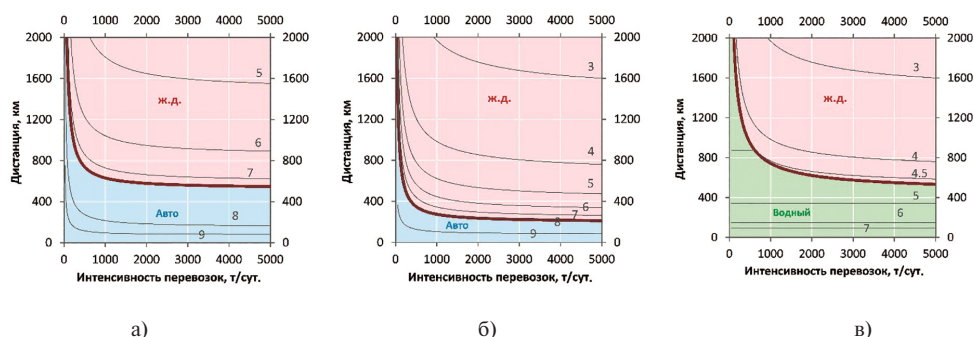


Рис. 8. Области на плоскости «дистанция–интенсивность перевозок», в которых наиболее эффективно использование различных видов транспорта: а – перевозка в танк-контейнерах для пары «автотранспорт–железная дорога»; б – перевозка наливом для пары «автотранспорт–железная дорога»; в – перевозка наливом для пары «водный транспорт–железная дорога». Цифрами на графиках показаны линии равной удельной стоимости перевозок с учётом затрат на использование тары.



водится на малой скорости, поскольку это позволяет снизить общие затраты. Стоимость грузовых операций не учитывается, так как она зависит от логистической схемы, особенностей перевалочных комплексов, и в некоторых случаях может включаться либо в стоимость инфраструктуры, либо в затраты на транспортировку. На рис. 8 показаны области на плоскости «дистанция—грузопоток», в которых наиболее эффективно использование различных видов транспорта из следующих пар: «автотранспорт—железная дорога» при перевозках в контейнерах; «автотранспорт—железная дорога» при перевозках наливом; «водный транспорт—железная дорога» при перевозках наливом.

Представленные графики позволяют сделать несколько *выводов*.

Наименьшую стоимость при высоком грузопотоке и доставке на большие дистанции обеспечивают железнодорожные перевозки в цистернах, однако они имеют большую длительность: средняя скорость доставки даже на высокой скорости не превышает 10–12 км/ч. Стоимость доставки контейнеров по железной дороге оказывается существенно выше, а срок доставки — ещё более длительным (средняя скорость не превосходит 7 км/ч). Если при сопоставлении учесть не только затраты на транспортировку и использование тары, но и затраты, связанные с потерями СПГ от испарения, то низкая скорость доставки существенно ухудшит показатели железнодорожного транспорта. Однако представляется, что и в этом случае при дистанции свыше 800 км и грузопотоке более 1000 т/сут. железнодорожный транспорт будет обеспечивать наилучшие экономические показатели.

Перевозки СПГ судами-газовозами оказываются дешевле, чем перевозки в автоцистернах (за исключением очень коротких дистанций, протяжённостью менее 20–30 км), но уступают по своей эффективности перевозкам по железной дороге при больших дистанциях и грузопотоках. Отметим, что водный транспорт традиционно дешевле, чем железнодорожный, но в данном случае его показатели существенно ухудшаются ограни-

ченным периодом навигации и большой продолжительностью рейса по ЕГС. В случае перевозки СПГ наливом на короткие дистанции, когда задержки в рейсе минимальны, водный транспорт оказывается эффективнее железнодорожного, а в случае, если задержки в рейсе полностью отсутствуют — превосходит железнодорожный при всех сочетаниях дистанции и грузопотока, даже в условиях ограниченной навигации. Контейнерные перевозки по воде характеризуются наибольшими стоимостями и могут быть исключены из дальнейшего рассмотрения. Это вызвано, главным образом, малой провозной способностью судов из-за невозможности перевозить СПГ-контейнеры в трюмах, а также тем, что длительная доставка вынуждает иметь очень большой парк контейнеров, увеличивая затраты на содержание тары. Одним из достоинств перевозки СПГ на судах-газовозах является отсутствие потерь газа из-за испарения, что исключает дополнительные затраты от этого фактора. Однако перевозки по ЕГС являются сезонными, поэтому область применения речного транспорта для транспортировки малотоннажного СПГ представляется весьма ограниченной.

Автомобильные перевозки на больших дистанциях уступают по своей эффективности другим видам транспорта, однако на коротких дистанциях (даже при высоком грузопотоке) они оказываются сопоставимы с перевозками по реке, а также превосходят перевозки по железной дороге в большем диапазоне дистанций и грузопотоков. Это вызвано, главным образом, высокой скоростью доставки. Если при сопоставлении автомобильного и железнодорожного транспорта будут учтены расходы, связанные с потерями СПГ от испарения, то диапазоны дистанций и грузопотоков, при которых автотранспорт является предпочтительным, ещё более расширятся. Помимо этого, автотранспорт демонстрирует минимальную разницу между стоимостью доставки наливом и в танк-контейнерах, тогда как для всех прочих видов транспорта эта разница оказывается существенно большей. Причины небольших отличий в случае автотранс-

порта очевидны — это минимальная разница во вместимости танк-контейнера и автоцистерны, а также одинаковые сроки доставки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в настоящей работе регрессионные формулы для определения стоимости перевозки СПГ автомобильным, железнодорожным и водным транспортом являются одним из важных элементов решения задачи проектирования инфраструктуры для транспортировки сжиженного природного газа в России.

