

УДК 658.788.5

Анализ возможностей снижения эксплуатационных затрат при транспортировке топливных ресурсов

Иванов Л.В. levladiv@mail.ru

Анохин А.В. anokhin.andrey@gmail.com

Д-р. техн. наук **Баранов И.В.** ivbaranov@itmo.ru

Канд. экон. наук **Миронова Д.Ю.** mironova@itmo.ru

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, д. 9

В работе рассмотрены меры по снижению эксплуатационных затрат при доставке топливных ресурсов в населённые пункты Ямальского и Тазовского районов Ямало-Ненецкого Автономного округа. Экономический эффект достигается за счет изменения морских транспортных схем доставки топлива. Нынешняя транспортная схема, используемая Обь-Иртышским речным пароходством, подразумевает поставки дизельного топлива с Салехардской нефтебазы, на которую оно доставляется с Омского нефтеперерабатывающего завода (НПЗ). Используемая схема имеет высокие транспортные издержки, поскольку после доставки топлива обратный путь судно идет незагруженным. Предложен альтернативный вариант поставок топлива, в котором в населенные пункты завозится другой тип топлива – сжиженный природный газ. Сжиженный газ предлагается доставлять модернизированным танкером класса река-море проекта «Ленанефть». В работе приведено сравнение трёх транспортных схем: традиционной, когда во все населенные пункты завозится дизельное топливо; альтернативной, при которой во все населенные пункты доставляется сжиженный природный газ; гибридной, когда населенные пункты снабжаются дизельным топливом или сжиженным газом, в зависимости от их географического расположения. Анализ эффективности схем показал, что наиболее выгодно применение гибридной схемы. Её использование позволяет сократить пустопорожний пробег судна на 685 км, а общий пробег – на 640 км. Уменьшение суммарного времени транспортировки составляет 13 суток, что значительно повышает надежность и безопасность поставок в связи с коротким периодом навигации в регионе. Использование предложенных мер позволит уменьшить эксплуатационные расходы на 1000,9 тыс. руб. в год. Повышение эффективности гибридной транспортной схемы можно оценить в 7% относительно общего пройденного судном расстояния, а экономическую выгоду от использования сжиженного природного газа в качестве моторного топлива в 44%. Помимо экономической выгоды и навигационного преимущества предлагаемой схемы природный газ является более экологичным топливом, что критически важно для регионов Арктики ввиду ужесточения экологических требований.

Ключевые слова: транспортная схема, экономическая эффективность, транспортно-логистический менеджмент, транспортные издержки, дизельное топливо, доставка, сжиженный природный газ.

DOI: 10.17586/2310-1172-2020-13-2-81-93

Analysis of opportunities to reduce operation costs during transportation of fuel resources

Ivanov L.V. levladiv@mail.ru

Anokhin A.V. anokhin.andrey@gmail.com

D.Sc. **Baranov I.V.** ivbaranov@itmo.ru

Ph D. **Mironova D.Y.** mironova@itmo.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosova st., 9

The paper considers measures to reduce operating costs for the delivery of fuel resources to the settlements of the Yamal and Taz regions of the Yamalo-Nenets Autonomous District. The economic effect is achieved due to changes in marine transport fuel delivery schemes. The current transport scheme used by the Ob-Irtysh river shipping company involves the supply of diesel fuel from the Salekhard oil depot, to which it is delivered from the Omsk oil refinery (refinery). The scheme used has high transportation costs, because after the fuel is delivered, the ship goes back

unloaded. An alternative fuel supply option is proposed, in which another type of fuel is imported into the settlements - liquefied natural gas. It is proposed that liquefied gas be delivered by an upgraded river-sea tanker of the Lenaneft project. The work provides a comparison of three transport schemes: traditional, when diesel is imported to all settlements; alternative, in which liquefied natural gas is delivered to all settlements; hybrid when settlements are supplied with diesel fuel or liquefied gas, depending on their geographical location. Analysis of the effectiveness of the circuits showed that the use of a hybrid circuit is most beneficial. Its use allows to reduce the empty mileage of the vessel by 685 km, and the total mileage - by 640 km. The reduction in the total transportation time is 13 days, which significantly increases the reliability and security of supplies due to the short navigation period in the region. Using the proposed measures will reduce operating costs by 1000.9 thousand rubles. in year. The increase in the efficiency of the hybrid transport scheme can be estimated at 7% relative to the total distance traveled by the vessel, and the economic benefit of using liquefied natural gas as a motor fuel at 44%. In addition to the economic benefits and the navigational benefits of the proposed scheme, natural gas is a more environmentally friendly fuel, which is critically important for the regions of the Arctic due to tougher environmental requirements.

Keywords: transport scheme, economic efficiency, transport and logistics management, transportation costs, fuel, LNG supply.

Введение

Для развития отдалённых северных регионов России критически важны поставки энергоресурсов. Схема доставки топлива в эти регионы называется «Северный Завоз». Доставка дизельного топлива (ДТ) в населенные пункты, находящиеся на крупных сибирских реках, а также на побережьях Северного Ледовитого океана, производится посредством танкеров класса «река-море». Используемая в настоящее время схема перевозок имеет ряд существенных недостатков. Основным недостатком является большое расстояние, преодолеваемое судном в обратном направлении, в незагруженном состоянии. Вследствие этого существующая логистическая схема имеет большие транспортные издержки. Также существенным недостатком является опасность срыва поставок ДТ по причине короткого периода навигации.

