

УДК 656.61:[628.395+62-63]:336.221.264
EDN CKHSXE

ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗМОЖНОГО ВВЕДЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ИМО ПО ДЕКАРБОНИЗАЦИИ

А.О. Березин, д-р. экон. наук, профессор, Российский морской регистр судоходства, 191186 Россия, Санкт-Петербург, Миллионная ул., 7А, e-mail: berezin.ao@rs-class.org

А.С. Реуцкий, канд. техн. наук, Российский морской регистр судоходства, 191186 Россия, Санкт-Петербург, Миллионная ул., 7А, e-mail: reuckii.as@rs-class.org

В.К. Шурпак, канд. техн. наук, Российский морской регистр судоходства, 191186 Россия, Санкт-Петербург, Миллионная ул., 7А, e-mail: shurpyak.vk@rs-class.org

С.А. Толмачев, зам. нач. междунар. отдела, Российский морской регистр судоходства, 191186 Россия, Санкт-Петербург, Миллионная ул., 7А, e-mail: tolmatchev.sa@rs-class.org

В статье рассматривается адекватность показателя интенсивности топливных выбросов парниковых газов (ИТВПГ / GFI) с точки зрения соотношения его экологической результативности и фискальной нагрузки на судовладельцев. GFI является ключевым элементом разрабатываемой ИМО Рамочной программы «Чистый ноль» (IMO Net-Zero Framework) и методологии оценки выбросов в течение полного жизненного цикла топлива (WtW). На основе репрезентативной выборки судов под флагом РФ (нефтеналивные, контейнеровозы, сухогрузы) с различными рейтингами СИ авторы выполнили серию расчетов для семи вариантов замены традиционного топлива на низкосернистое и биотопливо (FAME, HVO).

Результаты исследования показали, что показатель GFI нечувствителен к эксплуатационной эффективности судна, а переход на альтернативные виды топлива не приводит к значимому снижению углеродного следа по методологии WtW. Установлено, что к 2030 г. большинство судов будет обязано оплачивать углеродные сборы в Фонд чистого нуля ИМО (IMO Net-Zero Fund), при этом наиболее выгодной стратегией для судовладельца остается отказ от внедрения биотоплива, так как это приводит к двойным расходам. Авторы делают вывод, что в текущем виде GFI является инструментом фискального, а не экологического регулирования, и его эффективность возможна только при комплексном повышении энергоэффективности судов и использовании внешних источников энергии.

Ключевые слова: ИМО, GFI, WtW, Рамочная программа ИМО «Чистый ноль», СИ, энергоэффективность, суда под российским флагом, Российский морской регистр судоходства.

Для цитирования: Березин А.О. Оценка последствий возможного введения требований ИМО по декарбонизации / А.О. Березин, А.С. Реуцкий, В.К. Шурпак, С.А. Толмачев // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2026. — Т. 56, № 2. — С. 39–53. — EDN CKHSXE.

ВВЕДЕНИЕ

Последние исследования демонстрируют значительное снижение выбросов парниковых газов (далее — ПГ) с судов; например, исследование INTERTANKO показало снижение выбросов от международного судоходства, которое достигло 37,85 % от уровня выбросов 2008 г. [1, Table 2]. Этот факт демонстрирует эффективность мер ИМО, принятых в последние годы. Эти меры включают снижение содержания серы в судовом топливе, принятие Кодекса по содержанию оксидов азота и принятие нескольких конструктивных проектных и операционных коэффициентов энергоэффективности (EEDI, EEXI, СИ). Очевидно, что эти меры не позволят добиться весьма амбициозных целей ИМО по достижению практически полной углеродной нейтральности мирового флота морских судов приблизительно к 2050 г. По этой причине в настоящий момент ИМО предпринимает попытки перейти к Рамочной программе «Чистый ноль» (IMO Net-Zero Framework), основанной на WtW-методологии учета выбросов ПГ для оценки выбросов полного жизненного цикла для всех видов судовых топлив.

Программа чистого нуля ИМО включает технические и экономические элементы, а также различные вспомогательные руководящие принципы. Проект рабочего плана по подготовке к вступлению в силу системы включает 13 направлений работы [2], наиболее важными из которых в связи с данным исследованием являются:

- разработка руководств, связанных с интенсивностью выбросов ПГ (GFI) и подходами к соблюдению требований GFI;

- дальнейшая разработка руководства по определению выбросов ПГ в рамках жизненного цикла судового топлива (поправки к LCA Guidelines 2024 г., разработка коэффициентов выбросов парниковых газов по умолчанию);

- Фонд чистого нуля ИМО.

Последний пункт в списке демонстрирует очень необычное для ИМО явление — элемент так называемых экономических мер. Связь между экономическими мерами и сокращением выбросов ПГ заключается в финансовом механизме, который направлен на выравнивание цен на традиционное нефтяное топливо и альтернативные виды топлива: Фонд чистого нуля ИМО собирает деньги с судовладельцев и распределяет их между производителями альтернативного топлива (ZNZ — с нулевым или близким к нулевому выбросом углерода), производителями энергоэффективных технологий и другими заинтересованными сторонами. По мнению авторов этих мер, такой подход должен проложить путь к декарбонизации морского транспорта.

Таким образом, основной целью данного исследования является оценка адекватности GFI с точки зрения его экологической эффективности и фискальной нагрузки на судовладельцев, поскольку GFI является краеугольным камнем соответствующей методологии ИМО [3].

Исследование преследует несколько целей:

- определение чувствительности схемы эксплуатации судна к выбросам ПГ в контексте GFI;
- потенциальное сокращение выбросов ПГ с судов в случае принятия GFI в существующем виде по сравнению с методологией МГЭИК;
- финансовые последствия для судовладельцев в случае принятия соответствующих поправок к Приложению VI к МАРПОЛ, связанных с GFI, таких как увеличение стоимости топлива и взносов в Фонд ИМО [3].

На основании результатов этого исследования авторы сделали несколько выводов о содержании Рамочной программы ИМО «Чистый ноль».

1. СБОР ДАННЫХ

Для определения достигнутого значения ИТВПГ (GFI) использована репрезентативная выборка судов под флагом Российской Федерации с классом Российского морского регистра судоходства, для которых характеристики расхода топлива за 2024 г. переданы в систему сбора данных ИМО (IMO Data Collection System — DCS) и которым присвоены соответствующие рейтинги (A, B, C, D, E) интенсивности углеродных выбросов (Carbon Intensity Indicator — СИ). Параметры выбранных для анализа судов, составляющих статистическую выборку, обеспечивают репрезентативность этой выборки, вследствие чего результаты данного исследования справедливо можно экстраполировать на суда под российским флагом, на которые распространяются Правила 27 и 28 Приложения VI МАРПОЛ. В статистической выборке присутствуют суда трех типов: нефтеналивные, контейнерные и сухогрузные (генеральные грузы). Суда одного типа подобраны с учетом их дедвейта и разного рейтинга (СИ) для последующей проверки чувствительности эксплуатационной схемы к интенсивности выбросов ПГ. Обезличенные характеристики судов представлены в табл. 1.

Поскольку из всех способов снижения выбросов ПГ морскими судами только замена традиционных сортов жидкого нефтяного топлива на различные комбинации низкосернистого топлива и биодизеля (дизельного топлива, содержащего до 30 % продукта, полученного из биогенного сырья) не требует значительных капитальных инвестиций в судно и бункеровочную инфраструктуру и методика их расчета в достаточной мере раскрыта в Руководящих принципах ИМО [3], в исследовании были рассмотрены только эти виды альтернативных топлив. Несмотря на значительный потенциал других видов альтернативных топлив (спиртовых топлив, метана [4, 5], водорода [6]) в снижении выбросов ПГ, ряд объективных причин делает перспективу их использования как минимум туманной. К числу этих причин можно отнести их недоступность на мировом бункерном рынке, отсутствие готовых технических решений по их внедрению, понимание их будущей стоимости и необходимых затрат на их внедрение. Помимо этого, множественные пробелы в разрабатываемом ИМО методическом аппарате (отсутствие многих коэффициентов WtT «по умолчанию») делают невозможным их практический учет в данном исследовании. Используемые в расчете характеристики топлив представлены в табл. 2.

