

DOI: <https://doi.org/10.23670/ECNMS.2023.3.6>

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВЫХ МОРСКИХ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК

Научная статья

Леонов В.Е.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0001-5590-8807;

<sup>1</sup> Международная академия «Экоэнергетика», Баку, Азербайджан

\* Корреспондирующий автор (Leonov\_V\_E[at]i.ua)

### Аннотация

Рассмотрена проблема запасов и использования природно-ресурсного потенциала для функционирования техногенных систем. Приведено сравнение вечных, возобновимых энергоресурсов в сравнении с невозобновимыми по критериям – продуктивность и экологичность. Охарактеризованы основные недостатки «зеленой» энергетики на современном этапе. Приведен анализ причин роста стоимости энергоресурсов невозобновимого характера. На примере морского транспорта, на основе собственных исследований разработаны конкретные практические рекомендации по снижению расхода судового топлива, на долю которого приходится более 75% издержек в себестоимости морских грузоперевозок. Необходимо подчеркнуть, что разработанные рекомендации могут быть использованы и для других техногенных систем. В рамках проведенных исследований и разработанных рекомендаций изначально была поставлена задача одновременного решения двух проблем – ресурсосбережение и охрана окружающей среды.

**Ключевые слова:** энергетические ресурсы, расход судового топлива, сжиженный природный газ, «сланцевый» газ, охрана окружающей среды, запасы, затраты.

## RESEARCH ON THE PROCESSES OF INCREASING THE EFFICIENCY OF SHIP CARGO TRANSPORTATION BY SEA

Research article

Leonov V.Y.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0001-5590-8807;

<sup>1</sup> Ecoenergy International Academy, Baku, Azerbaijan

\* Corresponding author (Leonov\_V\_E[at]i.ua)

### Abstract

The problem of reserves and utilization of natural-resource potential for the functioning of technogenic systems is examined. The comparison of eternal, renewable energy resources in comparison with non-renewable ones by criteria – productivity and environmental friendliness is demonstrated. The main disadvantages of "green" energy at the present stage are characterized. The article analyses the reasons for the increase in the cost of non-renewable energy resources. On the example of maritime transport, on the basis of own researches the specific practical recommendations on reduction of ship fuel consumption, which accounts for more than 75% of expenses in the cost of sea freight transportations, are developed. It should be emphasized that the elaborated recommendations can be used for other technogenic systems as well. Within the framework of the conducted research and developed recommendations, the task of simultaneous solution of two problems – resource saving and environmental protection – was initially set.

**Keywords:** energy resources, marine fuel consumption, liquefied natural gas, shale gas, environmental protection, reserves, costs.

### Введение

В последнее время на мировом рынке создан дефицит углеводородных энергоресурсов невозобновимого характера, что привело к резкому увеличению стоимости углеводородного сырья и, как следствие, по цепочке к удорожанию стоимости жизненноважных продуктов и услуг для населения развитых стран, а в развивающихся странах эксперты предсказывают голод и миграцию населения в развитые страны.

Попробуем проанализировать основные причины сложившегося дефицита и высокой стоимости энергоносителей на мировом рынке.

### Причины дефицита и высокой стоимости энергоносителей на мировом рынке

Первая причина. США, Европейский Союз провозгласили «Зеленую» энергетику, основанную на использовании вечной энергии первого и второго рода, главным двигателем экономики. «Зеленая» энергетика предусматривает замену углеводородных энергоресурсов – уголь, нефть, природный газ, залежи сланца – и атомной энергии на энергию ветра, солнца, морских приливов-отливов.

Следует сравнить основные показатели традиционных углеводородных энергоносителей невозобновимого характера с энергией ветра и солнца.

Углеводородные ресурсы представляют собой высококонцентрированную энергию исходного энергоносителя, накапливавшуюся в недрах Земли в течение миллиардов лет, характеризующуюся его высокой теплотворной

способностью. Энергии ветра и солнца характеризуются низкоконцентрированной, рассеянной, распыленной энергией, что требует больших природных земельных и морских, шельфовых площадей для размещения солнечных батарей и ветросиловых установок и, соответственно, значительных финансовых затрат на их содержание в рабочем состоянии, эксплуатацию, ремонт и профилактику.

Решение Евросоюза в части отказа от каменного угля и атомной энергии в пользу «Зеленой» энергетики – экологически чистой энергии ветра и солнца – в совокупности с политическим решением о блокировке пуска и эксплуатации магистральных морских газопроводов Северный поток – 2, Южный поток не оправдало себя, что еще в большей степени привело к дефициту природного газа, нефти на Европейском рынке и резкому росту их стоимости. Выделенные финансовые средства на «Зеленую» энергетику не оправдали себя и не окупились по причине низкой их эффективности и продуктивности установок по выработке «Зеленой» энергии, а также «капризов» природных явлений – извержения вулканов, что снижает эффективность солнечной радиации от дыма и витающего пепла и, соответственно, приводит к снижению эффективности генерации солнечной энергии, географическое изменение направлений ветросиловых воздействий.