Населенные пункты, снабжаемые ДТ, находятся далеко от места его производства. Это увеличивает транспортные издержки и повышает время, необходимое на транспортировку топлива. Решением данной проблемы может стать диверсификация поставок топлива с помощью сжиженного природного газа (СПГ), который уже производится на севере.

В настоящее время доставка нефтепродуктов потребителям Ямальского и Тазовского районов ЯНАО производится по магистральной реке Иртыш, далее через р.Обь, а затем по Обской и Тазовской губам. Используя полноводный весенний период, нефтеналивные несамоходные баржи и танкеры осуществляют перевозку основных объемов нефтепродуктов из Омска с причала Омского НПЗ [1]. Поставки нефтепродуктов в сёла и поселки Ямальского и Тазовского районов ЯНАО осуществляется флотом компании ОАО «Обь-Иртышское Речное пароходство». Продолжительность навигации в бассейне р.Оби колеблется от 200 суток на юге бассейна до 80 суток на севере. Кроме того, дополнительным ограничением для поставок топлива является необходимость работы в ледовых условиях. В Гыданском заливе среднемноголетняя продолжительность эксплуатационного периода составляет 45 суток. Из-за довольно короткого навигационного периода неоднократно происходили случаи срыва поставок ДТ для некоторых населенных пунктов.

Оптимизация транспортной схемы поставок топлива необходима не только для повышения экономической эффективности речного пароходства, но и для решения важной социальной задачи, поскольку своевременно обеспечит топливом населенные пункты. Положительный экономический эффект от предлагаемых изменений в поставке топлива достигается путем сокращения проходимого расстояния и зависит от стоимости используемого вида судового топлива. Ввиду требований международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов MARPOL Annex VI изменение типа топлива, используемого в качестве судового должно учитывать снижение содержания серных частиц до 0,5%

Требование снижения содержания серных и азотных продуктов сгорания в углеводородном топливе делает дальнейшее использование ДТ и судового мазута в будущем возможно только при использовании скрубберов для дополнительной очистки. Однако эти технические решения вызывают неоправданно высокие капитальные и эксплуатационные затраты, что негативно сказывается на стоимости топлива. Наиболее рациональной альтернативой ДТ представляется СПГ.

В качестве критериев сравнения эффективности транспортных схем выступают суммарный пустопорожний пробег и общее время доставки топлива во все населенные пункты. Также приведена оценка экономической выгоды от использования СПГ в качестве моторного топлива.

Анализ традиционной транспортной схемы

Первоначально необходимо рассмотреть применяемую сейчас транспортную схему. В ней во все населенные пункты завозится только ДТ и нет возможности использования газа для бытового потребления. В настоящее время эти населенные пункты снабжаются ДТ арктического типа с Салехардской нефтебазы для использования его на котельных и дизельных электростанциях (ДЭС). Снабжаемые населенные пункты, численность населения в них, а также объемы годового потребления ДТ представлены в табл. 1 [5-14].

Таблица 1

Годовое потребление ДТ

Населенный пункт	Население, чел	Годовое потребление ДТ, т
Мыс Каменный	1373	-
Новый Порт	1764	1955,5
Панаевск	2433	1999,7
Салемал	964	1548,5
Сёяха	2714	2681,2
Яр-Сале (+Сюнай Сале)	7413 (+442)	7538,9
Антипаюта	2707	4192,8
Находка	1365	1433,4

Примерные расстояния между населенными пунктами и время загруженных и пустопорожних перегонов представлено в табл. 2.

Таблица 2

Расстояния и время прохождения перегонов

Маршрут перегона	Расстояние перегона, км	Время в пути в грузу, ч	Время в пути порожнем, ч
Салехард - Салемал	140	7,37	6,67
Салемал-Панаевск	50	2,63	2,38
Панаевск - Яр Сале	50	2,63	2,38
Яр Сале - Новый Порт	150	7,89	7,14
Новый Порт - Мыс Каменный	105	5,53	5,00
Мыс Каменный - Сеяха	185	9,74	8,81
Сеяха - Сабетта	125	6,58	5,95
Мыс Каменный - Антипаюта	150	7,89	7,14
Антипаюта - Находка	155	8,16	7,38

Маршруты доставки:

1. Салехард – Салемал – Панаевск – Салехард;
2. Салехард – Панаевск – Яр-Сале – Салехард;
3. Салехард – Яр-Сале – Салехард;
4. Салехард – Яр-Сале – Новый Порт – Мыс Каменный – Салехард;
5. Салехард – Яр-Сале – Новый Порт – Сеяха – Салехард;
6. Салехард – Сеяха – Антипаюта – Салехард;
7. Салехард – Антипаюта – Салехард;
8. Салехард – Антипаюта – Находка – Салехард.

Существующие маршруты доставки представлены на рис. 1.



Рис.1. Маршруты доставки ДТ в традиционной транспортной схеме

Расчета времени доставки топлива производились согласно маршрутной карте «Обь-Иртышского пароходства» при учете скорости движения судна в загруженном состоянии 19 км/ч и в порожнем – 21 км/ч. Общий километраж составил 9230 км, а протяженность пустопорожнего пробега, без учета необходимости захода в порт составляет 4005 км.