Таблица 1

Обезличенные характеристики некоторых судов статистической выборки за 2024 г.

Тип судна	DWT	Мощность (ном)		Рейтинг СII	Потр. топливо (т)		Выбросы CO ₂	
		ГД	ВДГ		MDO	HFO	MDO	HFO
Нефтеналивное	112 909	13 778	4 440	A	2 254	7 452	7 227	23 206
Нефтеналивное	156 572	18 660	3 060	B	244	7 488	784	23 318
Нефтеналивное	109 989	11 327	2 400	C	117	2 453	375	7 647
Нефтеналивное	110 119	11 327	2 400	D	102	1 292	326	4 024
Контейнерное	13 007	7 860	1 950	A	243	3 631	780	11 307
Контейнерное	12 561	7 980	1 845	B	47	3 674	151	11 476
Контейнерное	8 168	7 000	1 860	C	387	2 784	1 241	8 668
Контейнерное	8 138	7 200	1 500	D	960	2 450	3 078	7 629
Контейнерное	8 200	7 200	1 500	E	700	2 200	2 244	6 851
Генгруз	8 168	2 400	852	A	189	689	607	2 146
Генгруз	7 365	5 100	1 000	B	266	1 626	851	5 071
Генгруз	7 726	2 400	720	C	174	790	558	2 460
Генгруз	7 649	2 400	720	D	202	721	649	2 245
Генгруз	8 825	5 440	800	E	540	1 729	1 732	5 383

Таблица 2

Используемые в расчете характеристики топлив

№	Тип топлива	ИТВПГ	НТС	Переводные коэффициенты			ИТВПГ TtW	Eij = WtT + TtW	Стоимость*
				Cf _{CO₂}	Cf _{CH₄}	Cf _{N₂O}			
		г CO ₂ -экв./МДж	МДж/г	г CO ₂ /г топлива	г N ₂ O/г топлива	г CH ₄ /г топлива		г CO ₂ -экв./МДж	USD/т
1	VLSFO _{S ≤ 0,50}	16,8	0,0402	3,114	0,00005	0,00018	78,68	95,48	519
2	HFO _{S > 0,50 %}	14,9	0,0402	3,114	0,00005	0,00018	78,68	93,58	444
3	MDO _{S ≤ 0,10}	17,7	0,0427	3,206	0,00005	0,00018	76,23	93,93	662
4	BioD _{FAME}	20,8	0,0372	2,834	0	0	15,24	36,04	1 450
5	BioD _{HVO}	14,9	0,044	2,834	0	0	12,88	27,78	2 400

* Средняя стоимость за 2025 г. по данным [7, 8].

Поскольку по разрабатываемой методологии [3] тип сырья и способы производства судового топлива существенно влияют на выбросы «от скважины до танка» WtT, тем самым влияя на GFI, эти параметры включены в табл. 2 для повышения воспроизводимости и научной обоснованности. Выбросы CH₄ и N₂O незначительны, однако для выбранных топлив также включены в анализ. Расчет достигнутого значения интенсивности топливных выбросов судов осуществляется в соответствии с Руководящими принципами 2024 г. по выбросам ПГ в течение жизненного цикла судового топлива [3].

2. ПОТЕНЦИАЛ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Некоторые газы, выделяющиеся при производстве и потреблении судового топлива, приводят к глобальному потеплению. Показатель потенциала глобального потепления (далее — ПГП, GWP) используется для количественной оценки относительного воздействия рассматриваемого ПГ на климат. Он обозначает количество радиационной энергии, поглощенной одной тонной ПГ по сравнению с одной тонной CO_2 в течение определенного периода времени (20, 100 или 500 лет). В руководящих принципах ИМО для расчетов ПГП используется временной интервал в 100 лет. ПГП является ключевым показателем для сравнения воздействия различных ПГ на климат, при этом CO_2 используется в качестве эквивалента со значением 1. Более высокий ПГП указывает на то, что газ оказывает более сильное парниковое воздействие по сравнению с CO_2 . Согласно Пятому оценочному отчету Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), значения ПГП для CO_2 , CH_4 и N_2O за 100-летний период (ПГП-100) приведены в табл. 3 [9].

Таблица 3

Потенциал глобального потепления для рассматриваемых газов

Газ	ПГП-100
Двуокись углерода CO_2	1
Метан CH_4	28
Закись азота N_2O	265

ПГП-100 метана CH_4 равен 28, это означает, что в течение 100 лет одна тонна CH_4 поглощает примерно в 28 раз больше радиационной энергии, чем эквивалентная масса CO_2 . Несмотря на свой высокий потенциал потепления, метан имеет относительно короткий срок жизни в атмосфере, составляющий в среднем около десяти лет. Напротив, N_2O остается в атмосфере более ста лет и имеет ПГП-100, равный приблизительно 265, что делает его значительно более мощным, чем CO_2 , с точки зрения долгосрочного воздействия на климат.

3. ВВОДИМОЕ НОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ИМО

Ключевым показателем в системе IMO Net-Zero Framework рассматривается индекс топливных выбросов ПГ (ИТВПГ — GFI), смещающий фокус регулирования с операционной эффективности судна на углеродоемкость используемого им топлива. Стандарт ИТВПГ (GFI) — это регулирование углеродоемкости топлива, применяемое к судам валовой вместимостью более 5000. ИТВПГ представляет собой основополагающий элемент более широкой программы ИМО по декарбонизации. При его определении используется методология WtW, учитывающая выбросы ПГ на протяжении всего жизненного цикла судового топлива (от производства и транспортировки до сжигания на борту), что создает всеобъемлющую основу для оценки соответствия [10]. Судам необходимо будет ежегодно рассчитывать значения фактической годовой интенсивности топливных выбросов ПГ, выражаемой в CO_2 -экв./МДж энергии (1).

$$GFI_{attained} = (\sum_j EI_j Energy_j) / (Energy_{total}), \text{ г } \text{CO}_2\text{-экв./МДж}, \quad (1)$$

где j — тип топлива или источник энергии;

J — общее количество источников топлива или энергии, использованных в течение отчетного периода эксплуатации морского судна, для всех судов расчета $J=2$ (HFO и MDO);

EI_j , г CO_2 -экв./МДж — содержание ПГ в каждом j -м топливе, то есть количество ПГ, выбрасываемое в атмосферу для получения 1 МДж энергии из топлива в процессе WtW;

$Energy_j$, МДж — количество энергии каждого вида топлива j ;

$Energy_{total}$, МДж — общее количество энергии, использованное морским судном за отчетный период.

Несмотря на то, что в использованном судном топливе содержится значительная часть общей энергии, при расчете $Energy_{total}$ также учитывается использование электроэнергии, получаемой от береговых электростанций, и использование возобновляемых источников энергии.