Отказ от традиционных углеводородных энергоносителей и невосполнимость мощности устранившихся энергоносителей за счет покрытия мощности техногенных систем планируемой «Зеленой» энергетикой привели к дефициту энергоносителей, резкому росту их стоимости, и как следствие, к неконкурентоспособности производимых на их основе товаров и услуг.

Вторая причина. Запасы углеводородного сырья невозобновимого характера иссякают. Для восполнения требуемых запасов энергоносителей приходится искать новые месторождения углеводородного сырья, как правило, располагаемых в труднодоступных геологических условиях таких, как вечная мерзлота, морские шельфы, морские глубоководные рельефные складки, глубоководная морская добыча углеводородов в экстремальных климатических условиях Арктики, Крайнего Севера. Описанные выше условия использования потенциальных углеводородных энергоносителей требуют значительных финансовых затрат на геологическую разведку месторождений, геофизические исследовательские работы, анализ разведанных и потенциальных запасов углеводородного сырья, разработку технико-экономического обоснования эксплуатации разведанных месторождений с позиции экономики и оценки воздействия функционирования объекта будущей хозяйственной деятельности на окружающую среду, разработку предпроектных решений, рабочего проектирования новых промышленных предприятий, разработку технологического, компрессорного оборудования, трубных сборок для избранных экстремальных климатических условий, строительного-монтажные работы производственных и бытовых корпусов.

Как следует из вышесказанного, потребуются значительные финансовые вложения и время. А в конечном счете себестоимость добычи углеводородных энергоносителей по сравнению с себестоимостью ныне добываемых углеводородных энергоносителей повысится, а это отразится на повышении мировых цен на углеводородные энергоносители, соответственно, повысится себестоимость продуктов, товаров и услуг, что значительно снизит конкурентоспособность выпускаемой продукции и услуг.

Таким образом, ждать снижения цен на углеводородные энергоносители в ближайшем будущем не приходится, ожидается только рост цен на углеводородные энергоносители невозобновимого характера. И это объективно.

Третья причина. Политическое давление на экономику в виде санкций, эмбарго нарушает отработанные производственные цепочки, логистические связи и требует поиска новых эффективных, экономически обоснованных способов кооперации. Здесь весьма уместно указать на разработку новых логистических предложений, направлений таких, как «Шелковый» путь, торговый (транспортный) коридор «Север-Юг», освоение Северного морского пути. Реализация этих и других новых логистических направлений в сравнении с ныне действующими морскими переходами через Суэцкий канал, Тихий и Атлантический океаны, вокруг Африки позволит резко сократить пройденный путь и время доставки груза, что в свою очередь приведет к снижению расхода судового дизельного топлива, эксплуатационных затрат на морской переход и, соответственно, позволит снизить себестоимость доставки морских грузов (фрахтовая стоимость), уменьшит величину абсолютного ущерба морской, окружающей среде. Необходимо заметить, что для каждого конкретного случая требуется разработка технико-экономического обоснования морского перехода с учетом типа судна, его дедвейта, характеристики перевозимого груза, районов морских перевозок, Плана управления энергоэффективностью судна, гидрометеорологических условий и других факторов морского перехода.

Четвертая причина. В настоящее время альтернативой дешевого снабжения природного газа по магистральным трубопроводам высокого давления (Северный поток 1,2, Южный поток, Турецкий поток, Сила Сибири) является доставка потребителю сжиженного природного газа (СПГ) химогазовозами, метановозами, танкерами морскими логистическими грузоперевозками. Мировыми лидерами по производству и перевозкам сжиженного природного газа являются Катар, Австралия, США.

Проведем краткий анализ стадий и обобщение технико-экономических и экологических показателей производства СПГ по этим стадиям, транспортировки, выгрузки и хранения сжиженного природного газа:

1) для сжижения природного газа требуются создание специальных систем – терминалов, низкие температуры в пределах минус 190-200 °С, высокое давление 2,5-3,0 МПа, глубокая криогенная технология, а это приводит к значительным материальным и энергетическим издержкам и, как, следствие, к дополнительному повышению себестоимости природного газа, что приводит к увеличению базовой себестоимости природного газа ( $C_{\text{баз. ПГ}}$ ). В итоге финансовые затраты по первой стадии (цена природного газа  $C_{1\text{-ая стадия}}$ ) будут определяться по формуле:

$$C_{1\text{-ая стадия}} = C_{\text{баз. ПГ}} + C_{\text{сж. ПГ}} \quad (1)$$

где:  $C_{\text{баз. ПГ}}$  – себестоимость добытого природного газа, руб/1000 м<sup>3</sup>;

$C_{сж.ПГ}$  – себестоимость сжижения природного газа, руб/1000 м<sup>3</sup>;

2) морской транспорт СПГ характеризуется достаточно высокими эксплуатационными затратами, к которым следует отнести расход дорогостоящего низкосернистого судового топлива, смазочных масел, затраты на питьевую воду, продукты питания, зарплату экипажу, страховые обязательства, безопасность жизнедеятельности экипажа, что приводит к дополнительным эксплуатационным затратам.

