

11. Григорьев, Е. Б. Теплопроводность водных растворов солей лантаноидов и галоидов щелочных металлов: дис. – Казанский государственный технологический университет, 2008.
12. Варгафтик, Н. Б. и др. Теплопроводность жидкостей и газов. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – Т. 471. – С. 11.
13. Лютикова, М. Н. "Модель влияния оценки трещиноподобных дефектов на прочностные и гидравлические свойства трубопроводов. /Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности.– 2012.– 2.– С. 38-40.
6. Mustafaev, R.A. Teplofizicheskie svoystva uglevodorodov pri vysokih parametroh sostoyaniya.-M.; Energiya, 1980.-296s.
7. Michels, A., J. V. Sengers, and P. S. Van der Gulik. "The thermal conductivity of carbon dioxide in the critical region: II. Measurements and conclusions." Physica 28.12 (1962): 1216-1237.
8. Amirhanov, H.I. Teploprovodnost' dnuokisi ugleroda vdol' pogranychnoy krivoj i v oblasti kriticheskogo sostoyaniya./ Amirhanov H.I., Adamov A.P. // Teploenergetika. – 1963. - №7. -s. – 77-81.
9. Filippov, L.P. Issledovanie teploprovodnosti zhidkostej. -M.: Izd-vo MGU, 1970.-239s.
10. Safronov, G.A. Teploprovodnost' vodnyh rastvorov elektrolitov. Dis...kand. tekhn. nauk. - Baku,1985.- 220s.
11. Grigor'ev, E. B. Teploprovodnost' vodnyh rastvorov solej lantanoidov i galoidov shchelochnyh metallov: dis. – Kazanskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskij universitet, 2008.
12. Vargaftik, N. B. i dr. Teploprovodnost' zhidkostej i gazov //M.: Izd-vo standartov. – 1978. – Т. 471. – С. 11.
13. Lyutikova, M. N. "Model' vliyaniya ocenki treshchinopodobnyh defektov na prochnostnye i gidravlicheskie svoystva truboprovodov. /Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz' v neftyanoy promyshlennosti 2 (2012): 38-40.

Reference

1. Kosolap, YU. G. Teploprovodnost' binarnykh i smeshannykh rastvorov elektrolitov. Diss. dis. kand. tekhn. nauk, 1990.
2. Lykov, A.V. Teoriya teploprovodnosti.-M.: Vysshaya shkola, -1967.-599s.
3. Cederberg, I.V. Teploprovodnost' gazov i zhidkostej.-M.: Nauka, -1963.-409s
4. Kondrat'ev, G.M. Prilozhenie teorii regul'yarnogo ohlazhdeniya dvuhsostavnogo shara k opredeleniyu teploprovodnosti plohih provodnikov tepla // Izv. AN SSSR. Tekhnicheskie nauki. – 1950. - №4. – s.536.
5. Golubev, I.F. Bikalorimetr dlya opredeleniya teploprovodnosti gazov i zhidkostej pri vysokih davleniyah i razlichnykh temperaturah // Teploenergetika. – 1963. - №12. – s. 78-82.

УДК 621

DOI: 10.34046/aumsuomt102/25

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВ ПРИМЕНЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНОГО ВИДА СУДОВОГО ТОПЛИВА

В.В. Бочкарев, курсант

А.А. Малюта, курсант

А.И. Епихин, кандидат технических наук, доцент

В.А. Туркин, доктор технических наук, профессор

Д.О. Яворская, аспирант

Данная статья направлена на сравнительный анализ СПГ и МДГ в качестве судового топлива с точки зрения их влияния на окружающую среду. В качестве исследуемого объекта приводится балкер дедвейтом 50000. Цикл каждого вида топлива был распределен в три стадии: Well-to-Tank (WtT), Tank-to-Wake (TtW) и Well-to-Wake (WtW). При моделировании процесса эффект каждой стадии был проанализирован, основываясь на 5 категориях воздействия на окружающую среду. Потенциал Глобального Потепления (GWP), Потенциал Закисления (AP), Фотохимический потенциал (POCP), Потенциал Эвтрофикации (EP) и Твердые Частицы (PM). Результаты анализа показали, что уровни выбросов для СПГ были значительно меньше чем для МДГ во всех категориях. Например, 1 опция оказалась наилучшей с наименьшими показателями уровней выбросов на $1.0 \cdot 10^7$ МДж расхода топлива: 977 тонн в эквиваленте CO₂ (для GWP), 1.76 тонн SO₂ в эквиваленте (для AP), 1.18 тонн N эквивалента (для EP), 4.28 тонн NMVOC эквивалента (для POCP) и 26 кг PM 2.5 эквивалента (PM). Заключением данной научной статьи является вывод о преимуществах СПГ в отношении влияния на окружающую среду над МДГ.

Ключевые слова: СПГ, МДГ, судовое топливо, суда на СПГ, IMO, Выбросы.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ADVANTAGES OF APPLICATION OF LIQUEFIED NATURAL GAS AS THE MAIN TYPE OF MARINE FUEL

V.V. Bochkarev, A.A. Maliuta, A.I. Epikhin, V.A. Turkin, D.O. Iavorskaia

This article is aimed at a comparative analysis of LNG and MDO as a marine fuel in terms of their impact on the environment. A bulk carrier with a deadweight of 50000 is given as the object of study. The cycle of each type of fuel was distributed in three stages: Well-to-Tank (WtT), Tank-to-Wake (TtW) and Well-to-Wake(WtW). In process modeling, the effect of each stage was analyzed based on 5 environmental impact categories. Global Warming Potential (GWP), Acidification Potential (AP), Photochemical Potential (POCP), Eutrophication Potential (EP) and Particulate Matter (PM). The results of the analysis showed that the emission levels for LNG were significantly lower than for MDO in all categories. For example, option 1 was the best with the lowest emission levels per 1.0 * 107 MJ of fuel consumption: 977 tons CO2eq (for GWP), 1.76 tons SO2eq (for AP), 1.18 tons Neq (for EP), 4.28 tons NMVOC equivalent (for POCP) and 26 kg PM 2.5 equivalent (PM). The conclusion of this scientific article is the deduction about the advantages of LNG in terms of environmental impact over MDO.