Величина г CO₂-экв. (2) рассчитывается на основе 100-летнего потенциала глобального потепления CO₂, CH₄ и N₂O (табл. 3).

$$\text{г CO}_2\text{-экв.} = \text{ПГП}_{\text{CO}_2(100)} \cdot \text{г CO}_2 + \text{ПГП}_{\text{CH}_4(100)} \cdot \text{г CH}_4 + \text{ПГП}_{\text{NO}_2(100)} \cdot \text{г NO}_2. \quad (2)$$

Использование энергоносителей с нулевым или близким к нулю уровнем выбросов позволяет существенно снизить достигнутое значение ИТВПГ ($\text{GFI}_{\text{attained}}$) и, при соблюдении установленных порогов, обеспечить соответствие судна нормативным требованиям без дополнительных финансовых обязательств. В рамках разрабатываемой системы IMO Net-Zero Framework предусмотрено ежегодное нормирование ИТВПГ (GFI_T). Для периода 2028–2035 гг. установлены два яруса (уровня) целевых показателей: базовый целевой показатель GFI (Base Target Annual GFI) и целевой показатель прямого соответствия GFI (Direct Compliance Target Annual GFI). Суда, значения ИТВПГ ($\text{GFI}_{\text{attained}}$) которых превышают установленные пороги, обязаны компенсировать разницу через механизмы Фонда чистого нуля ИМО. Основные термины, используемые в данной системе, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Термины, относящиеся к методологии ИТВПГ

Термин	Определение
ИТВПГ _{ДОСТИГН}	$\text{GFI}_{\text{attained}}$ Фактическая ИТВПГ судна в течение года, г CO ₂ -экв./МДж
ИТВПГ _{ЦЕЛЕВОЙ}	GFI_T Целевой показатель ИТВПГ за отчетный год, рассчитанный путем применения редукционного коэффициента к базовому уровню 2008 г. (93,3 г CO ₂ -экв./МДж), включающий два яруса
ИТВПГ _{БАЗОВЫЙ}	Base Target Annual GFI Годовой целевой показатель ИТВПГ верхнего уровня (ярус 1), демонстрирующий снижение на 4 % в 2028 г. и 30 % в 2035 г. по сравнению с базовым уровнем 2008 г.
ИТВПГ _{ПР. СООТВ}	Direct Compliance Target Annual GFI Годовой целевой показатель ИТВПГ нижнего уровня (ярус 2) прямого соответствия, демонстрирующий снижение на 17 % в 2028 г. и 43 % в 2035 г., по сравнению с базовым уровнем 2008 г.

При расчете ИТВПГ учитывается количество и интенсивность выбросов за весь жизненный цикл каждого вида потребленного на судне топлива. Фактическая интенсивность выбросов ИТВПГ сравнивается с двумя значениями: целевым годовым ИТВПГ — «базовым целевым показателем» — и «целевым показателем прямого соответствия» (значения ежегодно ужесточаются и установлены в Правиле 35 Приложения VI МАРПОЛ на период с 2028 до 2035 г., а также для 2040 г.), таким образом будет определяться баланс соответствия судна. Как базовые, так и прямые целевые показатели соответствия, а также порог внедрения технологий, видов топлива и/или источников энергии с нулевым или близким к нулевому уровню выбросов ПГ (ZNZ) представлены на рис. 1.

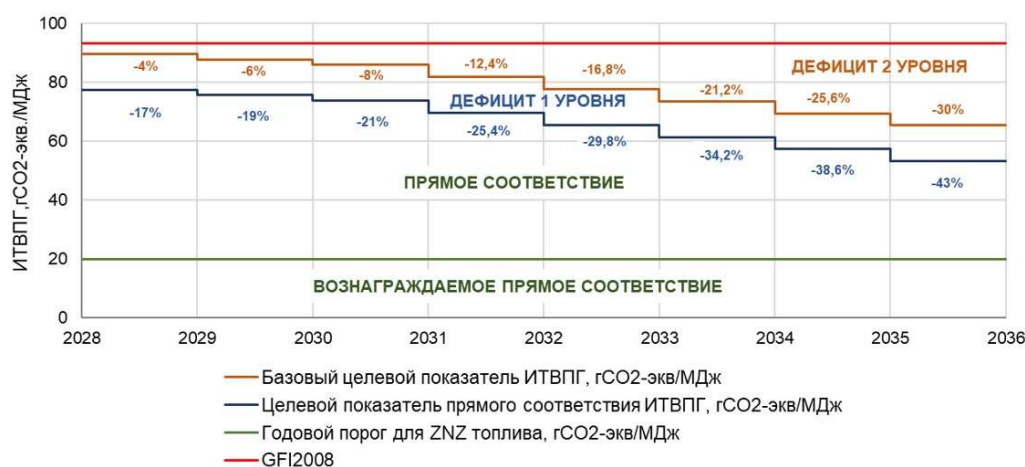


Рис. 1. Ежегодные изменения лимитов ИТВПГ (GFI)

Базовые и прямые пороговые значения соответствия целевому показателю GFI для морских судов постепенно снижаются от 2028 к 2035 г. Для расчета GFI_T используются уравнения (3, 4).

$$GFI = (gCO_2 - equivalent) / MJ, \quad (3)$$

$$GFI_T = (1 - Z_T / 100) \cdot GFI_{2008}. \quad (4)$$

Расчет баланса соответствия GFI (в общем виде).

Базовые и прямые целевые показатели соответствия GFI, достигаемые каждым судном за каждый год, должны находиться в пределах установленных границ (рис. 1) на конец каждого отчетного периода. Годовое соответствие судна GFI определяется соответствующим образом. Уравнение (5) предоставляет метод расчета баланса соответствия требованиям GFI.

$$GFI_{compliance\ balance\ (tonnes\ of\ CO_2-eq)} = (Direct\ compliance\ target\ annual\ GFI - GFI_{attained}) \cdot Energy_{total}. \quad (5)$$

Если достигнутое судном значение GFI ниже годового целевого показателя прямого соответствия GFI, то это судно считается находящимся в прямом соответствии и получает дополнительные единицы. Количество дополнительных единиц определяется положительным балансом соответствия GFI. Эти единицы измерения должны регистрироваться в реестре GFI в конце каждого отчетного периода. Избыточные единицы (surplus units) измерения могут использоваться тремя различными способами:

- 1) компенсировать дефицит других судов (за исключением дефицита уровня 1, который должен покрываться компенсационными единицами (remedial units));
- 2) использовать для будущих отчетных периодов;
- 3) отказаться от их использования, чтобы сократить выбросы ПГ (срок годности единиц, если они не используются, истекает через 2 года).

Если баланс соответствия требованиям GFI отрицательный, на судне имеется несоответствие требованиям, которое необходимо устранить с использованием утвержденных методов GFI. Такой дефицит относится к одной из двух категорий, как показано на рис. 1. В первом сценарии достигнутый GFI судна находится на уровне или ниже годового базового целевого показателя, но все еще выше целевого показателя прямого соответствия. В результате судно оказывается между синей и оранжевой линиями на рис. 1, что приводит к несоответствию требованиям уровня 1 (в тоннах CO_2 -экв.), которое рассчитывается с использованием уравнения (6):

$$Tier\ 1_{compliance\ deficit\ (tonnes\ of\ CO_2-eq)} = (Direct\ compliance\ target\ annual\ GFI - GFI_{attained}) \cdot Energy_{total}. \quad (6)$$

Получается, одна тонна CO_2 -экв. равна одной компенсационной единице (remedial unit), которая стоит 100 USD. Перемножаем $Tier\ 1_{compliance\ deficit}$ на 100 USD и получаем годовой углеродный сбор.

Если дефицит уровня 2, считаем баланс соответствия ему по формулам:

$$Tier\ 1_{compliance\ deficit\ (tonnes\ of\ CO_2-eq)} = (Direct\ compliance\ target\ annual\ GFI - GFI_T) \cdot Energy_{total}, \quad (7)$$

$$Tier\ 2_{compliance\ deficit\ (tonnes\ of\ CO_2-eq)} = (GFI_T - GFI_{attained}) \cdot Energy_{total}. \quad (8)$$

Получается, одна тонна CO_2 -экв. равна одной компенсационной единице (remedial unit), которая для $Tier\ 1_{compliance\ deficit}$ стоит 100 USD, а для $Tier\ 2_{compliance\ deficit}$ стоит 380 USD. Перемножаем $Tier\ 1_{compliance\ deficit}$ на 100 USD, $Tier\ 2_{compliance\ deficit}$ на 380 USD, складываем их вместе и получаем годовой углеродный сбор.