Скорость сливо-наливных операций ограничена параметрами причального оборудования. В населенных пунктах Ямала она составляет 150 т/час [1]. Таким образом, время опорожнения-наполнения танкера – 14,5 ч.

Суммарное время доставки ДТ из Салехарда в населенные пункты составило 249,2 ч, в то время как пустопорожний путь занимает 190,74 ч, портовые операции занимают 290 ч.

Таким образом, общее время транспортировки топлива в населенные пункты при использовании традиционной схемы составило 733 часа, 34% общего времени отводится на загруженное плавание, 26% на пустопорожнее и 40% на портовые операции.

В качестве альтернативной схемы предлагается снабжение посёлков сжиженным природным газом с завода «Ямал СПГ». Поставляемый СПГ можно также использовать для бытового потребления населением.

Предлагаемые способы модернизации танкеров проекта «Ленанефть»

Существующие в настоящее время танкеры проекта «Ленанефть» для перевозки топлива нуждаются в модернизации, так как не отвечают современным требованиям, предъявляемым к нефтеналивным судам дедвейтом менее 5000 тонн, по той причине, что они не имеют второго дна и вторых бортов, либо имеют высоту двойного дна меньше требуемой [15].

В данной статье для транспорта СПГ предлагается танкер «Ленанефть Проект Р77». Данный выбор позволит сравнивать схемы в равных условиях, потому что в настоящее время используется именно этот тип судов для транспорта ДТ. В качестве проекта модернизации предлагается замена нефтеналивного оборудования танкера на криогенные резервуары типа С [16]. Данная система хранения груза позволит транспортировать как нефтепродукты, так и сжиженный природный газ. После отгрузки дизельного топлива танк будет захлаживаться. Под действием низких температур тонкая пленка оставшегося ДТ кристаллизуется и за счет сил адгезии удерживается на стенке танка, что позволит избежать смешивания разных видов топлива. Подобная модернизация танкера позволит уменьшить проблему транспортных издержек за счет возможности реверсного транспорта.

Суммарная вместимость такого танкера составит 3980 м³ СПГ, а общая масса перевозимого СПГ – приблизительно 1600 т [16].

Вторым возможным вариантом транспортировки СПГ является реконструкция судна «Ленанефть Проект 671». Значительное снижение времени суммарного пробега и количества пустопорожних перегонов будет достигаться за счет увеличения количества перевозимого СПГ. Если судно «Ленанефть Проект Р77» после модернизации будет способно транспортировать 1600 т СПГ, то судно «Ленанефть Проект 671» позволит перевозить 2180 т СПГ, при этом оно также отвечает требованиям по осадке (2,52 м) и габаритным размерам [16].

Однако, проект модернизации танкера «Ленанефть Проект Р77» уже существует, его название – 003RST06. Первый танкер, прошедший модернизацию, уже спущен на воду, он соответствует классу М-СП 3,5 (лед 30) А (ОАО «ЛОПП») или М-ПР 2,5 (лед 30) А (ОАО «ЕРП») [18]. Подобный проект модернизации для «Ленанефть Проект 671» еще не разработан.

Также для модернизации топливной системы предлагается установка двухтопливной силовой установки. Такая система использует малые объёмы дизельного топлива в качестве пилотного, а СПГ в ней выступает в качестве основного.

СПГ обладает рядом преимуществ при использовании в качестве газомоторного топлива. Одним из них является его большая экологичность. При сжигании жидкого корабельного топлива в воздух выбрасываются большие объёмы CO₂, оксиды серы и азота. По данным организации WWF выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от сжигания СПГ значительно меньше (SO_x и твердых частиц – на 100%, NO_x – на 90%, CO₂ – на 12,5%) чем от сжигания нефтяных видов судового топлива [1]. Танкеры на СПГ полностью соответствуют международным требованиям по содержанию вредных выбросов в выхлопных газах судов. В табл. 3 приведено сравнение ДТ с СПГ по ряду параметров [19].

Таблица 3

Сравнение параметров типов топлива

Тип топлива:	Минимальная теплотворная способность, кДж/кг	Содержание углерода	C _F (CO ₂ / V)
Дизельное топливо	42,7	0,875	3,21
СПГ	48,0	0,750	2,75

Расход СПГ приблизительно в 1,2 раза меньше, чем у дизельного топлива, благодаря большей теплотворной способности, также он более чем в 2 раза дешевле. Ужесточение экологических требований приводит к необходимости введения скрубберов и прочих систем очистки для нефтяных топлив. Данные изменения оцениваются экспертами, как благоприятный сценарий изменения цены на СПГ по отношению к другим видам топлив.

Определение расхода альтернативного типа топлива

Необходимо определить годовые потребности в топливе для каждого населенного пункта. Они определяются по следующей формуле:

$$G = G_{\text{бн}} + G_{\text{эл}} + G_m, \tag{1}$$

Где, G_{бн}, G_{эл}, G_m – затраты СПГ на бытовое потребление, на производство электричества и тепла на котельных, соответственно, т/год.