Keywords: LNG, MDO, marine oil, ships operating with LNG, IMO, Emissions.

Введение

В настоящее время, совершенствование индустриальной технологии позволило людям обмениваться товарами без барьеров. Морская торговля является важной частью этого. В 2017

году, около 10 миллиардов тон товаров были доставлены морскими путями, что представляет собой огромное количество потребления энергии, тем самым увеличивая выбросы.

Поэтому IMO разработала свод правил и регуляций по контролю выбросов.

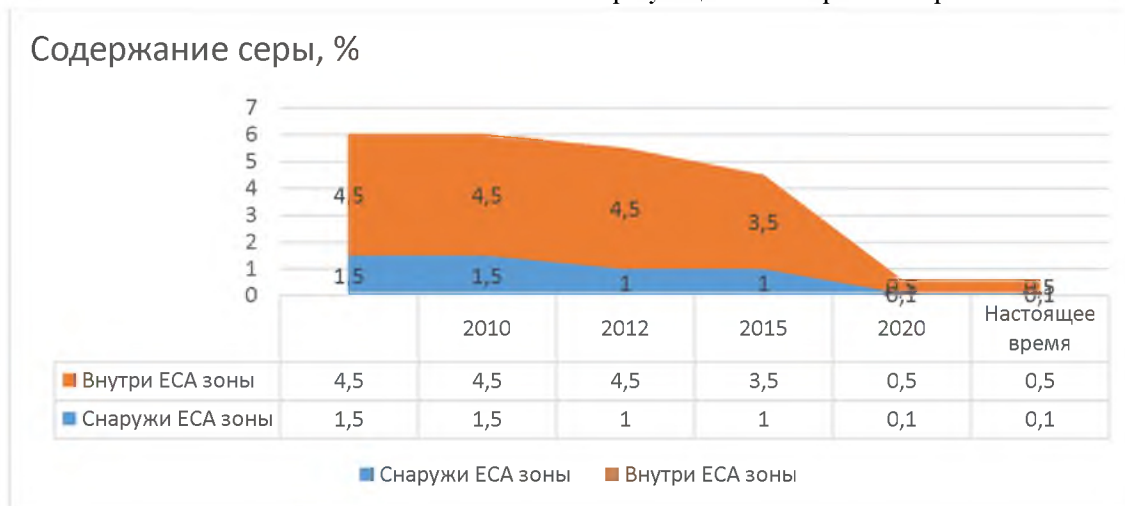


Рисунок 1 – Правила IMO по контролю серы (MARPOL ANNEX 6 reg.14)

Из-за того, что традиционное судовое топливо не отвечает данным требованиям, морская индустрия обращает свое внимание на альтернативные виды топлива. В настоящее время, сжиженный природный газ (СПГ) считается одним из наиболее перспективных видов топлива, так как оно отвечает требованиям IMO.

Различные исследования показали преимущества касательно влияния на окружающую среду использования СПГ на судах. Однако большая часть этих исследований фокусировалась только на уровнях выбросов непосредственно в море, в то время как значительное количество выбросов от добычи топлива до его транспортировки была не учтена. Для того чтобы оценить максимально правильно влияние различных видов топлива на окружающую

среду в данном исследовании вышесказанное учитывалось.

Описание метода транспортировки и последующего использования

В данной статье рассматриваются 3 этапа жизненного цикла топлива.

1. Well to Tank - добытый природный газ транспортируется путем трубопроводов на установки очистки и сжижения. СПГ далее транспортируется газовозом к терминалу СПГ и хранилищам местной индустрии. Далее с помощью бункеровщика или грузовым автотранспортом СПГ транспортируется в бункерный танк судна. Сырая нефть сначала транспортируется на нефтеперерабатывающее предприятие через трубопроводы и посредством танкеров. Очищенная

нефть затем попадает на терминал, откуда на судно.

2. Tank to Wake – Использование судном переданного на него топлива.

3. Well-to-Wake – все вышеописанное вместе.

В дальнейшем виды выбросов будут подразделяться по следующим категориям:

GWP-Global Warming Potential- коэффициент, определяющий степень воздействия различных парниковых газов на глобальное потепление. Эффект от выброса оценивается за определенный промежуток времени. В качестве эталонного газа взят диоксид углерода (CO₂), чей ППП равен 1.

AP-Acidification Potential-потенциал закисления (окисления) связан с кислотным осаждением подкисляющих загрязнителей на почву, грунтовые и поверхностные воды, экосистемы и вещества. Основные загрязнители-NO_x, SO₂, NH_x

POCP-Photochemical Ozone Creation Potential-ФПОО-Фотохимический Потенциал Образования Озона-означает потенциал отдельного Летучего Органического Соединения по отношению к потенциалу других Летучих Органических Соединений образовывать озон в реакции с окислами азота при солнечном свете.

EP-Eutrofication Potential-Потенциал Эвтрофикации-перенасыщение воды и почвы.

PM-Particulate Matter-Твердые Частицы-Аэрозольное загрязнение-смесь в воздухе твердых

микрочастиц и частиц жидкости [5, 8, 9, 10, 11].

В других исследованиях, выбросы в атмосферу и материалы, связанные с постройкой специальных сооружений, не были рассмотрены, а также необходимость потребления энергии этими сооружениями не рассматривалась. Также транспортировка судами СПГ включала в себя и обратный переход этих судов в балласте.