Таким образом, чрезвычайно важно оценить несколько факторов:

- 1) с какой части флота, эксплуатирующегося под флагом Российской Федерации и пребывающего в классе Российского морского регистра судоходства, потенциально будут взиматься сборы в Фонд ИМО;
- 2) как схема эксплуатации судна влияет на интенсивность выбросов ПГ;
- 3) каков потенциал сокращения выбросов ПГ в результате внедрения GFI;
- 4) какие финансовые последствия ожидают судовладельцев в результате возможного принятия поправок к Приложению VI к Конвенции МАРПОЛ, в частности к GFI;
- 5) при каких условиях меры GFI демонстрируют реальное сокращение выбросов ПГ.

4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ПРИНЯТЫЕ ДОПУЩЕНИЯ

Для решения упомянутых во введении задач была произведена серия расчетов по алгоритму, представленному на рис. 2.

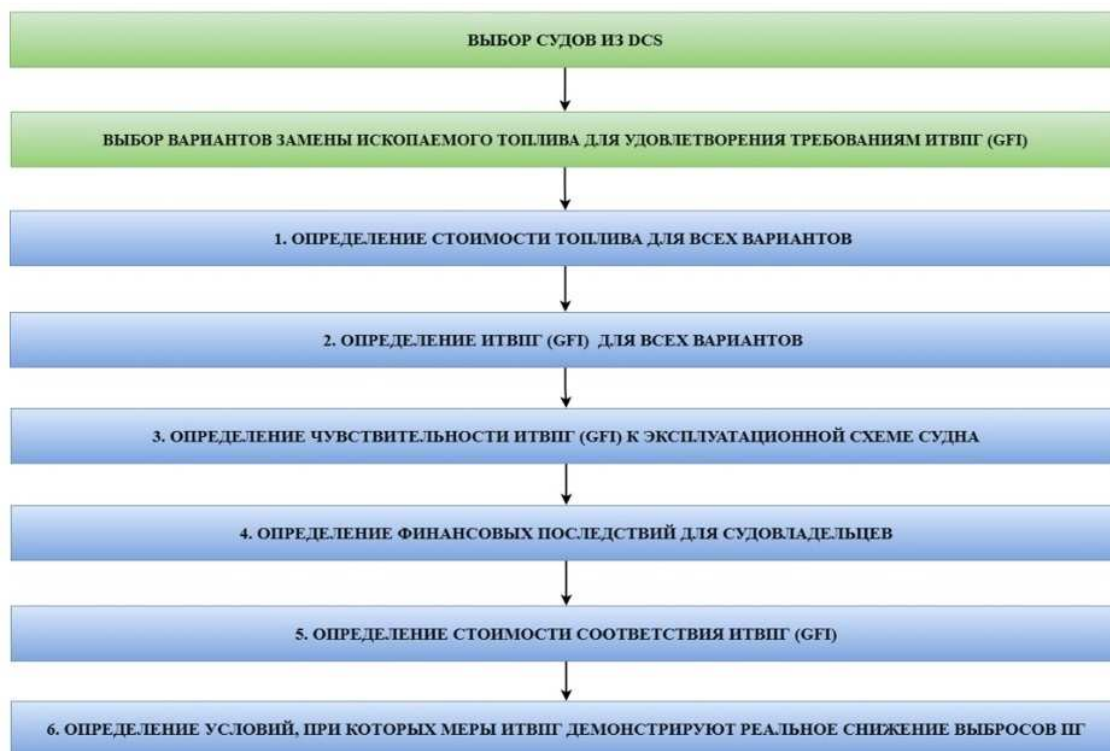


Рис. 2. Алгоритм расчета, реализованный в данном исследовании

Описание сбора исходных данных по судам представлено в п. 1. В ходе оценки использовались данные о расходе топлива 14 реальных судов под российским флагом с различными показателями СИ в 2024 г., представленные в табл. 1. В исследовании рассмотрены семь вариантов замены судового топлива. Референтные значения количества и номенклатуры потраченного выбранными судами топлива представляют собой вариант № 1: все суда в статистической выборке тратили только высокосернистое топливо (HFO 0,5 % S) и морское дизельное топливо/морской газойль (MDO). Для замены этих топлив поочередно использовались низкосернистое тяжелое топливо (VLSFO), биодизель FAME (смесь B30), морское дизельное топливо (MDO), биодизель HVO. Таким образом, в качестве альтернативных видов топлива были использованы топлива, для которых в Руководстве [3] приведены значения коэффициентов GHG WtT «по умолчанию»; «экзотические» варианты вроде водорода, метанола, этанола не рассматривались.

Итак, судовладельцам доступны семь вариантов действия:

- вариант № 1 — «ничего не делать», то есть продолжать использовать HFO и MDO и приобретать компенсационные единицы, что приводит к необходимости платить взносы в Фонд ИМО;
- вариант № 2 — заменить HFO на VLSFO;
- вариант № 3 — заменить MDO на биодизель (FAME);
- вариант № 4 — заменить HFO на MDO (в этом случае на судне используется только MDO);
- вариант № 5 — заменить HFO на VLSFO, а MDO на биодизель (FAME);
- вариант № 6 — заменить MDO на биодизель (HVO);
- вариант № 7 — заменить HFO на VLSFO, а MDO на биодизель (HVO).

Рассмотренные в расчете варианты представлены на рис. 3.

ВЫБОР ВАРИАНТОВ ЗАМЕНЫ ИСКОПАЕМОГО ТОПЛИВА ДЛЯ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ GFI
Вариант №1 - HFO>0,5+MDO
Вариант №2 - VLSFO+MDO
Вариант №3 - HFO>0,5+Diesel (FAME)
Вариант №4 - MDO+MDO
Вариант №5 - VLSFO+Diesel (FAME)
Вариант №6 - HFO+Renewable Diesel (HVO)
Вариант №7 - VLSFO+Renewable Diesel (HVO)

Рис. 3. Варианты замены ископаемого топлива

Соответствие выбранных в расчете обозначений топлив и принятых обозначений в базовых стандартах представлены в табл. 5.

Таблица 5

Соответствие выбранных в расчете обозначений топлив и принятых обозначений в базовых стандартах

Принятое обозначение	Базовый стандарт
HFO	ISO 8217 Grades RME, RMG and RMK exceeding 0,50 % S
VLSFO	ISO 8217 Grades RME, RMG and RMK, 0,10 < S ≤ 0,50 %
MDO	ISO 8217 Grades DMX, DMA, DMZ and DMB maximum 0,10 % S
Diesel (FAME)	ISO 8217 Grades DMA (DF), DMF; EN 14214 or ASTM D6751
Renewable Diesel (HVO)	ISO 8217 Grades DMA (DF), DMF; EN 15940

Расчет включал следующие шаги (укрупненно).

1. Для всех выбранных судов статистической выборки (нефтяной танкер, контейнеровоз и сухогруз для генеральных грузов) произведена оценка стоимости потраченного топлива за 1 год в ценах 2025 г., найденные значения являются референтными.

2. Произведена оценка стоимости альтернативных топлив для замены.

3. Произведена оценка ИТВПГ_{достигн} (GFI_{attained}) для всех вариантов (всех судов и лет для каждого варианта замены (784 записи).

4. Определены уровни соответствия ИТВПГ (GFI) (ярусы 1, 2) для каждой записи.

5. Определен годовой баланс соответствия ИТВПГ (GFI compliance balance) для каждой записи.

6. Определена стоимость соответствия ИТВПГ (Cost GFI compliance) для каждой записи.

7. Определена новая стоимость топлива и стоимость соответствия (Fuel Cost + Cost GFI compliance) для каждой записи.