В итоге после реализации второй стадии цена сжиженного природного газа ( $C_{2-ая\ стадия}$ ) составит:

$$C_{2-ая\ стадия} = C_{баз.\ пг} + C_{сж.ПГ} + C_{тр-ки\ сп} \quad (2)$$

где:  $C_{тр-ки\ СПГ}$  – себестоимость транспортировки сжиженного природного газа, руб/1000 м<sup>3</sup>;

3) в процессе транспортировки сжиженного природного газа безвозвратные потери метана-основного вещества сжиженного природного газа- составляют 15%. При этом с одной стороны потери сжиженного природного газа при транспортировке приводят к прямым экономическим издержкам, затратам, а с другой – к экологическому ущербу воздушному бассейну, окружающей среде, биосфере, человеку, поскольку метан является одним из основных компонентов «парниковых» газов, способствующих развитию «климатического» кризиса на Планете [1].

В конечном итоге цена сжиженного природного газа  $C_{3-я\ стадия}$  еще более увеличивается, что описывается нижеследующим уравнением:

$$C_{3-я\ стадия} = C_{баз.ПГ} + C_{сж.} + C_{тр-киСПГ} + C_{потери} + C_{ущербОС} \quad (3)$$

где:  $C_{потери\ СПГ}$  – естественные экономические потери сжиженного природного газа, руб/1000 м<sup>3</sup>;

$C_{ущерб\ ос}$  – абсолютный экологический ущерб окружающей среде, в частности, интенсификация «парникового» эффекта от углеводородов (в основном, метан –  $CH_4$ ), выделяющихся в атмосферный бассейн за счет испарения, потерь сжиженного природного газа, руб/1000 м<sup>3</sup>;

4) в портах назначения для выгрузки сжиженного природного газа должны быть обустроены специальные терминалы, создание и эксплуатация которых требует значительных финансовых, кадровых, материальных и энергетических затрат, в частности на создание терминала для приема сжиженного природного газа в ФРГ было затрачено более 15 млрд. евро, окупаемость которого является неопределенной (?) даже в далекой перспективе, что обусловлено дороговизной СПГ, нестабильными, неритмичными поставками сжиженного природного газа из США, приведенные затраты на создание и эксплуатацию терминалов определяются по уравнению:

$$P_{терминал} = C_{терминал} + E * K_{терминал} \quad (4)$$

В конечном итоге цена сжиженного природного газа  $C_{4-ая\ стадия}$  еще более увеличивается, что описывается нижеследующим уравнением:

$$C_{4-ая\ стадия} = C_{баз.\ пг} + C_{сж.ПГ} + C_{тр-ки\ спг} + C_{потери\ пг} + C_{ущерб\ ОС} + C_{терминал} + E * K_{терминал} \quad (5)$$

где:  $C_{терминал}$  – эксплуатационные затраты на стадии приема сжиженного природного газа в терминал, руб/1000 м<sup>3</sup> ;

$E$  – нормативный коэффициент окупаемости терминала;

$K_{терминал}$  – удельные капиталовложения на создание терминала, руб/1000 м<sup>3</sup>\*год;

5) после приема в терминал сжиженного природного газа требуется произвести его регазификацию с последующей закачкой в газообразном состоянии при повышенном давлении в магистральные газопроводы и далее передача заказчиком. Регазификацию сжиженного природного газа можно произвести путем подвода избыточного тепла ( $Q_{регазификация}$ ), либо снижения давления СПГ, при этом следует учитывать, что при снижении давления СПГ резко снижается температура газообразного природного газа за счет эффекта Джоуля-Томпсона, что потребует дополнительных затрат теплоты, энергии ( $Q_{Джоуль-Томпсон}$ ).

В конечном итоге цена сжиженного природного газа  $C_{5-ая\ стадия}$  еще более увеличивается, что описывается нижеследующим уравнением:

$$C_{5-ая\ стадия} = C_{баз.ПГ} + C_{сж.} + C_{тр-киСПГ} + C_{потериСПГ} + C_{ущербОС} + C_{терминал} + E * K_{терминал} + Q_{регазификация} + Q_{Джоуль-Томпсон} \quad (6)$$

где:  $Q_{регазификация}$  – затраты энергии на регазификацию сжиженного природного газа, руб/1000 м<sup>3</sup>;

$Q_{Джоуль-Томпсон}$  – затраты энергии на компенсацию эффекта Джоуля-Томпсона при дросселировании сжиженного природного газа, руб/1000 м<sup>3</sup>.