WtT анализ включает в себя все этапы начиная с добычи топлива и заканчивая дальнейшим его хранением на борту. TtW анализ включает действительный расход топлива. WtT и TtW в совокупности формируют полный WtW анализ. Действительной единицей должны быть подача и расход топлива в количестве $1.0 \cdot 10^7$ МДж на примере судна, которое оснащено 500 м³ танком и 400 м³ танком для МДТ. Взяв в расчет плотность СПГ, 450 кг/м³, 225 тонн СПГ занимают танк объемом 500 м³. С 48.9 МДж/кг, СПГ обеспечивает $1.1 \cdot 10^7$ МДж. $1.0 \cdot 10^7$ МДж энергии сопоставимо с доступным рабочим объемом судна, которое рассматривается в данном примере. Что касается МДТ, МДТ обеспечивает энергию в 1.47 на 10^7 МДж, но, чтобы обеспечить $1.0 \cdot 10^7$ МДж, необходимо 204 тонны СПГ и 234 тонны МДТ. В таблице 1 представлены обобщенные свойства СПГ и МДТ. Также следует учесть, что содержание серы в СПГ равно 0%, а в МДТ равняется 0.1%.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика СПГ и МДТ

Тип топлива	Размер танка (м ³)	Плотность (кг/м ³)	Максимальная вместимость танков (тонн)	LHV (теплотворность) (МДж/кг)	Общая энергия (МДж)	Необходимая масса топлива для $1.0 \cdot 10^7$ МДж (тонн)
СПГ	500	450	225	48.9	$1.1 \cdot 10^7$	204
МДТ	400	860	344	42.7	$1.47 \cdot 10^7$	234

Пути доставки СПГ и МДТ были определены, основываясь на данных Корейской Газовой Корпорации (KOGAS).

Таблица 2 отображает спецификации газозовозов и танкеров перевозящих сырую нефть, которые рассчитаны для транспортировки топлива к бункеровочным сооружениям. СПГ танкер

Таблица 2 – Спецификация рассмотренных судов

Тип судна	Двигатель	Расчетная скорость	Грузовая вместимость	Фактор нагрузки	Топливо
Газовоз	27300 кВт	19.5 узлов	147237 м ³	0.55	СПГ
Танкер сырой нефти	12330 кВт	15.2 узла	57741 м ³	0.55	МДТ

Исследуемым судном в этой статье является первый балкер с применением СПГ в качестве топлива- M/V ILSHIN GREEN IRIS, который был построен на верфи Hyundai Mipo в качестве

приводится в движение с помощью паровой турбины на основе отпарного газа с 30% производительностью. Отпарной газ расходует 0.15% от объема СПГ на борту в сутки. Были рассмотрены газозовоз вместимостью 147237 м³ и танкер вместимостью 57741 м³.

нового поколения для проекта, направленного на снижение загрязнения окружающей среды. Характеристики судна приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Спецификация судна, рассматриваемого в исследовании

50000 ДВТ балкер на СПГ			
Общая длина	190.63 м	Брутто регистровый тоннаж	50000 МТ
Ширина	32.26 м	Скорость судна	14 узлов
Осадка	17.30 м	Главный двигатель	2-х т. малооборотный
Вместимость танков	63,200 м ³	Дневной расход топлива	21.30 МТ/день
Бункеровочные танки	500 м ³	Дневной расход газа	17.00 МТ/день
МДТ танки	400 м ³	Диапазон транспортировки (Топливо)	3600 морских миль
МДТ танки	400 м ³	Диапазон транспортировки (Газ)	5300 морских миль

Судно участвует в регулярном внутреннем сообщении в Южной Корее. Маршрут судна - между портами Donghae и Gwangyang, дистанция между этими двумя портами составляет 271 морскую милю (502 км). Основываясь на рабочем профиле, 4 перехода совершаются каждый месяц. Судно может использовать 3 различных вида топлива: СПГ, МДТ, Тяжелое топливо. Учитывая ИМО регуляции на 2020 год, только СПГ и МДТ являются возможными для использования в качестве топлива. Факторы выбросов от потребления судном топлива были определены основываясь на ИМО GHG study (<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>).

Данные в таблице 4 показывают то, что количество CO₂ при использовании СПГ на 14.3% ниже, чем при использовании МДТ в качестве топлива, в то время как СПГ производит в 833 раза больше метана (CH₄) чем МДТ во время сгорания. Беря во внимание серьезное влияние CH₄ на потенциал глобального потепления (GWP) можно сделать вывод о том, что СПГ может оказать негативное влияние на GHG (Парниковые газы). Однако выбросы, связанные с NO_x и PM от СПГ составляют лишь 16.0% и 18.6% от МДТ соответственно. SO₂, оказывающий влияние на AP появляется только при сжигании МДТ. Анализ WtW определяется комбинацией между WtT и TtW анализами.

Таблица 4 – Факторы выбросов от использования СПГ и МДТ

Тип топлива	Фактор выбросов (кг на каждый кг использованного топлива)							
	CO ₂	CO	N ₂ O	PM	CH ₄	NO _x	NM VOC	SO ₂
СПГ	2.75	7.83*10 ⁻³	1.08*10 ⁻⁴	1.8*10 ⁻⁴	5.0*10 ⁻²	1.4*10 ⁻²	3.0*10 ⁻³	-
МДТ	3.21	2.77*10 ⁻³	9.7*10 ⁻⁴	9.7*10 ⁻⁴	6.0*10 ⁻⁵	8.7*10 ⁻²	3.08*10 ⁻³	1.0*10 ⁻³

Таблицы 5 и 6 показывают данные о выбросах, использованные для анализа. Данные связанные с переходом судов для перевозки СПГ описаны в исследованиях (Bengtsson-Life cycle Assesment of Marine Fuels). В результате было обнаружено, что процесс производства наиболее сильно повлиял на выбросы CO₂ по сравнению с другими загрязнителями. Информация о хранении СПГ и бункеровочных операциях освещена в исследованиях (Tagliaferri-Liquefied natural gas for the UK). Выбросы в процессе доставки МДТ от места добычи до нефтеперерабатывающих предприятий отражены в исследованиях (Tan-LCI (Life cycle inventory) analysis of fuels and electricity generation in Singapore). Танкеры использовали МДТ в качестве топлива, что вызвало увеличение уровней выбросов NO_x и SO_x. Процесс переработки нефтепродуктов также производит выбросы NO_x и SO_x в большем количестве, в сравнении с процессами очищения и сжижения СПГ. Выбросы при хранении и бункеровке МДТ такие же, как СПГ только без учета потерей метана.