8. Определен рост ежегодных затрат на топливо и годовой углеродный сбор в Фонд ИМО в % относительно 2025 г. для каждой записи.

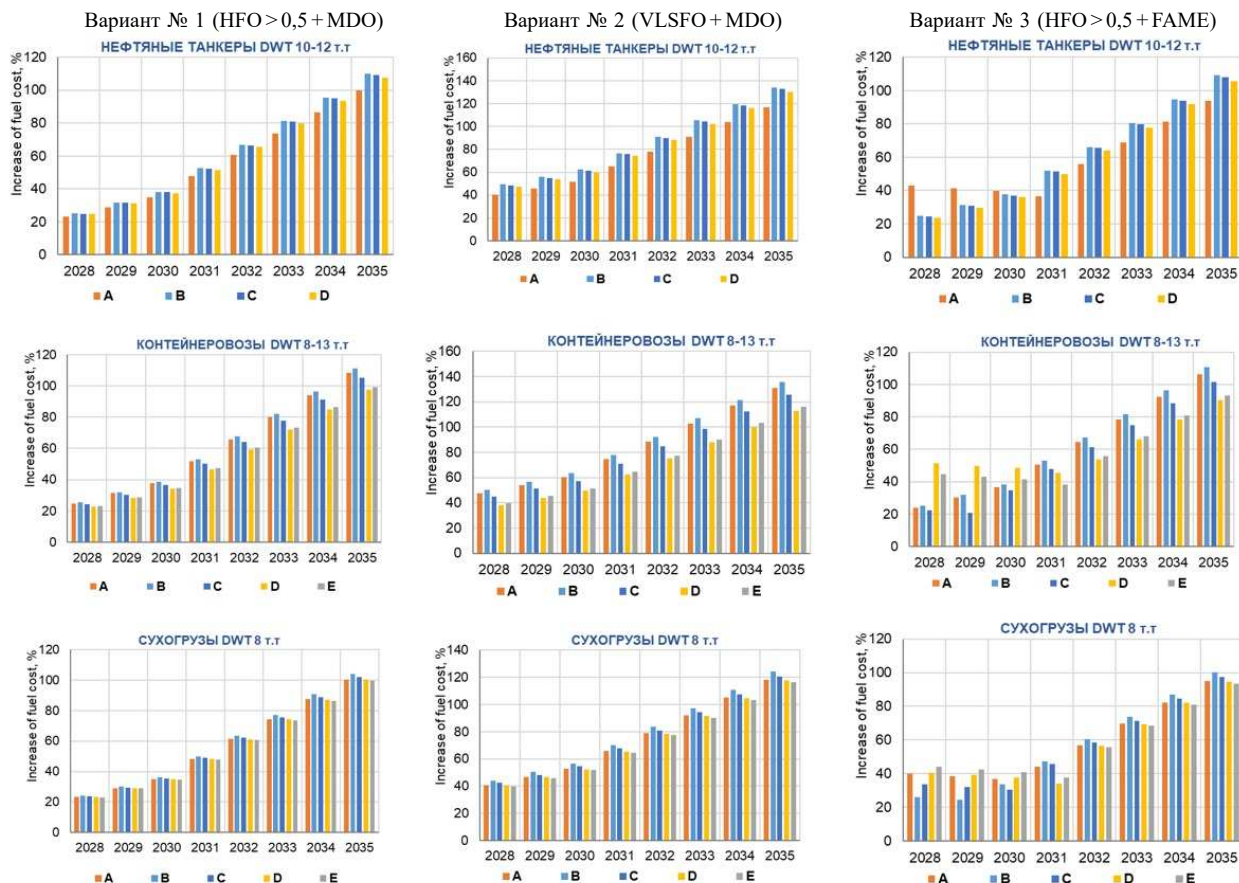
Допущения, принятые в расчете: стоимость всех видов топлив, использованных в расчете, принята как средняя за 2025 г. в Сингапуре и в течение 2028–2029 гг. не меняется; расчет не учитывает стоимость капитальных затрат на переоборудование ЭУ судна для использования альтернативных видов топлива.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Результаты массовых расчетов. В табл. 6 представлены результаты расчета роста ежегодных затрат на топливо и годовой углеродный сбор ИМО в 2028–2035 гг.

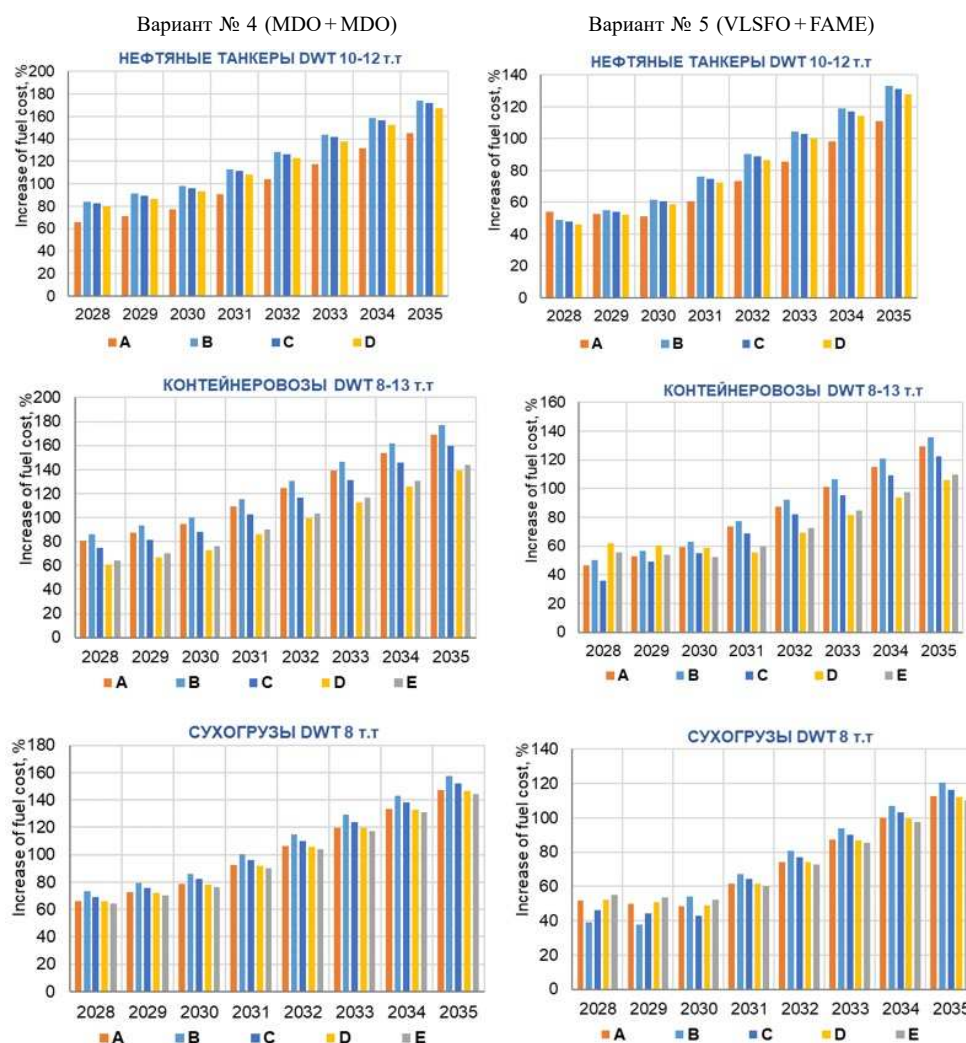
Таблица 6

Результаты расчета роста ежегодных затрат на топливо и годовой углеродный сбор ИМО



Чувствительность эксплуатационной схемы судна к его интенсивности выбросов ПГ.