Структура формул обеспечивает их универсальность и возможность практического применения для оценки стоимости транспортировки СПГ с учётом особенностей интермодальной логистики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Возможности и перспективы развития малотоннажного СПГ в России. Московская школа управления Сколково, 2018. — 187 с. [Электронный ресурс]: <https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/research06-ru.pdf>. Доступ 03.07.2019.

2. Ketoeva, N. L., Orlova, Y. S. The development and energy efficiency of LNG in Russia. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2019, 288:012063. DOI: 10.1088/1755-1315/288/1/012063. [Электронный ресурс]: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/288/1/012063/pdf>. Доступ 03.07.2019.

3. Sharples, J. LNG supply chains and the development of LNG as a shipping fuel in Northern Europe. February, 2019. DOI: 10.26889/9781784671266. [Электронный ресурс]: <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2019/01/LNG-supply-chains-and-the-development-of-LNG-as-a-shipping-fuel-in-Northern-Europe-NG-140.pdf?v=i9308c5d0596>. Доступ 10.10.2019.

4. Буянова Л. Н., Мудрова О. М. Логистика малотоннажного СПГ // Мир транспорта. — 2019. — № 4. — С. 166—180.

5. MarTech LNG. LNG fuel bunkering procedures in ports and terminals in the south Baltic Sea region. Study On LNG Bunkering Procedures for Current and Potential LNG Stakeholders in the frame of the EU project «Maritime Competence, Technology and Knowledge transfer for LNG (Liquefied Natural Gas) in the South Baltic Sea Region — MarTech LNG» funded by European Regional Development Fund (ERDF) within the South Baltic Programme 2007—2013—2014. [Электронный ресурс]: <http://www.golng.eu/files/Main/PDF/SBSR.pdf>. Доступ 10.10.2019.

6. Guidance on LNG bunkering to port authorities and administrations. Lisbon: European Maritime Safety Agency (EMSA), 2018, 42 p. [Электронный ресурс]: https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2018/02/EMSA-Guidance-on-LNG-Bunkering-to-Port-Authorities-and-Administrations-2018_02.pdf. Доступ 04.10.2019.

7. Николайчук В. Е. Логистический менеджмент: Учебник. — 2-е изд. — М.: Дашков и К°, 2017. — 980 с.

8. Мочалин С. М., Левкин Г. Г., Терентьев А. В., Заруднев Д. И. Логистика: Учеб. пособие. — М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. — 168 с.

9. Яшин А. А., Ряшко М. Л. Логистика. Основы планирования и оценки эффективности логистических систем: Учеб. пособие. — Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014. — 53 с.

10. Левкин Г. Г. Основы логистики: Учеб. пособие. — М.: Инфра-Инженерия, 2014. — 240 с.

11. Cepeda, M. F. S., Caprace, J. D. Data envelopment analysis of navigation records improve ship fleet management. Offshore Technology Conference Brasil 2015 (OTC-Brazil 2015). DOI: 10.4043/26298-MS

12. Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов. Том 1 и том 2. [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121040/. Доступ 10.10.2019.

13. Приложение № 4 к Приказу ФНС России от 30.05.2007 № ММ-3-06/333 «Об утверждении Концепции системы планирования выездных налоговых проверок». [Электронный ресурс]: https://www.nalog.ru/rn77/taxation/reference_work/conception_vnp/. Доступ 12.10.2019.

14. Ибрагимов Ю. Р. Перевозки СПГ автомобильным транспортом. Сайт ООО «Лидер Спец Транс». [Электронный ресурс]: <http://lider1.ru/a/perevozki-spg-avtomobilnyum-transportom>. Доступ 03.06.2019.

15. Официальный сайт ООО «ТрансАвтоЦистерна». [Электронный ресурс]: http://трансавтоцистерна.рф/prays_list. Доступ 12.10.2019.

16. Тарифы на перевозку грузов по России. Сайт АвтоПравозащита.ру. [Электронный ресурс]: <http://avtopravozashita.ru/perevozki/tarify-na-perevozku-gрузov.html>. Доступ 12.10.2019.

17. Индексы потребительских цен по Российской Федерации в 1991—2018 гг. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. [Электронный ресурс]: https://www.gks.ru/free_doc/new_site/prices/potr/tab-potr1.htm. Доступ 12.10.2019.

18. Стандарт ЦНИИМФ СТО ЯКУТ.23.01—2019. Техничко-экономическое обоснование проектирования и строительства судов. Основные положения.

19. Мацкевич В. А., Романов Р. Ю., Луцкевич А. М., Таровик О. В., Дехтярук Ю. Д., Кораблева М. С. Перспективы транспортировки сжиженного нефтяного газа судами смешанного «река—море» плавания // Судостроение. — 2011. — № 6. — С. 13—17.

20. Официальный сайт Морского Инженерного Бюро. Проект RSD19. [Электронный ресурс]: <http://www.meb.com.ua/dry/RSD19.html>. Доступ 12.10.2019.

21. Международный кодекс постройки и оборудования судов, перевозящих сжиженные газы наливом. International code for the construction and equipment of ships carrying liquefied gases in bulk (IGC Code). — СПб.: ЦНИИМФ, 2016. — 474 с.

22. ГОСТ Р 53350-2009 (ИСО 668:1995). Контейнеры грузовые серии 1. Классификация, размеры и масса (с изм. № 1). [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200072594/>. Доступ 12.10.2019.

23. Подвижной состав. Четырёхосная фитинговая платформа для перевозки большегрузных контейнеров, модель 13-2118. [Электронный ресурс]: http://cargo.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=5140&layer_id=3290&id=2169. Доступ 12.10.2019.

24. Договор о Международном железнодорожном транзитном тарифе (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.01.2019). [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/902124118>. Доступ 12.10.2019.