Использование энергии для охлаждения в этих процессах оказывают существенные выбросы. Выбросы парниковых газов с установок по добыче СПГ, производство и трубопроводы вместе составляют еще 2.54*10⁴ кг эквивалента CO₂ на 1.0*10⁷ МДж LHV [1, 7, 8, 10, 11].

Упуск метана во время бункеровочных операций приводит к приблизительно 4 тоннам CO₂ эквивалента энергии на 1.0*10⁷ МДж LHV. В случае с МДТ производство и транспортировка производят 1.6*10⁵ кг CO₂ эквивалента на 1.0*10⁷ МДж LHV. Операция очистки выделяет серьезное количество парниковых газов эквивалентного к 7.5*10⁴ кг CO₂ на 1.0*10⁷ МДж LHV.

GWP от сжигания СПГ приблизительно в 1.08 раз больше чем от МДТ. В случае со сжиганием СПГ, упуск метана от потребления СПГ поднимает значение эквивалента CO₂ в большем размере. Таблица 7 показывает количество оксидов углерода и выбросов метана в процессе сжигания топлива на борту судна. Определено, что уровни выбросов метана значительно различаются друг от друга в 2 рассматриваемых случаях.

Процессы очистки и сжижения СПГ производят серьезные количества GWP, 5.69*10⁴ эк-

Таблица 5 – Выбросы на доставку МДТ

Добыча и транспортировка (кг на каждый кг сырой нефти)	CO ₂	CO	N ₂ O	NO _x	SO _x	NMVOС	PM
	2.04*10 ⁻¹	3.33*10 ⁻⁵	2.33*10 ⁻⁴	2.94*10 ⁻⁴	2.51*10 ⁻⁶	3.72*10 ⁻⁵	7.17*10 ⁻⁷
Транспортировка морским путем (Саудовская Аравия – Корея)	CO ₂	CO	N ₂ O	NO _x	SO _x	NMVOС	
	2.13*10 ⁻¹	6.23*10 ⁻⁴	5.81*10 ⁻³	1.68*10 ⁻⁴	1.73*10 ⁻⁴	1.39*10 ⁻⁴	
Транспортировка морским путем (США – Корея)	CO ₂	CO	N ₂ O	NO _x	SO _x	NMVOС	
	3.36*10 ⁻¹	9.83*10 ⁻⁴	9.16*10 ⁻³	2.65*10 ⁻⁴	2.73*10 ⁻⁴	2.19*10 ⁻⁴	
Переработка (кг на каждый кг сырой нефти)	CO ₂	CO	N ₂ O	NO _x	SO _x	NMVOС	PM
	3.00*10 ⁻¹	3.70*10 ⁻⁴	5.65*10 ⁻⁶	6.99*10 ⁻⁴	1.72*10 ⁻³	3.84*10 ⁻³	3.26*10 ⁻⁵
Терминал хранения МДТ	CO ₂	CO	H ₂ S	NO _x	SO _x	NMVOС	
	1.8*10 ⁻⁴	1.3E*10 ⁻⁶	1.0*10 ⁻⁹	2.6*10 ⁻⁴	4.1*10 ⁻⁷	1.1*10 ⁻⁵	
Бункеровочные операции МДТ (кг на каждые 1М)	CO ₂	CO	H ₂ S	N ₂ O	S ₂ O	NMVOС	
	1.8*10 ⁻⁴	1.3E*10 ⁻⁶	1.0*10 ⁻⁹	2.6*10 ⁻⁹	4.1*10 ⁻⁷	1.1*10 ⁻⁵	

Таблица 6 – Выбросы на транспортировку СПГ

Добыча и транспортировка (кг на тонну природного газа)	CO ₂	CO	N ₂ O	CH ₄	NO _x	S ₂ O	NMVOС	PM
	67.6	0.0917	0.15	0.095		0.428	0.989	-
Очистка и Сжижение (кг на тонну СПГ)	CO ₂	CO	N ₂ O	CH ₄	NO _x	S ₂ O	NMVOС	PM
	228	0.124	0.00747	1.94	0.187	0.00127	0.0124	0.00124
Транспортировка морским путем, 23224 км (Саудовская Аравия – Корея)	CO ₂	CO	N ₂ O	CH ₄	NO _x	NMVOС	PM	
	308	0.21	0.00564	0.00564	0.2	0.0139	0.019	
Транспортировка морским путем, 35300 км (США – Корея)	CO ₂	CO	N ₂ O	CH ₄	NO _x	NMVOС	PM	
	468	0.32	0.00857	0.00857	0.3	0.0211	0.0289	
Вместимость терминала (кг на 1 кг СПГ)	CO ₂	CO	H ₂ S	NO _x	NMVOС	SO _x		
	1.8 *10 ⁻⁴	1.3*10 ⁻⁶	1.0*10 ⁻⁹	2.6*10 ⁻⁹	1.1*10 ⁻⁵	4.1*10 ⁻⁷		
Бункеровочный маршрут (кг на каждые 108 км транспортировки 1 кг СПГ)	Аммониа	Бензол	CO ₂	CO	PM	CH ₄	NO ₂	NO
	1.97*10 ⁻⁸	3.2*10 ⁻⁹	5.72*10 ⁻³	3.83*10 ⁻⁶	1.17*10 ⁻⁷	4.59*10 ⁻⁹	8.44*10 ⁻⁷	6.64*10 ⁻⁶
	N ₂ O	NMVOС	SO ₂					
Бункеровочные операции СПГ (кг на каждые 1М)	CO ₂	CO	CH ₄	H ₂ S	N ₂ O	S ₂ O	NMVOС	
	1.8*10 ⁻⁴	1.3*10 ⁻⁶	8.86*10 ⁻⁶	1.0*10 ⁻⁹	2.6*10 ⁻⁹	4.1*10 ⁻⁷	1.1*10 ⁻⁵	