Результаты расчета показали, что параметр ИТВПГ нечувствителен к эксплуатационной схеме судна, то есть в рамках одного типа судов с разными значениями СП (А–Е) не фиксируется корреляция между рейтингом СП и значением ИТВПГ_{достигн} ($GFI_{attained}$). Это связано в первую очередь с самой структурой формулы $GFI_{attained}$ (1), не включающей транспортную работу, выполняемую судном.



Потенциал снижения выбросов ПГ в результате введения ИТВПГ (GFI) по сравнению с действующей в настоящий момент методологией оценки выбросов на основе коэффициентов выбросов МГЭИК.

Для определения потенциала снижения выбросов ПГ в результате введения ИТВПГ (GFI) по сравнению с действующей в настоящий момент методологией оценки выбросов на основе коэффициентов выбросов МГЭИК было выбрано нефтеналивное судно с рейтингом СП = А и для него произведен сравнительный расчет углеродного следа (в т CO_2 -экв.) для всех семи рассмотренных вариантов замены топлива (рис. 4).

В результате показано, что при любом варианте замены ископаемого топлива на различные варианты био- или низкосернистого топлива не наблюдается сколько-нибудь значимого снижения углеродного следа судна (по сравнению с 2025 г.). Это связано с новой методикой расчета выбросов ПГ при сжигании судового топлива «от скважины до винта», которая учитывает не только выбросы на судне (от танка до винта TtW), но и выбросы, которые произошли при производстве и транспортировке топлива в ходе всего его жизненного цикла (от скважины до танка WtT), а также учитывающей не только выбросы CO_2 , но и метана и оксида азота.

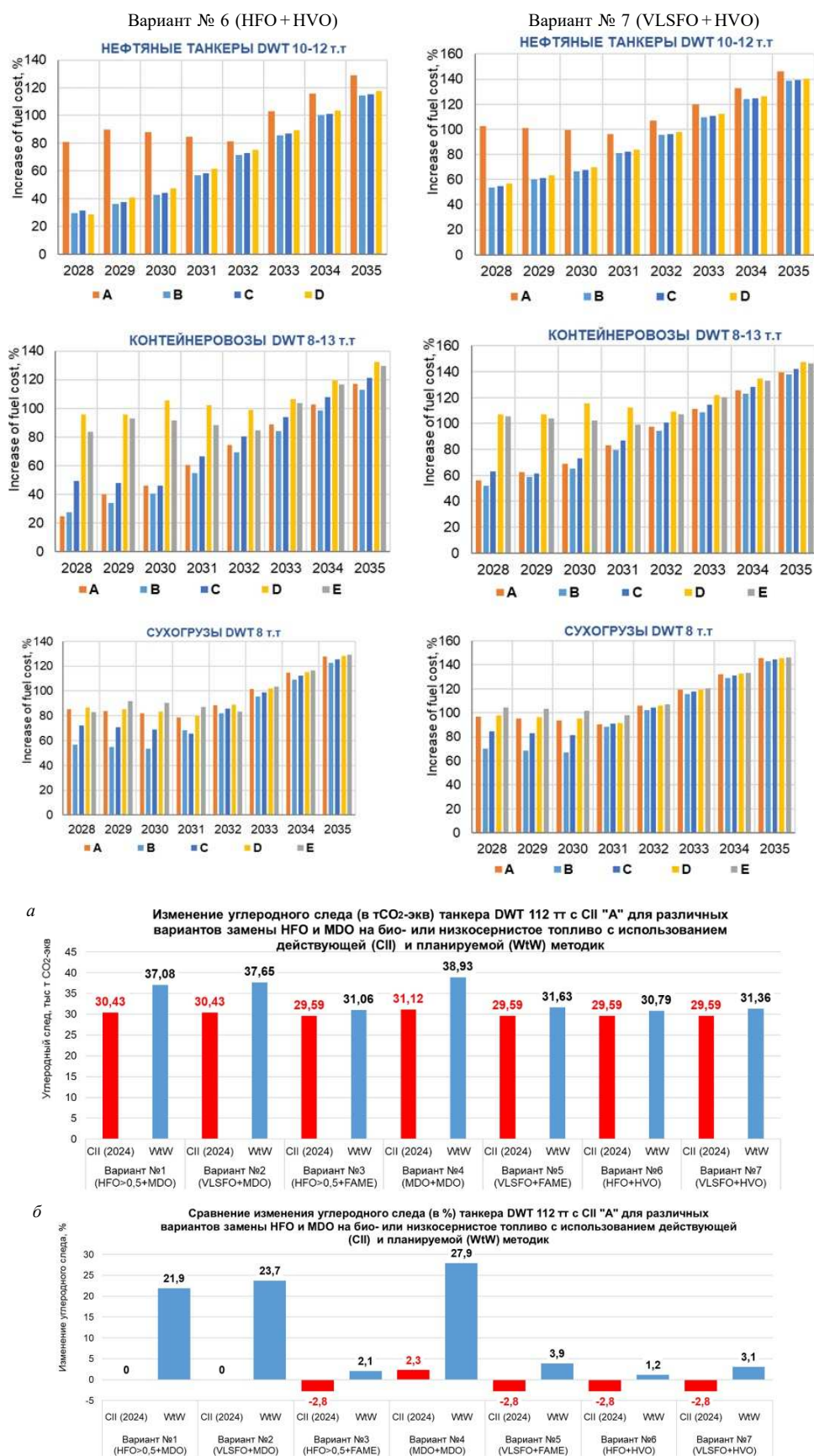


Рис. 4. Изменение углеродного следа (в т CO₂-экв.) танкера DWT 112 тыс. т с CII = А для различных вариантов замены HFO и MDO на био- или низкосернистое топливо с использованием действующей (CII) и планируемой (WtW) методик в натуральном (а) и процентном (б) выражении

Финансовые последствия возможного принятия поправок к Приложению VI МК МАРПОЛ, в частности ИТВПГ (GFI), для судовладельцев.

Для определения финансовых последствий были рассчитаны минимальные и максимальные значения ИТВПГ для всех судов и вариантов замены топлива (рис. 5).

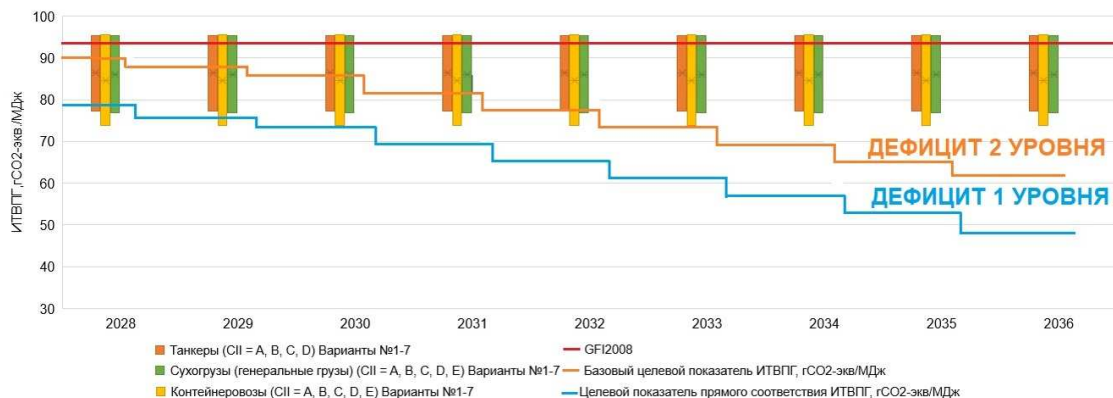


Рис. 5. Минимальные и максимальные значения ИТВПГ для всех судов и вариантов замены топлива

Практически для всех судов статистической выборки, вне зависимости от их СИ, ИТВПГ достигн ($GFI_{attained}$) лежит выше базового целевого показателя соответствия для всех выбранных вариантов замены топлива. Таким образом, к 2030 г. практически все суда, подпадающие под действие МК МАРПОЛ, Приложение VI, будут обязаны платить углеродные сборы в виде компенсационных единиц (remedial units) в Фонд чистого нуля ИМО. Таким образом, введение методологии ИТВПГ (GFI) приведет к увеличению операционных затрат судовладельцев на углеродные сборы ИМО.