В результате проведенного анализа и расчетов по вышеприведенным уравнениям (1-6) было определено, что стоимость сжиженного природного газа выше стоимости трубопроводного природного газа при равных внешних условиях в 2,5 – 3,0 раза. Возникает резонный вопрос, зачем покупать такой дорогой сжиженный природный газ взамен дешевого трубопроводного природного газа? Возможны следующие варианты ответов:

1) нет другой альтернативы доставки природного газа;

2) «жесткое» военно-политическое и экономическое давление сверхдержав, Объединений, Союзов.

Пятая причина – сланцевый газ. Впервые научно-исследовательские работы по извлечению природного газа из сланца были проведены в Советском Союзе. Получены положительные результаты, процесс основан на разрыве сланцевого пласта специальными химическими вредными веществами под высоким давлением с одновременным выделением из сланцевого пласта углеводородного газа. К сожалению научно-исследовательские работы по получению сланцевого газа в Советском Союзе пришлось прекратить по ряду причин, главная из которых состояла в том, что Советский Союз располагал крупными разведанными запасами природного газа и по мнению влиятельных

экспертов не было необходимости в развитии научно-исследовательских работ по получению сланцевого газа. Освободившаяся научная ниша была занята американскими специалистами, которые подготовили научную базу по разработке сланцевых месторождений США, на основании которой была разработана технология производства углеводородных газов из сланцевых пластов.

Можно сгруппировать основные недостатки при получении сланцевого газа:

1) ядовитые, агрессивные вещества и соединения при повышенном давлении 5-10 МПа в жидком состоянии направляются на глубину залегания сланцевых пластов (150-450 м) непосредственно в толщу пласта, что приводит к разрыву сланцевого пласта, сопровождающееся взрывом, обусловленного высвобождением огромного количества энергии из пласта углеводородов, в основном, метана, находившегося в адсорбированном, хемосорбированном состоянии на поверхности сланцевого пласта;

2) вредные, ядовитые вещества, находящиеся в специальном растворе, наносят ущерб почве, водным горизонтам природной пресной воды, отравляют их и по пищевой «цепочке» попадают в организм человека, что наносит непоправимый вред здоровью человека, биоте, биосфере, окружающей среде.

Технико-экономический недостаток – произведенный сланцевый газ для транспортировки и продажи требуется перевести в жидкое состояние, основные недостатки этой процедуры приведены выше (см. «Четвертая причина»).

В результате общая цена сланцевого газа при транспортировке его из США в Европу превысит цену трубопроводного природного газа значительно больше, чем в 2,5-3,0 раза.

### **Реальные пути решения энергетического кризиса**

Основные направления решения энергетического кризиса могут быть сгруппированы следующим образом:

1. Разработка и реализация малоотходных, ресурсосберегающих, безотходных технологических процессов техногенных систем, направленных на снижение расхода углеводородного сырья невозобновимого характера и одновременное снижение выбросов газообразных компонентов «парниковых» газов, способствующих необратимому, интенсивному развитию «климатического кризиса», с одной стороны, и полному исчерпыванию природных энергетических ресурсов невозобновимого характера, с другой стороны.

2. Поиск, разведка и освоение новых нетрадиционных сырьевых источников для получения материальных и энергетических ресурсов с большой кратностью запасов:

2.1. Добыча и переработка глубоководного морского растворенного сероводорода в нефтехимическую продукцию и экологически чистое топливо (на примере Черного моря);

2.2. Добыча и переработка глубоководных морских кристаллогидратов в нефтехимическую продукцию и экологически чистое топливо;

2.3. Инновационная комбинированная переработка диоксида углерода, извлеченного из газообразных выбросов техногенных систем, атмосферного воздуха, морской среды, горных твердых пород, для получения кислорода (100% объемн.) и углерод-содержащего топлива;

2.4. Инновационная комбинированная переработка воды для получения кислорода (100% объемн.) и экологически чистого топлива – водород;

2.5. Комплексная переработка газообразных, жидких, твердых материальных и энергетических отходов в нефтехимическую продукцию и экологически чистое топливо.

Указанные выше направления решения энергетических проблем на современном этапе подробно и систематически изложены в монографии [9].

### **Пути снижения затрат на судовое моторное топливо**

Проблема снижения затрат на судовое моторное топливо весьма актуальна, поскольку 75-80% затрат на судовые морские грузоперевозки приходится на материальную составляющую – финансовые затраты на судовое моторное топливо.

Рассмотрим пути решения этой проблемы.

В научных публикациях [1], [13], [17], [20] представлены результаты исследований по снижению расхода судового дизельного топлива.

Ниже приведен краткий анализ этих работ с акцентом на решение проблемы снижения расхода судового дизельного топлива.

1. Исследования по очистке отработанных газов судовых энергетических установок (ОГ СЭУ) от сернистых соединений [2], [5], [7], [9].

Международная Морская Организация (ММО) с целью защиты воздушного бассейна от сернистых соединений своими резолюциями обязала весь мировой морской транспорт перейти на низкосернистое судовое топливо (не более 0,1% масс., с 01.01.2020 года не более 0,5% масс.). Низкосернистое судовое топливо является дорогостоящим, что приводит к ухудшению экономических показателей морских грузоперевозок.