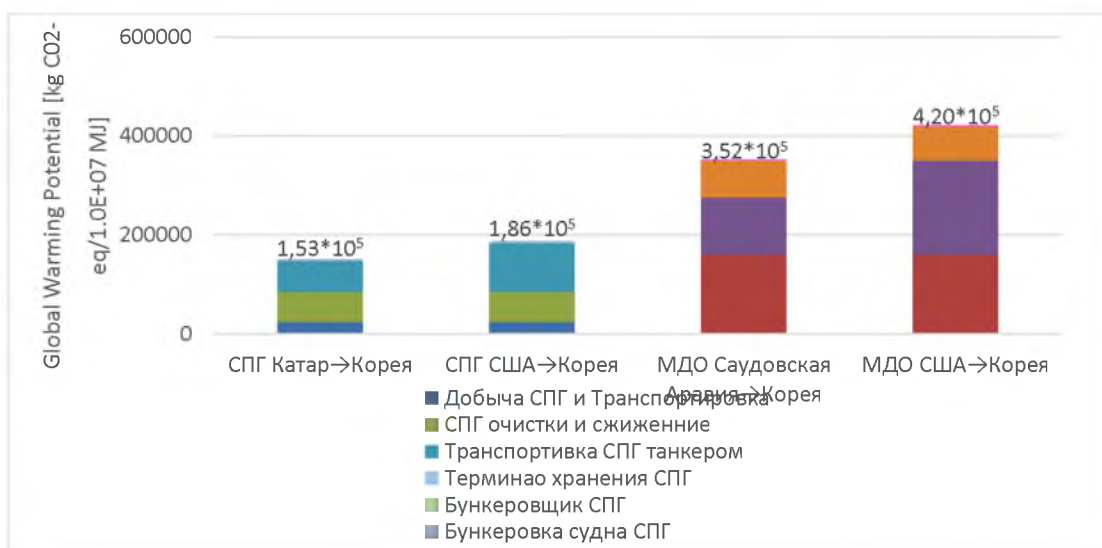


Рисунок 2 – Значения GWP на процессах до использования судном.
Sangsoo Hwang-Life Cycle Assessment of LNG Fueled Vessel in Domestic Services

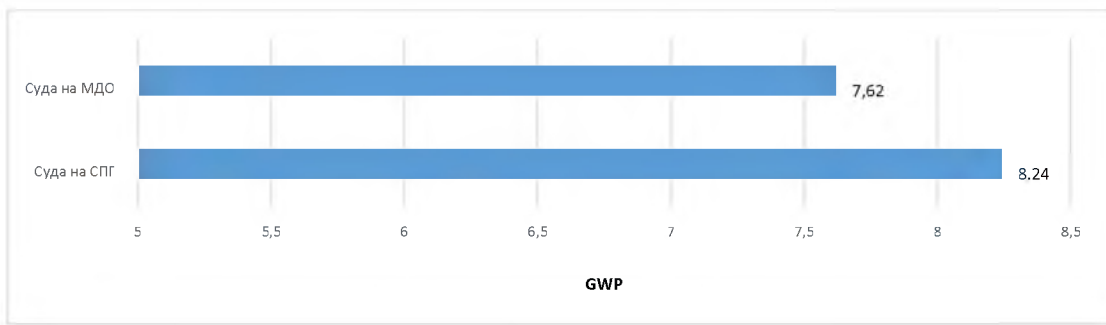


Рисунок 3 – Зависимость GWP от вида топлива при его сжигании

Несмотря на то, что выбросы CO₂ больше при сгорании МДТ, выбросы метана от сгорания СПГ сильно перевешивают это в отношении общего количества GWP.

AP, PM, POCP и EP от потребления топлива представлены на диаграмме (рисунок 4). Значения AP, PM, POCP и EP от потребления МДТ значительно больше, чем от потребления СПГ. Содержание серы в МДТ равное 0.1% также приводит к повышению значения AP [2, 3, 4, 6].

В таблице 7 приведены результаты анализа для AP, PM, POCP и EM выбросов для стадии WtW. За исключением PM выбросы, полученные на стадии WtT более значительны, чем на стадии TtW. В общем, МДТ производят больше местных загрязнителей, чем СПГ. Уровень GWP приблизительно одинаков у обоих видов топлива, но AP, PM, POCP и EM порядка в 5-7 раз больше у МДТ, чем в случае с СПГ.

Таблица 7 – Содержание углекислого газа и метана в выбросах

Тип	Выбросы от СПГ(кг)	Выбросы от МДТ(кг)
Углекислый газ(CO ₂)	5.6*10 ⁵	7.9*10 ⁵
Окись углерода(CO)	1.6*10 ³	6.89*10 ²
Метан(CH ₄)	1.0*10 ⁴	1.49*10 ¹