Расход газа на бытовое потребление определяется с помощью следующего выражения:

$$G_{\text{бн}} = k \cdot l \cdot N \cdot \rho_z = k \cdot l \cdot N \cdot \frac{V_z}{V_{\text{СПГ}}}, \tag{2}$$

Где, N – количество людей в населенном пункте, чел; k – месячная норма потребления газа, используемого для приготовления пищи и нагрева воды с использованием газовых приборов, м3/чел; l = 12 – число отапливаемых месяцев в году; ρ_{СПГ} = 400 – плотность СПГ, кг/м3; $\frac{V_z}{V_{\text{СПГ}}} = 600$ – отношение удельных объёмов газа и СПГ.

Для ЯНАО в условиях отсутствия центрального горячего водоснабжения норма потребления k составляет 26 м³·чел/мес. [4].

В населенных пунктах установлены ДЭС различной мощности. Методом перерасчета по суммарной теплотворности можно определить годовое потребление СПГ на производство электричества.

Расход СПГ на производство электричества:

$$G_{эл} = \frac{Q_{от} \cdot q_{от}}{q_{CH_4} \cdot \rho_{CH_4}} \cdot \rho_{СПГ}, \quad (3)$$

где, $Q_{от}$ – годовое потребление ДТ, кг; $q_{от} = 43,6$ – удельная теплота сгорания арктического ДТ, Дж/кг; $q_{от} = 50$ – объемная теплота сгорания метана, Дж/м³; $\rho_{CH_4} = 0,656$ – плотность метана, кг/м³.

В расчетах принимается плотность и удельная теплота сгорания метана, поскольку он является основным компонентом смеси.

Расход СПГ на производство теплоты определяется аналогичным образом, только учитывается потребление ДТ в котельных.

Данные по потреблению ДТ котельных населенных пунктах были взяты из схем теплоснабжения [5-12]. Данные по потреблению ДТ на ДЭС были взяты из опубликованных данных АО «ЯмалКоммунЭнерго» [13,14].

Расчетные данные по потреблению СПГ приведены в табл. 4.

Таблица 4

Прогнозируемое годовое потребление СПГ населенными пунктами

Населенный пункт:	G_m т	$G_{от}$ т	$G_{эл}$ т	G т
Новый Порт	1536,9	366,9	1,12	1904,96
Панаевск	1771,1	525,5	1,09	2297,65
Салемал	1371,3	196,8	0,95	1568,99
Сёяха	2374,1	564,5	1,95	2940,54
Яр Сале (+ Сюнай Сале)	6410,1	1633,8	4,85	8048,81
Антипаюта	3699,7	218,7	1,67	3920,11
Находка	1269,8	110,3	0,46	1380,54
Итого:	18432,92	3616,58	12,09	22061,59

Мыс Каменный не представлен в таблице, поскольку уже газифицирован попутным газом, с находящегося рядом месторождения.

Анализ альтернативной транспортной схемы

Учитывая возможность перевозки СПГ после нефтепродуктов, схема должна быть составлена таким образом, чтобы первым рейсом был перегон модернизированного танкера Салехард - Мыс Каменный с грузом авиационного керосина для нужд местного аэродрома, а последним – Новый Порт – Салехард – Омск с грузом сырой нефти из нефтеналивного терминала Новый Порт.

При транспорте топлива необходимо учитывать время на сливноналивные операции, а также на расхолаживание-захолаживание танков. Нормы скорости захолаживания предусматривают скорость снижения температуры танка равной 10 °С/час, что обеспечивает ориентировочное суммарное время захолаживания-расхолаживания – 15 часов. Средняя скорость бункеровки СПГ составляет 400 м³/ч [16]. Отсюда ориентировочное время выполнения сливноналивных операций – 10 ч.

В альтернативной транспортной схеме во все населенные пункты доставляется СПГ по следующим маршрутам доставки:

- Салехард – Мыс Каменный – Сабетта
- Сабетта – Сеяха – Сабетта -Сеяха – Новый Порт – Сабетта
- Сабетта – Антипаюта – Находка - Сабетта
- Сабетта – Находка – Новый Порт – Сабетта
- Сабетта – Яр Сале – Сабетта
- Сабетта – Яр Сале – Панаевск – Сабетта

- Сабетта – Панаевск – Салемал – Сабетта
- Сабетта – Салемал – Новый Порт – Салехард

Схема доставки согласно альтернативной транспортной схеме приведена на рис. 2.



Рис. 2. Маршруты доставки СПГ при альтернативной транспортной схеме

Общий километраж составил 16 040 км, а протяженность пустопорожного пробега – 6760 км. Суммарное время доставки СПГ из Сабетты в населенные пункты составило 488,4 ч, в то время как пустопорожный путь занимает 328,8 ч, портовые операции занимают 300 ч.

Общее время транспортировки топлива в населенные пункты при использовании альтернативной схемы составило 1110 часов, 44% общего времени отводится на загрузенное плавание, 29% на пустопорожное и 27% на портовые операции.

Из представленных данных видно, что время доставки существенно возросло, это обусловлено отдалённым географическим положением Сабетты от большинства газифицируемых населенных пунктов. Время доставки 1110 ч (47 суток) выбивается за рамки навигационного периода (45 суток).

Анализ гибридной транспортной схемы

С учётом географии перевозок в данном регионе, предлагается использовать гибридную схему доставки. В ней часть населенных пунктов будет снабжаться СПГ из Сабетты, а часть – ДТ из Салехарда. Маршрут гибридной транспортной схемы представлен на рис. 3.