В наших работах [1], [9] предложено использовать традиционное высокосернистое дешевое судовое топливо, а отработанные газы СЭУ подвергать комплексной физико-химической очистке, включающей электрохимическую очистку от сажи, каталитическую нейтрализацию токсических веществ и соединений до санитарных норм.

Основные преимущества предложенной нами технологии – низкая стоимость судового высокосернистого дизельного топлива и существенная величина предотвращенного ущерба воздушному бассейну, достигаемая за счет более высокой глубины очистки ОГ СЭУ от токсических веществ и соединений на уровне 99,99%. Предложенная нами технология обладает патентной чистотой и значительно превосходит лучшие зарубежные аналоги [2], [6], [8].

2. Исследования по нормированию концентрации сернистых соединений в судовом моторном топливе с целью снижения финансовых затрат на судовое топливо [10].

Необходимо отметить, что с увеличением концентрации сернистых соединений в судовом моторном топливе стоимость судового топлива снижается. Выше было указано, что с 01.01.2020 г. согласно решению ММО весь мировой морской транспорт переведен на низкосернистое судовое топливо, в котором содержание сернистых соединений не должно превышать 0,5% масс. Возникает вопрос, почему предельная концентрация сернистых соединений в судовом топливе не должна быть более 0,5% масс.? Где здесь логика, доказательства экономической целесообразности?

Однако приказы, резолюции «начальства» не обсуждаются, а просто должны быть выполнены любой ценой. В научных исследованиях этот догматический подход может быть нарушен, что и послужило нам стимулом для проведения исследований в этом направлении в проблемной лаборатории «Экология моря при эксплуатации судов» Херсонской государственной морской академии. В результате проведенных исследований [10] нами было установлено, что концентрация сернистых соединений в судовом топливе может быть увеличена с 0,5% масс. до 2,6% масс., т.е. более, чем в пять раз, без ущерба работе основной СЭУ и абсолютного ущерба воздушному бассейну от ОГ СЭУ. Что это дает – главное снижение финансовых затрат на судовое дизельное топливо за счет использования более дешевого высокосернистого судового дизельного топлива [10].

3. Исследования по комплексному процессу утилизации теплоты и очистки отработанных газов СЭУ с целью снижения финансовых затрат на судовое топливо [11], [12], [13].

Предложен комплексный процесс, включающий в себя санитарную очистку ОГ СЭУ от токсических веществ и соединений и утилизацию избыточной теплоты ОГ СЭУ, процесс защищен патентом Украины [11].

Процесс утилизации теплоты ОГ СЭУ включает в себя два контура, позволяющих получить пар для энергетических целей и горячую воду для хозяйственно-бытовых и отопительных целей.

В результате комплексной утилизации теплоты ОГ СЭУ расход судового дизельного топлива снизится на 25% на морской переход [11], [12], [13].

4. Исследования по минимизации расхода судового топлива в условиях реальных морских переходов на различных типах судов [14], [16], [17], [18].

С целью экономии судового дизельного топлива в процессе морских переходов ММО своими резолюциями в 2019 году ввела в морскую практику обязательную отчетность по двум параметрам – конструктивный коэффициент энергетической эффективности судна и реальный коэффициент энергетической эффективности судна. На основании научно-исследовательских работ и анализа реальных морских переходов [15], [18] нами предложена модель минимизации расхода судового топлива в зависимости от мощности СЭУ, дистанции перехода, скорости судна, коэффициента загрузки судна перевозимым грузом. В условиях реальных морских переходов была проведена проверка адекватности предложенной модели, достоверность модели показала достаточно высокий уровень 95-97%. Таким образом, в результате проведенных расчетов по предложенной модели в зависимости от мощности СЭУ, дистанции морского перехода, скорости судна, коэффициента загрузки судна перевозимым грузом достаточно надежно и точно можно минимизировать расход судового дизельного топлива.

5. Исследования логистических схем морских грузоперевозок, позволяющих осуществлять безбалластные морские переходы [19].

Как следует из опубликованных нами работ [15], [16], [18] и предложенной модели минимизации расхода судового топлива наименьший расход судового топлива достигается при коэффициенте загрузки судна не менее 70%.

В работе [19] с учетом потребностей мировых торговых отношений разработаны рекомендации по организации и проведению судовых безбалластных морских грузоперевозок, что даст возможность существенно снизить расход судового дизельного топлива.

6. Исследования по замене воздуха на кислород, используемый на борту судна в качестве окислителя судового моторного топлива [20].