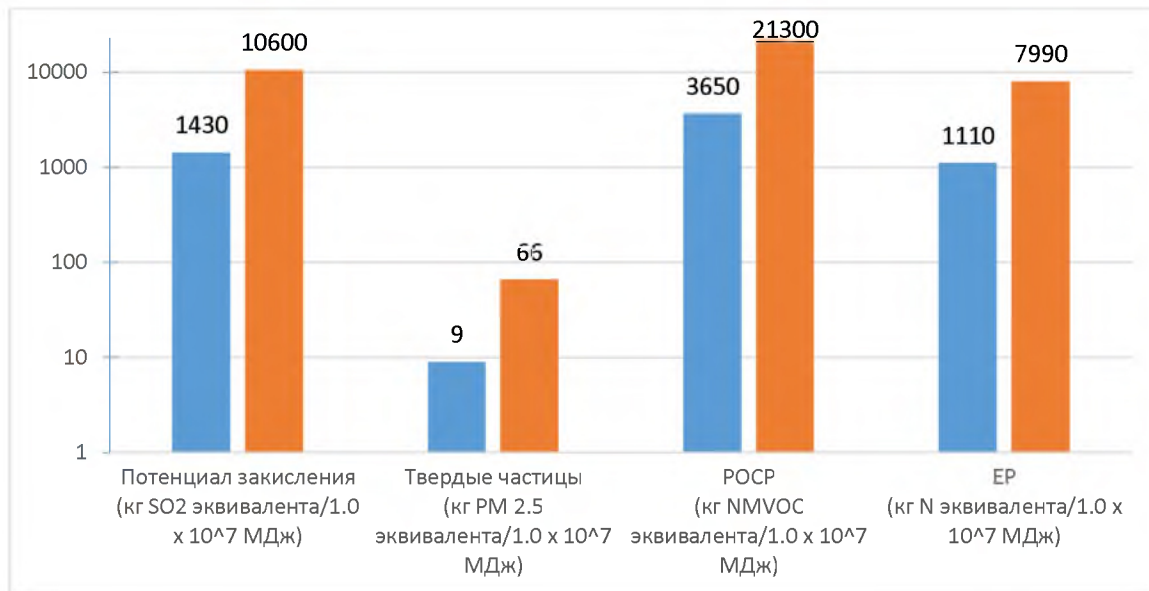


Рисунок 4 – Зависимость AP, PM, POCP и EP от потребления топлива

Обсуждение результатов

Несмотря на то, что и СПГ и МДТ соответствуют правилам ИМО 2020 по сере, согласно результатам исследования влияние на окружающую среду этих видов топлива отличается в зависимости от вида топлива и путей его получения и доставки. Моделирование каждой стадии

помогло в определении процессов, которые потенциально можно оптимизировать и снизить уровни выбросов. В этом исследовании негативный эффект, оказываемый на окружающую среду в отношении путей доставки и обработки топлива, оказался достаточно высоким. Отсюда

могут быть предложены несколько путей снижения выбросов через оптимизацию вышеуказанных процессов:

- Применение трубопроводного транспорта или более экологичных решений других видов транспортировки;
- Увеличение количества бункеровочных предприятий СПГ для сокращения «плеча» доставки;
- Использование возобновляемых видов энергии для внутреннего транспорта.

С другой стороны, анализ WtW показал, что выбросы от потребления топлива являются доминантными во всем процессе. Несмотря на то, что выбросы CO₂ от СПГ меньше чем от МДТ, результаты анализа влияния на стадии TtW показывают то, что выпуск метана при использовании СПГ является очень важным фактором в увеличении выбросов GWP.

Определено, что за весь цикл GWP уровень от СПГ равен $9.77 \cdot 10^5$ кг CO₂ эквивалента на $1.0 \cdot 10^7$ МДж потребления топлива, тогда как для МДТ $1.11 \cdot 10^6$ кг CO₂ эквивалента на $1.0 \cdot 10^7$ МДж потребления топлива. Эти результаты показывают необходимость минимизации случаев выпуска метана при использовании в качестве топлива.

Исследование показало преимущество использования СПГ перед МДТ, однако если будут предложены успешные решения по предотвращению или минимизации выпуска метана. Результаты анализа влияния на окружающую среду для местных загрязнителей еще четче показали преимущество СПГ перед МДТ, так как МДТ приводит к увеличению выбросов в 5-7 раз.

Заключение.

Использование СПГ в качестве судового топлива является более эффективным в отношении снижения загрязнений, в сравнении с общепринятыми видами ископаемого топлива (включая МДТ). Количество выбросов было представлено следующим образом:

- GWP=977 тонн CO₂ эквивалента на $1.0 \cdot 10^7$ МДж потребления топлива;
- AP=1.76 тонн SO₂ эквивалента на $1.0 \cdot 10^7$ МДж потребления топлива;
- EP=1.18 тонн NO_x эквивалента на $1.0 \cdot 10^7$ МДж потребления топлива;
- POCP=4.28 тонн NMVOC эквивалента на $1.0 \cdot 10^7$ МДж потребления топлива;
- PM=26 кг PM_{2.5} эквивалента на $1.0 \cdot 10^7$ МДж потребления топлива.

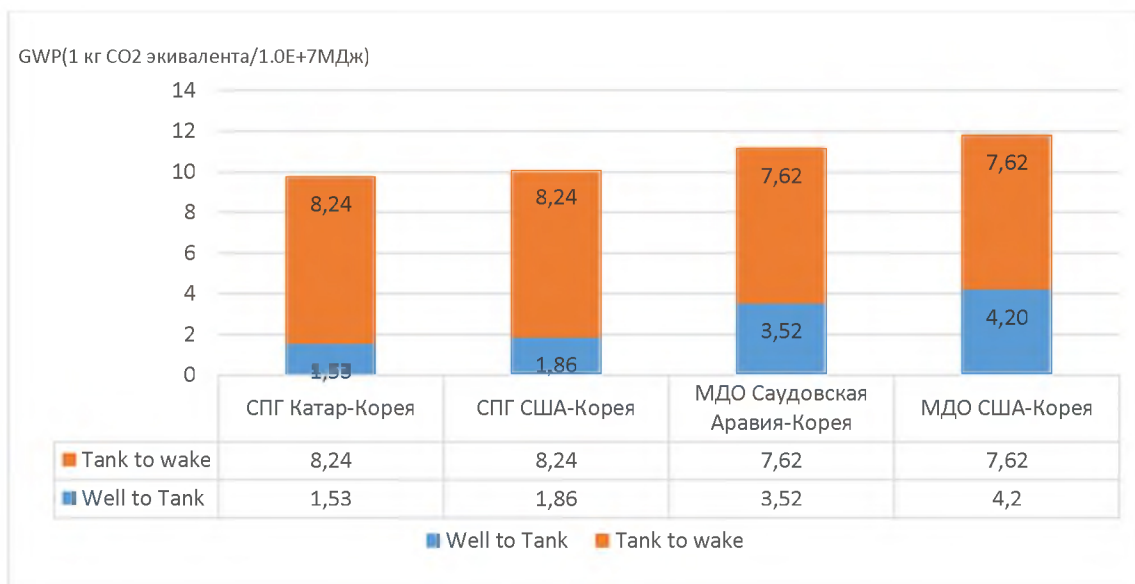


Рисунок 5a – GWP от анализа Well to Wake

Расстояния между местами добычи, переработки и бункеровки оказывают существенное влияние на параметры, используемые в определении влияния на окружающую среду судовых топлив, что подразумевает важность оптимального расположения мест добычи, производства, переработки и бункеровки.