В предлагаемой гибридной транспортной схеме СПГ будут снабжаться Сеяха, Антипаюта, Находка и Новый Порт, а ДТ будет доставляться в Салемал, Панаевск и Яр-Сале.

Маршруты судна, доставляющего СПГ:

- Салехард – Мыс Каменный – Сабетта
- Сабетта – Сеяха – Сабетта
- Сабетта – Антипаюта – Сабетта
- Сабетта – Антипаюта – Находка – Сабетта
- Сабетта – Антипаюта – Находка -Новый Порт – Салехард

Маршруты судна, доставляющего ДТ:

- Салехард – Салемал – Панаевск – Салехард
- Салехард – Панаевск – Яр-Сале – Салехард
- Салехард – Яр-Сале – Салехард
- Салехард – Яр-Сале – Новый Порт – Салехард



Рис. 3. Маршруты доставки топлива при гибридной транспортной схеме

Общий километраж составил 8590 км, а протяженность пустопорожнего пробега – 3320 км. Суммарное время доставки СПГ из Сабетты составило 196,4 ч, когда время навигации при доставке ДТ из Салехарда – 81,05 ч. Портовые операции при доставке СПГ заняли 150 ч, а при доставке ДТ – 145 ч.

Общее время транспортировки СПГ при использовании гибридной схемы составляет 419,5 ч, 45% времени отводится на загруженное плавание, 20% на пустопорожнее и 35% на портовые операции.

Общее время транспортировки ДТ при использовании гибридной схемы составляет 304,4 ч, 28% времени отводится на загруженное плавание, 24% на пустопорожнее и 48% на портовые операции.

Оценка экономической эффективности транспортных схем

Как уже было сказано ранее, критерием сравнения эффективности полученных схем является длина пустопорожнего пробега. Полученные результаты расчета по выбранным маршрутам представлены в табл. 5.

Таблица 5

Сравнение эффективности транспортных схем

Тип схемы	Параметры оценки				
	Общее расстояние транспортировки, км	Суммарный пустопорожний пробег, км	Загруженный пробег, км.	Общее время навигации, ч	
Традиционная	9230	4005	5228	733	
Альтернативная	16040	6905	9135	1110	
Гибридная	ДТ	3080	1540	1540	304,4
	СПГ	5510	1780	3730	419,5
	Σ	8590	3320	5270	-

Из представленных данных видно, что время загруженного плавания при использовании альтернативной схемы поставок существенно возросло, это обусловлено отдалённым географическим положением Сабетты от большинства газифицируемых населенных пунктов. Время доставки 1110 ч (47 суток) выбивается за рамки навигационного периода (45 суток).

Традиционная и гибридная схемы имеют близкие по значению расстояния транспортировки, однако, учитывая, что при использовании данной схемы доставка энергоресурсов производится по двум маршрутам параллельно, максимальная длительность навигации составляет 420 ч (17,5 суток).

Диаграмма сравнения суммарного километража пустопорожнего плавания для всех рассматриваемых схем приведена на рис. 4.

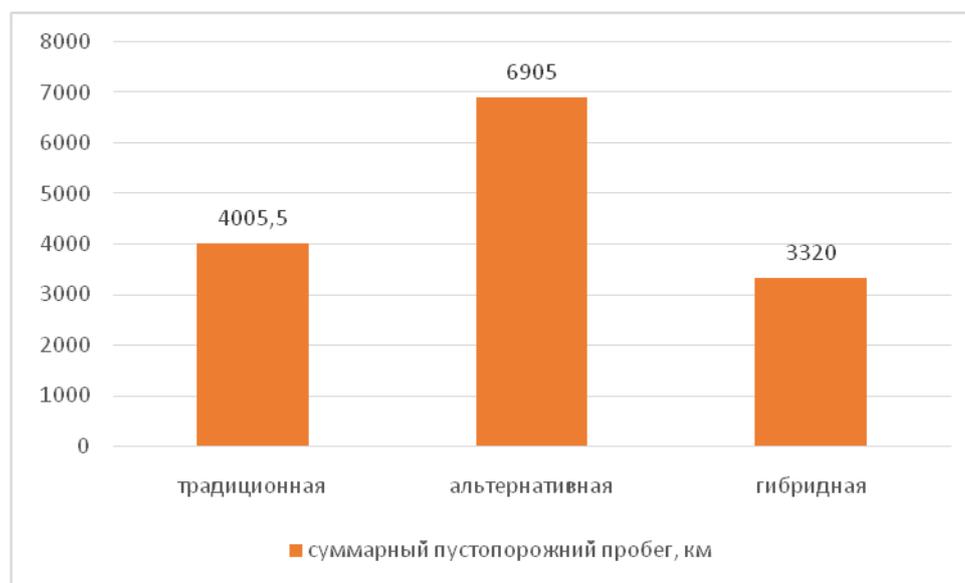


Рис. 4. Сравнение пустопорожнего пробега рассматриваемых транспортных схем

Таким образом, применение гибридной транспортной схемы дает существенную выгоду по показателю пустопорожнего пробега, а также снижает общий километраж доставки. Использование предлагаемой авторами схемы снабжения позволяет сократить пустопорожний пробег на 685 км, что составляет 17% от пустопорожнего пробега традиционной схемы, и время навигации – на 313,5 ч (13 суток).