Какова степень увеличения затрат на годовой углеродный сбор в Фонд ИМО?

Из сводной табл. 6 со всеми вариантами были выбраны «наилучший» и «наихудший» варианты замены топлива для трех выбранных групп судов (рис. 6).

Результаты выполненной оценки демонстрируют, что ежегодные затраты судовладельца на углеродные сборы ИМО к 2035 г. вырастут в «лучшем» случае на 110 % по сравнению с 2026 г. Самый выгодный с экономической точки зрения вариант — «ничего не делать», то есть не внедрять альтернативные топлива, так как в случае их внедрения все равно придется платить за компенсационные единицы и за более дорогое топливо.

Отдельно следует отметить, что новая мера сильнее всего бьет по тем судам, в чьей структуре топливопотребления превалирует дизельное топливо и которые работают в зонах контроля выбросов (ECA — Emission Control Area).

Условия, при которых меры GFI демонстрируют реальное снижение выбросов ПГ.

В формуле (1) в знаменателе дроби присутствует величина $Energy_{total}$, МДж, представляющая собой общее количество энергии, использованное морским судном за отчетный период. В данном расчете полная потраченная судном энергия за год равна сумме энергий потраченного топлива $Energy_{total} = \sum_j E_{Ij} \cdot Energy_j$, при этом она **может учитывать** использование электроэнергии, получаемой от береговых электростанций и использование возобновляемых источников энергии. Попытка учесть эту дополнительную энергию в расчете представлена следующим образом: для признанных «лучшим» и «худшим» вариантов (с точки зрения роста затрат на соответствие — варианты № 1 и 7) значение $Energy_{total}$ было увеличено последовательно до 110 % с шагом в 2 % за счет увеличения общей потребленной судном энергии посредством береговой подачи электроэнергии (когда судно находится в порту) и/или использования технологий повышения энергетической эффективности судна (Energy Efficiency Technologies — EETs): эффективности пропульсивного комплекса (насадки на винт), гидродинамических качеств корпуса (установка носового бульба), использования ВИЭ (ветра, солнца), IT-систем (планировщики рейсов) и т.д. Результаты расчета представлены на диаграммах на рис. 7.

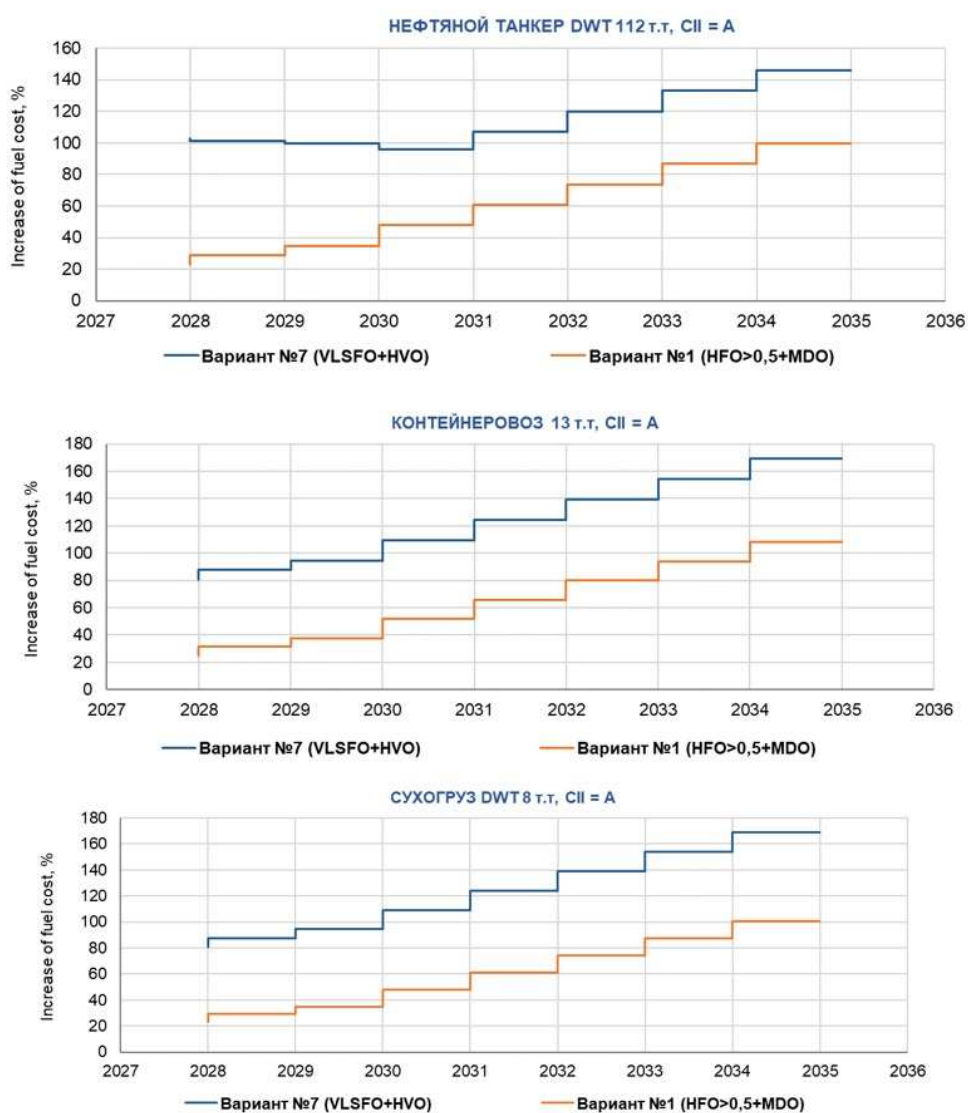


Рис. 6. Минимальные и максимальные значения увеличения стоимости затрат на углеродные сборы в Фонд ИМО

Таким образом, внедряемые меры GFI начнут работать, только если повышать значение общей потраченной судном энергии относительно энергии топлива или, говоря проще, находить способы экономить топливо (улучшать пропульсивные характеристики, повышать гидродинамические качества корпуса судна) и/или получать энергию извне — электрическую (береговое снабжение в порту, электробатареи), механическую (паруса).