Во всех промышленных процессах и в быту для окисления и сжигания углеводородного топлива применяют атмосферный воздух. Это обусловлено простотой его использования. Однако под кажущейся простотой скрыты существенные недостатки. В атмосферном воздухе содержание окислителя кислорода ориентировочно составляет 21% объемн., а инертного газа азота 79% объемн., т.е., объем инертного газа более, чем в 3,5 раза превышает объем окислителя. Это и приводит к экономическим издержкам, обусловленным затратами энергии на нагрев, охлаждение, компримирование, дросселирование огромных объемов инертного, балластного азота, а окисление азота кислородом в цилиндре двигателя СЭУ приводит к образованию высокотоксичных оксидов азота, выбрасываемых с ОГ СЭУ в атмосферный бассейн. Необходимо отметить, что вышеприведенные дополнительные эксплуатационные затраты приводят к повышенным капиталовложениям. В работе [20] нами были проведены исследования и разработаны практические рекомендации по использованию в качестве окислителя судового топлива кислорода взамен атмосферного воздуха. Данная разработка позволила:

- 1) снизить расход судового топлива;
- 2) исключить эмиссию высокотоксичных оксидов азота в атмосферу;
- 3) снизить капиталовложения на создание СЭУ.

7. Исследования по ингибированию биообрастаний металлических корпусов судов с целью снижения расхода судового топлива [21], [22].

### **Заключение**

Таким образом, внедряя на практике рекомендации, разработанные в представленных выше исследованиях, можно повысить эффективность морских грузоперевозок, что обеспечивается следующими характеристиками:

1. Снижение стоимости судового топлива (руб/т) на 40-60%.
2. Снижение расхода судового топлива на морской переход в 1,8-2,0 раза.
3. Снижение абсолютного ущерба воздушному бассейну от отработанных газов СЭУ на 500 млрд. долл. США в год.

4. Снижение эмиссии компонентов «парниковых» газов в 1,8-2,0 раза.
5. Повышение экономических показателей морских грузоперевозок.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы / References**

1. Leonov V.Ye. Greenhouse Effect. Fiction or Result of the Prolonged Action of the Technogenic Systems? / V.Ye. Leonov, A.A. Gurov // *The Scientific Heritage*. — 2021. — Vol.1. — № 60(60). — P. 29-39. — DOI: 10.24412/9215-0365-2021-60-1-29-39.
2. Tran T.A. Research of the Scrubber Systems to Clean Marine Diesel Engine Exhaust Gases on Ships / T.A. Tran // *Journal of Marine Science: Research & Development*. — 2017. — P. 243-249. — DOI: 10.4172/2155-9910.1000243.
3. Laursen A.B. Availability of Elements for Heterogeneous Catalysis: Predicting the Industrial Viability of Novel Catalysts / A.B. Laursen, J. Sehested, I. Chorkendorff [et al.] // *Chinese Journal of Catalysis*. — 2018. — Vol. 39. — Iss. 1. — P. 16-26. — DOI: 10.1016/S1872-2067(17)62979-6.
4. Winnes H. Reducing GHG Emissions from Ships in Port Areas / H. Winnes, L. Styhre, E. Fridell // *Research in Transportation Business & Management*. — 2015. — Vol. 17. — P. 73-82. — DOI: 10.1016/j.rtbm.2015.10.008.
5. Rehmattulla N. The Implementation of Technical Energy Efficiency and CO2 Emission Reduction Measures in Shipping / N. Rehmattulla, J. Calleya, T. Smith // *Ocean Engineering*. — 2017. — Vol. 139. — P. 184-197. — DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.04.029.
6. Carnival committed to EGCS as its 2020 compliance solution. — 2018. — URL: <https://ibia.net/carnival-committed-to-egcs-as-its-2020-compliance-solution> (accessed: 12.07.2023)
7. Carnival Corporation & PLC. Sustainability. — 2018. — URL: <http://www.carnivalcorp.com/phoenix.zhtml?c=140690&p=irol-sustainability> (accessed: 12.07.2023)
8. Carnival Corporation's Exhaust Gas Cleaning Technology installed on 60 percent of fleet. — 2018. — URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/carnival-corporations-exhaust-gas-cleaning-technology-installed-on-60-percent-of-fleet-300413964.html> (accessed: 12.07.2023)
9. Леонов В.Е. Современные методы исследований и обработки экспериментальных данных / В.Е. Леонов. — ИЦ ХГМА, 2020 — 698 с.
10. Leonov V.Ye. Substantiation of Regulation of the Emission Limits of Sulfur and Nitrogen Oxides in Exhaust Gases on Ship Power Engines. Findings of Modern Engineering Research and Developments / V.Ye. Leonov, A.A. Gurov. — Riga: Baltija Publishing, 2022. — P. 295-326. — DOI: 10.30525/978-9934-26-207-4-11.
11. Пат. 32822 Украина. Способ утилизации теплоты отработанных газов судовых энергетических установок / Леонов В.Е., Шерстюк В.Г., Бен А.П. — Опубл. 26.05.18, Бюл. № 15.
12. Leonov V.Ye. Ways to Improve Energy Efficiency and Environmental Safety of Sea Freight / V.Ye. Leonov, M.V. Chepok, R.A. Drobitko // *Strategy of Quality in Industry and Education*. — Varna: Technical University, 2015. — Vol. 2. — P. 87-93.
13. Leonov V. Solution of the Two-vector Problem of Resource Saving on Board of the Ship / V. Leonov // *American Journal of Traffic and Transportation Engineering*. — 2021. — Vol. 6. — № 6. — P. 147-155. — DOI: 10.11648/j.ajtte.20210606.11
14. Леонов В.Е. Современные информационные технологии обеспечения безопасности судоходства и их комплексное использование / В.Е. Леонов, В.И. Дмитриев, О.М. Безбах [и др.] — ИЦ ХГМА, 2014. — 324 с.
15. Леонов В.Е. Исследования параметрической связи ЕЕОИ судна в условиях реального морского рейса / В.Е. Леонов, А.Д. Сердюк // *Научные проблемы водного транспорта*. — Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2020. — Вып. 65. — С. 105-116. — DOI: 10.37890/jwt vi65.133.
16. Zhmur V.N. Ways to Increase Economic Energy Efficiency and Environmental Safety of Sea Freight / V.N. Zhmur, V.Ye. Leonov // *American Scientific Journal*. — 2018. — Vol. 19. — P. 15-21.
17. Леонов В.Е. Пути повышения эффективности морских грузоперевозок / В.Е. Леонов, В.И. Дмитриев. — М.: Моркнига, 2019. — 299 с.
18. Леонов В.Е. Исследования по определению области минимизации операционного коэффициента энергетической эффективности судна / В.Е. Леонов // *Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*. — 2019. — Вып. 5. — С. 910-919. — DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-910-919.
19. Leonov V.Ye. Development of Ballast-Free Logistics Maritime Transportation in Order to Reduce The Consumption of Ship Fuel And Reduce Carbon Dioxide Emissions – The Main Component of The “Greenhouse” Effect on The Planet / V.Ye. Leonov, A.A. Gurov // *Resource and Energy-saving Energy Technologies in the Chemical Industry*. — Riga: Baltija Publishing, 2022. — P. 49-71. — DOI: 10.30525/978-9934-26-219-7-2
20. Леонов В.Е. Использование кислорода в качестве окислителя судового топлива вместо воздуха для судовых энергетических установок / В.Е. Леонов, А.А. Гуров // *Вестник государственного университета морского и речного*