Положительный экономический эффект для Обь-Иртышского речного пароходства будет достигаться за счет значительного снижения затрат на топливо. Также, изменение типа потребляемого топлива при переходе на двутопливную силовую установку дает дополнительную выгоду, т.к. СПГ приблизительно в 2,4 раза дешевле ДТ.

В сравнении транспортных схем не учитывается доставка ДТ от Омского НПЗ, т.к. данная мера необходима для функционирования Салехарда, а также не соприкасается с акваторией Обской губы и снабжением населенных пунктов Ямальского и Тазовского районов.

В настоящее время модернизация танкеров проекта «Ленанефть Проект Р-77» еще не выполнена, поэтому оценка капиталовложений в данный проект модернизации затруднена. Стоимость системы хранения груза (танков типа С) обычно включается в стоимость строительства целого судна, что делает оценку операций по её замене (на данном этапе) невозможной.

Оценки расходов топлива каждой из транспортных схем была проведена на основе часового потребления топлива каждой из двух силовых установок – Wärtsilä 6L20DF (двухтопливная система) и 6NVD-48A-U. Основные параметры установок представлены в таблице 6 [19].

Таблица 6

Параметры силовых установок

Показатель	Wärtsilä 6L20DF	6NVD-48A-U
Мощность, КВт	960	640
Расход топлива, г/КВт*ч	180-200	212-223
Тип топлива	СПГ	ДТ

Расчет годового расхода топлива производится исходя из параметров главных двигателей. Для расчетов принято условие работы двигателей при одинаковой мощности (640 кВт).

$$Q = P \cdot q \cdot (\tau_1 + \tau_2) \cdot 10^6, \tag{4}$$

где P – мощность силовой установки, кВт; q – удельное потребление топлива, г/кВт*ч; τ_1, τ_2 – время загруженного и пустопорожнего плавания соответственно, ч.

Тогда расход дизельного топлива в традиционной схеме:

$$Q_{ДТ} = 640 \cdot 220 \cdot (251,84 + 190,74) \cdot 10^6 = 62,3 \text{ т}$$

Расход топливного СПГ в альтернативной схеме:

$$Q_{СПГ} = 640 \cdot 180 \cdot (488,16 + 328,81) \cdot 10^6 = 94,1 \text{ т}$$

Расход топлива в гибридной схеме:

$$Q_{ДТ} = 640 \cdot 220 \cdot (81,05 + 73,33) \cdot 10^6 = 21,7 \text{ т}$$

$$Q_{СПГ} = 640 \cdot 180 \cdot (196,32 + 84,76) \cdot 10^6 = 32,4 \text{ т}$$

Оценка топливных затрат производится исходя из полученных расходов, с учетом средних цен на ДТ и СПГ. Для сжиженного газа цена составляет 5,3\$/mmBTU (миллион британских тепловых единиц), с использованием коэффициента пересчета [20] цена тонны СПГ равна 240 \$/т. Стоимость ДТ принимается согласно данным [21], и составляет 46,65 руб/л, что при переводе данного значения к тонне топлива составляет 40258,9 руб/т.

Результаты оценки, основанные на расчётных периодах загруженного плавания кораблей и стоимости топлива, представлены в табл. 6. Расчет стоимости ДТ и СПГ производится исходя из объёмов, потребляемых судном во время доставки топлива.

Таблица 6

Сравнение расхода топлива при транспортировке

Тип схемы	Эксплуатационные издержки					
	Расход ДТ, т	Расход СПГ, т	Σ, т	Стоимость ДТ, млн руб	Стоимость СПГ, млн руб	Σ, млн. руб
Традиционная	62,3	-	62,3	2,509	-	2,509
Альтернативная	-	94,1	94,1	-	1,573	1,573
Гибридная	21,7	32,4	54,1	0,875	0,541	1,416

Исходя из полученных данных можно сделать вывод о сокращении затрат на топливо при использовании гибридной схемы по сравнению с традиционной:

$$L = \left(1 - \frac{V_{гибрид.}}{V_{традиц.}} \right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{1,416}{2,509} \right) \cdot 100\% = 44\%,$$

где V – стоимость топлива, млн. руб.

Повышение эффективности гибридной схемы можно выразить как сокращение общего расстояния транспортировки:

$$E = \left(1 - \frac{S_{\text{гибрид.}}}{S_{\text{традиц.}}}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{8590}{9230}\right) \cdot 100\% = 7\%$$

где S – общее расстояние транспортировки, км.

Дополнительным преимуществом новой логистической схемы для акватории Обской губы является возможность реверсного транспорта керосина и сырой нефти в начале и конце навигационного периодов. Также по окончании навигации в Обской губе сырая нефть из Нового Порта доставляется на Омский НПЗ. Данные составляющие не оценивались со стороны экономической эффективности, т.к. они не соприкасаются с традиционной схемой логистики, и положительно влияют уже на окупаемость модернизации проекта танкера, капитальные вложения которой не представляется возможным для оценки на данном этапе.

Заключение

В работе приведено сравнение трёх транспортных схем: используемой сейчас «традиционной», когда во все населенные пункты доставляется ДТ, альтернативной, при которой во все населенные пункты доставляется СПГ и гибридной, когда населенные пункты снабжаются ДТ или СПГ в зависимости от их географического расположения. В ходе анализа всех вариантов в статье обоснованы преимущества гибридной схемы.