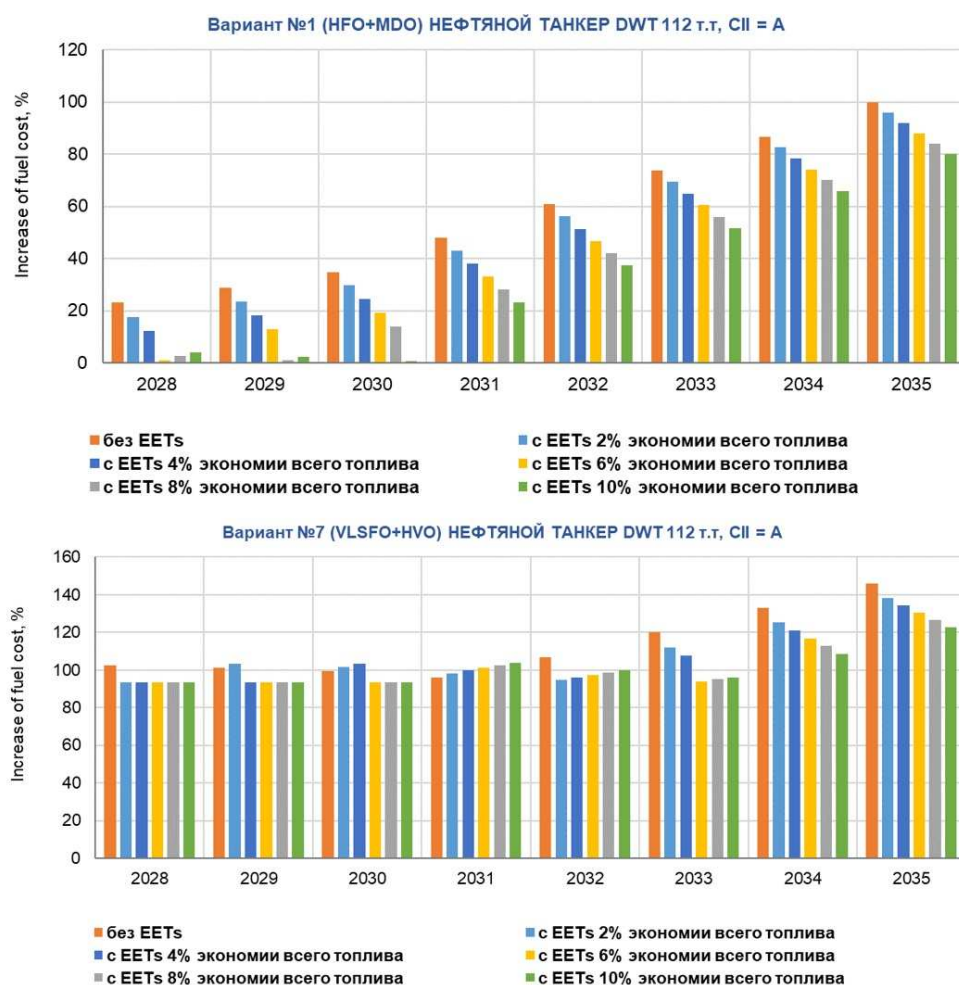


Рис. 7. Зависимость увеличения затрат на топливо и углеродный сбор ИМО от применения энергоэффективных технологий

ВЫВОДЫ

На основе проведенного исследования можно сделать следующие ключевые выводы.

Нечувствительность к эффективности эксплуатации. Показатель интенсивности топливных выбросов ПГ (ИТВПГ/GFI) практически нечувствителен к эксплуатационной эффективности судна. В ходе исследования не было выявлено корреляции между рейтингом углеродной интенсивности (CII) судна и достигнутым значением GFI. Это объясняется структурой формулы GFI, которая учитывает только углеродоемкость топлива и общую потребленную энергию, но не учитывает выполненную судном транспортную работу.

Низкий потенциал снижения выбросов при смене топлива на доступные альтернативные аналоги. Переход на низкосернистое топливо (VLSFO) или смеси с биокомпонентами (FAME, HVO) не приводит к значимому снижению углеродного следа судна при оценке по методологии «от скважины до винта» (WtW). Это связано с тем, что новая методика учитывает выбросы не только при сжигании топлива на судне (TtW), но и на этапах его добычи, производства и транспортировки (WtT), а также включает учет метана и закиси азота. В результате выигрыш от использования биотоплива нивелируется выбросами на предшествующих этапах.

Неизбежные финансовые издержки. Вне зависимости от выбранного типа топлива и рейтинга CII, все попавшие в выборку суда к 2030 г. будут превышать базовые целевые показатели GFI. Это означает, что практически все суда валовой вместимостью более 5000 выборки подпадут под обязательную уплату углеродных сборов в Фонд чистого нуля ИМО.

Парадокс экономической эффективности. С экономической точки зрения наиболее выгодной стратегией для судовладельца в краткосрочной перспективе является отказ от внедрения альтернативных топлив (вариант № 1 — использование только традиционных HFO и MDO). Любой переход на более дорогое биотопливо или VLSFO все равно не освобождает от необходимости платить за компенсационные единицы, что приводит к двойным расходам: на более дорогое топливо и углеродный сбор.

Непропорциональное влияние на суда, работающие в SECA. Новые меры оказывают наиболее сильное негативное финансовое воздействие на те суда, в структуре топливопотребления которых преобладает дорогое дизельное топливо (MDO/MGO), используемое для работы в зонах контроля выбросов (SECA). Их операционные затраты возрастают наиболее значительно.

Условия эффективности мер GFI. Исследование показало, что методология GFI начинает демонстрировать реальный экологический эффект только при условии повышения значения общей потребленной судном энергии ($Energy_{total}$) относительно энергии, полученной исключительно от сжигания топлива. Это достигается за счет реализации мер по повышению энергоэффективности (улучшение пропульсивных характеристик, гидродинамики корпуса и др.) и использования внешних источников энергии (береговое электроснабжение, аккумуляторные батареи, ветровая тяга и др.).

Таким образом, проведенный численный анализ адекватности разработанного ИМО показателя ИТВПГ (GFI) с точки зрения соотношения его экологической результативности и фискальной нагрузки на судовладельцев показал, что в текущем виде он является инструментом фискального, а не прямого экологического регулирования. Он создает значительную финансовую нагрузку на судовладельцев, не гарантируя при этом соразмерного снижения выбросов ПГ при простой замене топлива. Реальное сокращение выбросов в рамках данной парадигмы возможно лишь при комплексном подходе, сочетающем использование альтернативных источников энергии с кардинальным повышением энергоэффективности судов, экономическую привлекательность (а значит и осуществимость). Конкретные пути решения данной проблемы являются предметом будущих исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. MEPC 84/7/33 Assessment of fuel pathways to meet the levels of ambition of the 2023 IMO GHG Strategy Submitted by INTERTANKO 20 February 2026.
2. MEPC/ES.2/3 Draft work plan to prepare for entry into force of the IMO Net-Zero Framework Note by Secretariat, 2 June 2025.
3. Resolution MEPC.391(81) (adopted on 22 March 2024) 2024 Guidelines on Life Cycle GHG Intensity of Marine Fuels (2024 LCA Guidelines).
4. Павловский В.А. Обоснование характеристик грузовой системы бункеровщиков сжиженного природного газа / В.А. Павловский, А.С. Реуцкий // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2018. — Специальный выпуск 2. — С. 191–199. — DOI 10.24937/2542-2324-2018-2-S-I-191-199. — EDN VOWLGK.
5. Павловский В.А. Теплофизические основы морской транспортировки и бункеровки сжиженного природного газа / В.А. Павловский, А.С. Реуцкий. — СПб.: КГНЦ, 2019. — 88 с. — EDN EZHRNH.
6. Реуцкий А.С. Анализ свойств, характеристик и особенностей водорода в газовой и жидкой фазах для обеспечения безопасной морской транспортировки / А.С. Реуцкий // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2026. — Т. 56, № 1. — С. 61–76. — EDN KCVCWR.
7. Clarksons Research. Oil & Tanker Trades Outlook. — October 2025. — Vol. 30, No. 10.
8. ELS Fuels Biofuel Market Update. — Q3 2025.
9. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014: Fifth Assessment Report (AR5) / IPCC. — Geneva, 2014. — [Электронный ресурс] URL: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/> (дата обращения 26.06.2026).
10. Реуцкий А.С. Анализ положений руководящих принципов ИМО по оценке интенсивности выбросов парниковых газов на протяжении жизненного цикла для всех видов судового топлива / А.С. Реуцкий, В.К. Шурпак, С.А. Толмачев // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 79. — С. 14–25. — EDN FBVBIV.
11. Wang K. Wind-assisted propulsion system for shipping decarbonization: Technologies, applications and challenges / K. Wang, Zh. Li, X. Liu, Zh. Hu et al. // Energy. — 2025. — Vol. 336. — P. 138420. — DOI 10.1016/j.energy.2025.138420.

Статья поступила в редакцию 02.04.2026.

Принята к публикации 31.05.2026.