Выпуск метана свойственный сгоранию СПГ был идентифицирован как важная проблема, требующая решения для того чтобы принять СПГ в качестве повсеместного использования в качестве судового топлива. Уровень GWP является высоким и требует действий по его снижению.

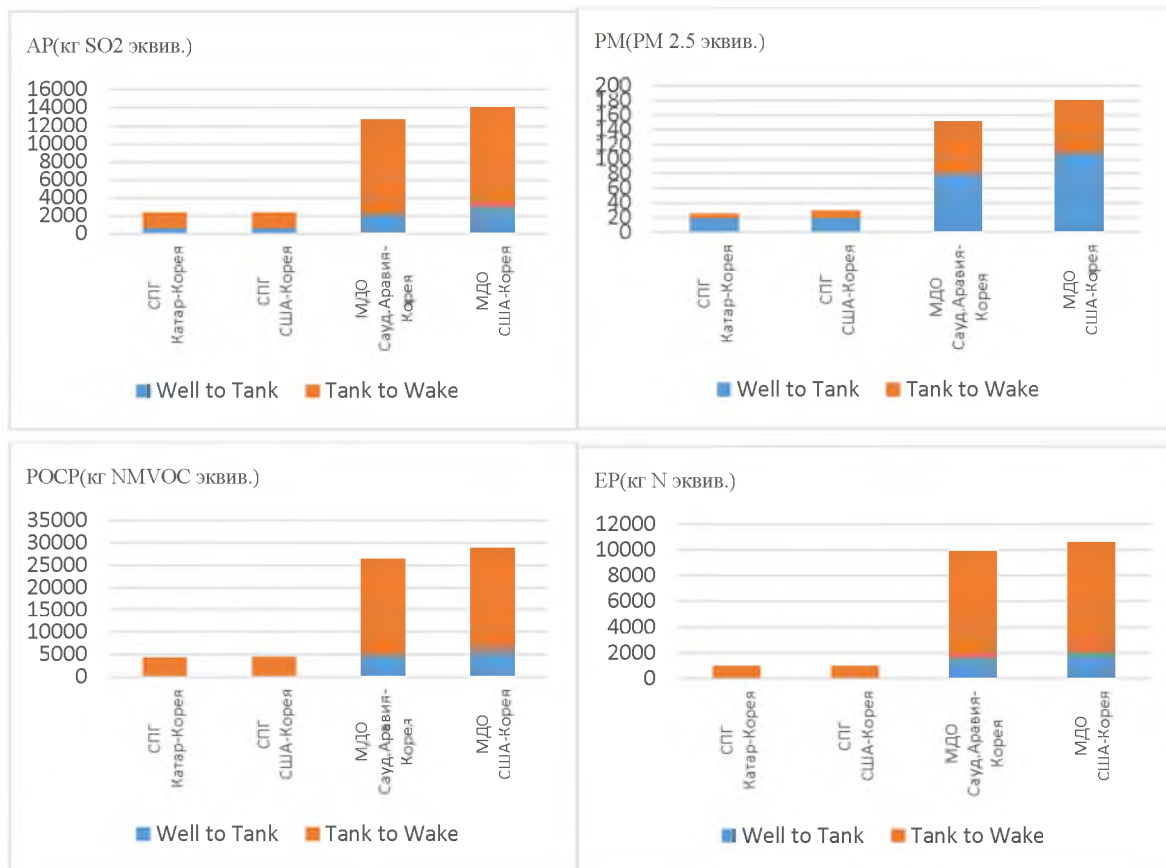


Рисунок 56 – AP, PM, POCP и EP от анализа Well to Wake

Литература

1. Sangsoo Hwang, Byongug Jeong ,Kwanghyo Jung, Mingyu Kim and Peilin Zhou. Life Cycle Assessment of LNG Fueled Vessel in Domestic Services j.Mar.Sci.Eng 2019,7,359
2. Tan, R.B.;Wijaya, D.;Khuo, H.H. LCI(Life cycle inventory) analysis of fuels and electricity generation in Singapore. *Energy* 2010,35 4910-4916
3. Tagliaferri,C.;Clift,R.;Lettieri,P.;Chapman,C. Liquefied natural gas for the UK: A life cycle assessment. *Int. J.Life Cycle Assess* 2017,49, 1944-1956
4. Bengtsson, S.;Andersson,K.;Fridell, E. *Life cycle Assesment of Marine Fuels: A Comparative Study of Four Fossil Fuels for Marine Propulsion*; Chalmers University of Technology: Gothenburg, Sweden,2011
5. Jeong,B.Comparative Analysis of SO_x Emission-Compliant Options for Marine Vessels from Environmental Perspective. *J.Korean Soc. Power Syst. Eng.* 2018, 22,72-78
6. Jeong,B.;Jang,H.;Zhou,P.;Lee,J.U. Investigation on marine LNG propulsion systems for LNG carriers through an enhanced hybrid decision making model. *J.Clean.Prod.*2019,230,98-115
7. Rocco,M.V.;Lange,S.;Pigoli,L.;Colombo,E.;Pellegrini, L.A. Assessing the energy intensity of alternative chemical and cryogenic natural gas purification processes in LNG production. *J.Clean.Prod.* 2019, 208, 827-840
8. Интернет источник <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>
9. Туркин, В. А. Оценка рисков эксплуатации судовых технических средств с учетом возможности возникновения киберинцидентов / В. А. Туркин, Д. А. Давыдов, А. А. Стяжкин // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – Т. 4. – № 2(53). – С. 58-66. – DOI 10.37220/МИТ.2021.52.2.070.
10. Система инструментального мониторинга концентрации вредных веществ в отработавших газах судовых дизелей / Г. В. Игнатенко, В. А. Туркин, А. В. Щербина, Л. Н. Писаренко // Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте - 2020: труды XXVIII Международной конференции, Новороссийск, 07–12 сентября 2020 года. – Новороссийск: Пензенский государственный университет, 2020. – С. 233-235.
11. Modina, M. A., Shkoda V. V., Kashin Ya. M. Efficiency of methods for cleaning combustion products from sulfur oxides // *Bulatov Readings.* - 2019. - V. 5. - S. 42-44.
12. Plahotnyuk A. N., Kreminsky B. O., Shkoda V. V., Kazaev A. A. Input filter capacitance of the converter feeding the inductor of a two-dimensional electric machine // *Energy and resource-saving*