Использование гибридной схемы поставок позволило сократить пустопорожний пробег относительно традиционной схемы на 685 км, что составляет 17% от пустопорожнего километража традиционной схемы. При использовании гибридной схемы танкер, доставляющий СПГ и танкер, доставляющий дизель могут работать параллельно, данная мера позволяет уменьшить общее время транспортировки на 13 суток. Это значительно снижает вероятность срыва поставок топливных ресурсов из-за более короткого периода летней навигации в Тазовской и Обской губе. Гибридная схема может быть дополнительно улучшена за счет использования эксплуатации модернизированного танкера «Ленанефть Проект 621» вместо «Ленанефть Проект Р-77». Повышение эффективности достигается за счет дополнительного снижения расстояния пустопорожнего пробега из-за большей грузоподъемности танкеров данного типа.

Помимо улучшения экологических условий эксплуатации в регионе, суммарное сокращение топливных издержек для Обь-Иртышского речного пароходства при использовании гибридной схемы поставок и двухтопливной силовой установки составляет 1 000 093 руб, что на 44% меньше стоимости топлива, потребляемого в традиционной схеме.

Литература

1. Барышникова Ю. С. Совершенствование перевозок нефтепродуктов на линии город Омск – пункты Обской и Тазовской губы // Омский институт водного транспорта – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет водного транспорта» - Омск, 2017;
2. Положение о классификации судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания. М: ФГУ:Российский речной регистр – 2008;
3. Ленанефть (Р-77, 621) Информация о типах и проектах. URL:<http://www.riverfleet.ru/fleet/216/>(дата обращения 14.09.2019);
4. Постановление правительства РФ от 13 июня 2006 г. № 373 «О порядке установления нормативов потребления газа населением при отсутствии приборов учета газа»
5. Корректировка (актуализация) схемы теплоснабжения с. Мыс Каменный до 2026 г. Том 2. Обосновывающие материалы. Санкт-Петербург: ООО «Джи-Динамика», 2014 г. URL:<http://miskamenskoe.ru/shemy-teplosnabzheniya.html> (дата обращения 14.09.2019);
6. Корректировка (актуализация) схемы теплоснабжения муниципального образования Яр-Салинское МО до 2026 г. Том 2. Обосновывающие материалы. Санкт-Петербург: ООО «Джи-Динамика», 2014 г. URL:<http://adm-yarsale.ru/shema-teplosnabzheniya.html> (дата обращения 14.09.2019);
7. Корректировка (актуализация) схемы теплоснабжения с. Новый Порт до 2026 г. Том 2. Обосновывающие материалы. Санкт-Петербург: ООО «Джи-Динамика», 2014 г. URL:<http://portadm.ru/shemy-teplosnabzheniya.html>(дата обращения 14.09.2019);
8. Корректировка (актуализация) схемы теплоснабжения с. Панаевск до 2026 г. Том 2. Обосновывающие материалы. Санкт-Петербург: ООО «Джи-Динамика», 2014 г. URL:<http://panadm.ru/shema-teplosnabzheniya.html>(дата обращения 14.09.2019);

9. Корректировка (актуализация) схемы теплоснабжения с. Сеяха до 2026 г. Том 2. Обосновывающие материалы. Санкт-Петербург: ООО «Джи-Динамика», 2014 г. URL:<http://adm-seyaha.ru/shema-teplosnabzheniya.html> (дата обращения 14.09.2019);
10. Корректировка (актуализация) схемы теплоснабжения муниципального образования с. Салемал МО на 2012-2026 годы. Том 2. Обосновывающие материалы. Санкт-Петербург: ООО «Джи-Динамика», 2014 г. URL:<http://adm-salemal.ru/kommunal-nye-sluzhby.html> (дата обращения 14.09.2019);
11. Перспективная схема теплоснабжения муниципального образования с. Антипаюта на период 2016-2028 годы. Обосновывающая часть. 2015 г. URL:<http://www.antipauta.ru/documents/1282.html> (дата обращения 14.09.2019);
12. Актуализация схемы теплоснабжения села Находка на период 2018-2031 год. Ставрополь, ООО «Экоконсалт», 2018 г. URL:<http://admnahodka.ru/kommunal-nye-sluzhby.html> (дата обращения 14.09.2019);
13. Об объеме производства электрической энергии, об удельном расходе условного топлива URL:https://www.yamalkomenergo.ru/37v_18 (дата обращения 15.09.2019);
14. Информация об используемом топливе на электрических станциях с указанием поставщиков и характеристик URL:https://www.yamalkomenergo.ru/35d_18 (дата обращения 15.09.2019);
15. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 года. Протокол изменений от 17 февраля 1978 года. Правило 13F. // МАРПОЛ 73/78.
16. Баранов А. Ю. Иванов Л. В. Анализ конструкционных особенностей системы хранения груза для модернизации проекта речного танкера класса река-море // Морской Вестник – 2019. №3(71) с 18-21;
17. Бункеровщик СПГ (проект 16001) Хотча. Морское проектирование. URL:<http://www.navalarchitect.ru/projects/detail.php?ID=596> (дата обращения 15.09.2019);
18. Модернизация танкеров типа «Ленанефть» по проекту 003RST06 URL:<http://meb.com.ua/news/news.html?141> (дата обращения 15.09.2019);
19. Иванов Л. В. Анохин А. В. Сравнительный анализ эффективности силовых установок речных судов на СПГ и традиционном топливе // Сборник тезисов конгресса молодых ученых. Электронное издание. URL:<https://kmu.itmo.ru/digests/article/1668> (дата обращения 16.09.2019);
20. Александр Климентьев, Татьяна Митрова, Александр Собко, Среднетоннажный СПГ в России: между небом и землей. // Сколково, Московская школа управления. Декабрь 2018 г. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_RU_MediumDutyLNG_01122018.pdf (дата обращения 10.05.2020);
21. Справочник цен на энергоресурсы // GlobalPetrolPrices URL: https://ru.globalpetrolprices.com/diesel_prices/ (дата обращения 15.06.2020).