флота имени адмирала С.О. Макарова. — 2020. — Вып. 3. — С. 583-590. — DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-583-590.

21. Resolution MEPC. 104 (49). Adopted on 18 July 2003-Guidelines for Brief Sampling of Anti-Fouling Systems on Ship. — London: IMO, 2004 — P. 45-55.

22. Resolution MEPC. 208 (62). Adopted on 15 July 2011-Guidelines for Inspection of Anti-Fouling Systems on Ships. — London: IMO, 2012. — P. 35-47.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Leonov V.Ye. Greenhouse Effect. Fiction or Result of the Prolonged Action of the Technogenic Systems? / V.Ye. Leonov, A.A. Gurov // The Scientific Heritage. — 2021. — Vol.1. — № 60(60). — P. 29-39. — DOI: 10.24412/9215-0365-2021-60-1-29-39.

2. Tran T.A. Research of the Scrubber Systems to Clean Marine Diesel Engine Exhaust Gases on Ships / T.A. Tran // Journal of Marine Science: Research & Development. — 2017. — P. 243-249. — DOI: 10.4172/2155-9910.1000243.

3. Laursen A.B. Availability of Elements for Heterogeneous Catalysis: Predicting the Industrial Viability of Novel Catalysts / A.B. Laursen, J. Sehested, I. Chorkendorff [et al.] // Chinese Journal of Catalysis. — 2018. — Vol. 39. — Iss. 1. — P. 16-26. — DOI: 10.1016/S1872-2067(17)62979-6.

4. Winnes H. Reducing GHG Emissions from Ships in Port Areas / H. Winnes, L. Styhre, E. Fridell // Research in Transportation Business & Management. — 2015. — Vol. 17. — P. 73-82. — DOI: 10.1016/j.rtbm.2015.10.008.

5. Rehmatulla N. The Implementation of Technical Energy Efficiency and CO2 Emission Reduction Measures in Shipping / N. Rehmatulla, J. Calleya, T. Smith // Ocean Engineering. — 2017. — Vol. 139. — P. 184-197. — DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.04.029.

6. Carnival committed to EGCS as its 2020 compliance solution. — 2018. — URL: <https://ibia.net/carnival-committed-to-egcs-as-its-2020-compliance-solution> (accessed: 12.07.2023)

7. Carnival Corporation & PLC. Sustainability. — 2018. — URL: <http://www.carnivalcorp.com/phoenix.zhtml?c=140690&p=irol-sustainability> (accessed: 12.07.2023)

8. Carnival Corporation's Exhaust Gas Cleaning Technology installed on 60 percent of fleet. — 2018. — URL: <https://www.prnswire.com/news-releases/carnival-corporations-exhaust-gas-cleaning-technology-installed-on-60-percent-of-fleet-300413964.html1> (accessed: 12.07.2023)

9. Leonov V.E. Sovremennye metody issledovaniy I obrabotki eksperimentalnyh dannyh [Modern Methods of Research and Processing of Experimental Data] / V.E. Leonov. — IC HGMA. 2020 — 698 p. [in Russian].