- technologies and installations VRNA-20: Materials 6th All-Russian Scientific Conference, Krasnodar, November 19–21, 2020. – Krasnodar: Federal State State Military Educational Institution of Higher Education “Krasnodar Higher Military Aviation School for Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov” of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2020. – P. 38-42.
13. Kashin Ya. M., Belov A. A., Shkoda V. V. [et al.] Generalized algorithm for selecting power supply installations for telecommunications facilities // Bulletin of the Adygei State University. Series 4: Natural-mathematical and technical sciences. - 2020. - No. 1 (256). - S. 54-61.
 14. Hekert E. V., Vladetskaya E. A., Bratan S. M., Kharchenko A. O. Influence of external factors on the technological system of a high-precision machine tool in conditions of floating workshops // Marine Intelligent Technologies. - 2021. - T. 4. - No. 2 (53). - S. 33-37. – DOI 10.37220/MIT.2021.52.2.066.
 15. Boran-Keshishyan A. L., Zamorenov M. V., Florya P. N. [et al.] Functioning of a technical system with an instantly replenished time reserve, taking into account prevention // Marine Intelligent Technologies. - 2021. - V. 1. - No. 4 (54). – S. 258-264. – DOI 10.37220/MIT.2021.54.4.061
- Reference
1. Sangsoo Hwang, Byongug Jeong, Kwanghyo Jung, Mingyu Kim and Peilin Zhou. Life Cycle Assessment of LNG Fueled Vessel in Domestic Services j.Mar.Sci.Eng 2019,7,359
 2. Tan, R.B.; Wijaya, D.; Khoo, H.H. LCI (Life cycle inventory) analysis of fuels and electricity generation in Singapore. Energy 2010,35 4910-4916
 3. Tagliaferri, C.; Clift, R.; Lettieri, P.; Chapman, C. Liquefied natural gas for the UK: A life cycle assessment. Int. J. Life Cycle Assess 2017,49, 1944-1956
 4. Bengtsson, S.; Andersson, K.; Fridell, E. Life cycle Assessment of Marine Fuels: A Comparative Study of Four Fossil Fuels for Marine Propulsion; Chalmers University of Technology: Gothenburg, Sweden, 2011
 5. Jeong, B. Comparative Analysis of SOx Emission-Compliant Options for Marine Vessels from Environmental Perspective. J. Korean Soc. Power Syst. Eng. 2018,22,72-78
 6. Jeong, B.; Jang, H.; Zhou, P.; Lee, J. U. Investigation on marine LNG propulsion systems for LNG carriers through an enhanced hybrid decision making model. J. Clean. Prod. 2019, 230, 98-115
 7. Rocco, M. V.; Lange, S.; Pigoli, L.; Colombo, E.; Pellegrini, L. A. Assessing the energy intensity of alternative chemical and cryogenic natural gas purification processes in LNG production. J. Clean. Prod. 2019,208,827-840
 8. Internet istochnik <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>
 9. Turkin, V. A. Ocenka riskov eksploatacii sudovyh tekhnicheskikh sredstv s uchetom vozmozhnosti vzniknoveniya kiberincidentov / V. A. Turkin, D. A. Davydov, A. A. Styazhkin // Morskije intelektual'nye tekhnologii. – 2021. – T. 4. – № 2(53). – S. 58-66. – DOI 10.37220/MIT.2021.52.2.070.
 10. Sistema instrumental'nogo monitoringa koncentracii vrednykh veshchestv v otrabotavshih gazakh sudovyh dizelej / G. V. Ignatenko, V. A. Turkin, A. V. SHCHerbina, L. N. Pisarenko // Lazerno-informacionnye tekhnologii v medicine, biologii, geokologii i na transporte - 2020 : trudy XXVIII Mezhdunarodnoj konferencii, Novorossijsk, 07–12 sentyabrya 2020 goda. – Novorossijsk: Penzenskij gosudarstvennyj universitet, 2020. – S. 233-235.
 11. Modina, M. A., Shkoda V. V., Kashin Ya. M. Efficiency of methods for cleaning combustion products from sulfur oxides // Bulatov Readings. - 2019. - V. 5. - S. 42-44.
 12. Plahotnyuk A. N., Kreminsky B. O., Shkoda V. V., Kazaev A. A. Input filter capacitance of the converter feeding the inductor of a two-dimensional electric machine // Energy and resource-saving technologies and installations VRNA-20: Materials 6th All-Russian Scientific Conference, Krasnodar, November 19–21, 2020. – Krasnodar: Federal State State Military Educational Institution of Higher Education “Krasnodar Higher Military Aviation School for Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov” of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2020. – P. 38-42.
 13. Kashin Ya. M., Belov A. A., Shkoda V. V. [et al.] Generalized algorithm for selecting power supply installations for telecommunications facilities // Bulletin of the Adygei State University. Series 4: Natural-mathematical and technical sciences. - 2020. - No. 1 (256). - S. 54-61.
 14. Hekert E. V., Vladetskaya E. A., Bratan S. M., Kharchenko A. O. Influence of external factors on the technological system of a high-precision machine tool in conditions of floating workshops // Marine Intelligent Technologies. - 2021. - T. 4. - No. 2 (53). - S. 33-37. – DOI 10.37220/MIT.2021.52.2.066.
 15. Boran-Keshishyan A. L., Zamorenov M. V., Florya P. N. [et al.] Functioning of a technical system with an instantly replenished time reserve, taking into account prevention // Marine Intelligent Technologies. - 2021. - V. 1. - No. 4 (54). – S. 258-264. – DOI 10.37220/MIT.2021.54.4.061