References

1. Baryshnikova Y. S. Improving the transportation of petroleum products on the Omsk city line - points of the Ob and Taz Bay // Omsk Institute of Water Transport - a branch of the Siberian State University of Water Transport, Omsk, 2017;
2. Regulation on the classification of vessels of inland and mixed (river-sea) navigation. M: Federal State Institution: Russian River Register - 2008;
3. Lenaneft (R-77, 621) Information on types and projects. URL: <http://www.riverfleet.ru/fleet/216/> (accessed September 14, 2019)
4. Decree of the Government of the Russian Federation of June 13, 2006 No. 373 “On the procedure for establishing standards for gas consumption by the population in the absence of gas meters”
5. Adjustment (updating) of the heat supply scheme p. Cape Stone until 2026 Volume 2. Substantiation materials. St. Petersburg: G-Dynamics LLC, 2014 URL: <http://miskamenskoe.ru/shemy-teplosnabzheniya.html> (accessed September 14, 2019);
6. Adjustment (updating) of the heat supply scheme of the municipality of Yar-Salinsky MO until 2026 Volume 2. Substantiation materials. St. Petersburg: G-Dynamics LLC, 2014 URL: <http://adm-yarsale.ru/shema-teplosnabzheniya.html> (accessed September 14, 2019);
7. Adjustment (updating) of the heat supply scheme p. New Port until 2026. Volume 2. Supporting materials. St. Petersburg: G-Dynamics LLC, 2014 URL: <http://portadm.ru/shemy-teplosnabzheniya.html> (accessed September 14, 2019);
8. Adjustment (updating) of the heat supply scheme p. Panaevsk until 2026 Volume 2. Substantiation materials. St. Petersburg: G-Dynamics LLC, 2014 URL: <http://panadm.ru/shema-teplosnabzheniya.html> (accessed September 14, 2019);
9. Adjustment (updating) of the heat supply scheme p. Seeiah until 2026 Volume 2. Substantiation materials. St. Petersburg: G-Dynamics LLC, 2014 URL: <http://adm-seyaha.ru/shema-teplosnabzheniya.html> (accessed September 14, 2019);

10. 10. Adjustment (updating) of the heat supply scheme of the municipality p. Salemal MO for 2012-2026. Volume 2. Substantive materials. St. Petersburg: G-Dynamics LLC, 2014 URL: <http://adm-salemal.ru/kommunal-nye-sluzhby.html> (accessed September 14, 2019);
11. A prospective heat supply scheme of the municipality p. Antipayuta for the period 2016-2028. The substantiating part. 2015 URL: <http://www.antipauta.ru/documents/1282.html> (accessed September 14, 2019);
12. Updating the heat supply scheme of the village of Nakhodka for the period 2018-2031. Stavropol, Ecoconsult LLC, 2018 URL: <http://admnahodka.ru/kommunal-nye-sluzhby.html> (accessed September 14, 2019);
13. On the volume of electric energy production, on the specific consumption of equivalent fuel URL: https://www.yamalkomenergo.ru/37v_18 (accessed September 15, 2019);
14. Information about the fuel used at power plants indicating suppliers and characteristics URL: https://www.yamalkomenergo.ru/35d_18 (accessed September 15, 2019);
15. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships 1973. Protocol of changes from February 17, 1978. Rule 13F. // *MARPOL 73/78*.
16. Baranov A. Y., Ivanov L.V. Analysis of structural features of the cargo storage system for the modernization of the project of a river tanker of the river-sea class // *MorskoyVestnik* - 2019. No. 3 (71) from 18-21;
17. LNG bunker (project 16001) Hotcha. Marine design. URL: <http://www.navalarchitect.ru/projects/detail.php?ID=596> (accessed September 15, 2019);
18. Modernization of Lenaneft type tankers under the project 003RST06 URL: <http://meb.com.ua/news/news.html?141> (accessed September 15, 2019);
19. Ivanov L.V. Anokhin A.V. Comparative analysis of the efficiency of power plants of river vessels using LNG and traditional fuel // Collection of theses of the Congress of Young Scientists. Electronic edition. URL <https://kmu.itmo.ru/digests/article/1668> (accessed September 16, 2019);
20. Alexander Klimentyev, Tatyana Mitrova, Alexander Sobko, Middle-tonnage LNG in Russia: between heaven and earth. // Skolkovo, Moscow School of Management. December 2018 URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_RU_MediumDutyLNG_01122018.pdf (accessed 05/10/2020);
21. Energy Price Directory // GlobalPetrolPrices URL: https://ru.globalpetrolprices.com/diesel_prices/ (accessed 06.15.2020).

Статья поступила в редакцию 17.01.2020 г