10. Leonov V.Ye. Substantiation of Regulation of the Emission Limits of Sulfur and Nitrogen Oxides in Exhaust Gases on Ship Power Engines. Findings of Modern Engineering Research and Developments / V.Ye. Leonov, A.A. Gurov. — Riga: Baltija Publishing, 2022. — P. 295-326. — DOI: 10.30525/978-9934-26-207-4-11.

11. Pat. 32822 Ukraine. Sposob utilizacii teploty otrabotannyh gazov sudovyh energeticheskikh ustanovok [Method of Utilization of Heat of Exhaust Gases from Ship Power Plants] / V.E. Leonov, V.G. Sherstyuk, A.P. Ben — Publ. 26.05.18, Bul. Number 15. [in Ukrainian]

12. Leonov V.Ye. Ways to Improve Energy Efficiency and Environmental Safety of Sea Freight / V.Ye. Leonov, M.V. Chepok, R.A. Drobitko // Strategy of Quality in Industry and Education. — Varna: Technical University, 2015. — Vol. 2. — P. 87-93.

13. Leonov V. Solution of the Two-vector Problem of Resource Saving on Board of the Ship / V. Leonov // American Journal of Traffic and Transportation Engineering. — 2021. — Vol. 6. — № 6. — P. 147-155. — DOI: 10.11648/j.ajtte.20210606.11

14. Leonov V.E. Sovremennye informacionnye tehnologii obespecheniya bezopasnosti sudohodstva I ih kompleksnoe ispolzovanie [Modern Information Technologies for Ensuring the Safety of Navigation and Their Intergrated Use] / V.E. Leonov, V.I. Dmitriev, O.M. Bezbah [et al.] — IC HGMA, 2014. — 324 p. [in Russian].

15. Leonov V.E. Issledovaniya parametricheskoy svyazi EEOI sudna v usloviyah realnogo morskokgo rejsa [Investigation of the Parametric Connection of EEOI and the Ship in the Condition of a Real Sea Flight] / V.E. Leonov, A.D. Serdyuk // Nauchnye problemy vodnogo transporta [Journal Scientific Problems of Water Transport]. — Nizhniy Novgorod: Volga State University of Water Transport, 2020. — Iss. 65. — P. 105-116. — DOI: 10.37890/jwt vi65.133. [in Russian].

16. Zhmur V.N. Ways to Increase Economic Energy Efficiency and Environmental Safety of Sea Freight / V.N. Zhmur, V.Ye. Leonov // American Scientific Journal. — 2018. — Vol. 19. — P. 15-21.

17. Leonov V.E. Puti povysheniya effektivnosti morskikh gruzoperevozok [Ways to Improve the Efficiency of Maritime Transportation] / V.E. Leonov, V.I. Dmitriev. — M.: Morkniga, 2019. — 299 p. [in Russian]

18. Leonov V.E. Issledovaniya po opredeleniyu oblasti minimizacii operacionnogo koeficienta energeticheskoy effektivnosti sudna [Research to Determine the Area of Minimization of the Operating Coefficient of the Ships Energy Efficiency] / V.E. Leonov // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo I rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. [Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov]. — 2019. — Iss. 5. — P. 910-919. — DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-910-919. [in Russian]

19. Leonov V.Ye. Development of Ballast-Free Logistics Maritime Transportation in Order to Reduce The Consumption of Ship Fuel And Reduce Carbon Dioxide Emissions – The Main Component of The “Greenhouse” Effect on The Planet / V.Ye. Leonov, A.A. Gurov // Resource and Energy-saving Energy Technologies in the Chemical Industry. — Riga: Baltija Publishing, 2022. — P. 49-71. — DOI: 10.30525/978-9934-26-219-7-2

20. Leonov V.E. Ispolzovanie kisloroda v kachestve okislitelya sudovogo topliva vmesto vozduha dlya sudovyh energeticheskikh ustanovok [The Use of Oxygen as an Oxidizer for Ship Fuel instead of Air for Ship Power Plants] / V.E. Leonov, A.A. Gurov // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo I rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova

[Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov]. — 2020. — Iss. 3. — P. 583-590. — DOI:10.21821/2309-5180-2020-12-3-583-590. [in Russian].

21. Resolution MEPC. 104 (49). Adopted on 18 July 2003-Guidelines for Brief Sampling of Anti-Fouling Systems on Ship. — London: IMO, 2004 — P. 45-55.

22. Resolution MEPC. 208 (62). Adopted on 15 July 2011-Guidelines for Inspection of Anti-Fouling Systems on Ships. — London: IMO, 2012. — P. 35-47.