

# СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-583-590

## USING OXYGEN INSTEAD OF AIR AS AN OXIDIZER OF MARINE FUEL FOR SHIP POWER PLANTS

**V. Ye. Leonov, A. A. Gurov**

Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine

*The atmospheric air used to burn any organic carbon-containing fuel contains two main macrocomponents by volume: 79.03 % nitrogen and 20.92 % oxygen, the rest is carbon dioxide, argon, xenon, krypton, ozone, helium, hydrocarbons in the amount of 0.05 %. In the process of fuel oxidation, nitrogen is an inert substance, does not support the process of fuel oxidation, and at high temperatures and pressures in the combustion chamber, nitrogen is oxidized by oxygen with the formation of highly toxic nitrogen oxides. To increase the degree of oxidation of marine fuel in the fuel-air mixture, a high coefficient of excess air is maintained, which leads to an even greater increase in the mass of nitrogen. In the combustion chamber, the nitrogen contained in the fuel-air mixture is heated to 850-1000 ° C, which leads to unproductive consumption of marine fuel. The dimensions and metal consumption of the ship power plant (SPP) are therefore high. An alternative solution for air replacement with oxygen, used as an oxidizing agent in the ship power plants is proposed in the paper. This decision has been stimulated by a number of technical advantages in replacing air with oxygen, namely, reducing the metal consumption of the SPP, reducing marine fuel consumption, reducing the emission of carbon dioxide, which is the main component of «greenhouse» gases — harmful toxic components, in particular, the complete elimination of nitrogen oxides with exhaust gases of the ship power plant. As a result of this proposal implementation the economic and environmental problems of maritime transport can be solved. Using a specially developed computer program, the calculations of the SPP energy efficiency have been made; they have showed that in the case of replacing air with oxygen, the SPP efficiency increases by 25%, which, accordingly, leads to reducing marine fuel cost and reducing the harmful toxic components emission, in particular, carbon dioxide, which is the main component of “greenhouse” gases. Based on the analysis of scientific, technical, patent materials and our own scientific research, the process of obtaining oxygen on the alternative basis from water and carbon dioxide is of scientific and practical interest. Two schemes for obtaining oxygen from water and carbon dioxide, including heterogeneous catalytic processes, plasma-chemical installations, are proposed.*

*Keywords: oxygen, carbon dioxide, air, consumption, marine fuel, ship deadweight, load, ship hull, environment protection.*

**For citation:**

Leonov, Valeriy Ye., and Anatolii A. Gurov. “Using oxygen instead of air as an oxidizer of marine fuel for ship power plants.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.3 (2020): 583–590. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-583-590.

**УДК 656. 61. 052 (075. 8)**

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КИСЛОРОДА В КАЧЕСТВЕ ОКИСЛИТЕЛЯ СУДОВОГО ТОПЛИВА ВМЕСТО ВОЗДУХА ДЛЯ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

**В. Е. Леонов, А. А. Гуров**

Херсонская Государственная морская академия, Херсон, Украина

*Атмосферный воздух, используемый для сжигания любого органического углеродсодержащего топлива, содержит в своем составе два основных макрокомпонента, % объёмн.: азот — 79,03, кислород — 20,92. Концентрация микрокомпонентов: диоксида углерода, аргона, ксенона, криптона, озона,*

гелия, углеводородов, составляет в сумме 0,05. В процессе окисления судового топлива азот является инертным веществом, не принимающим участие в процессе окисления топлива, а при высоких значениях температур и давления в камере сгорания азот окисляется кислородом с образованием высокотоксичных оксидов азота. Для повышения степени окисления судового топлива в топливоздушном смеси поддерживается высокий коэффициент избытка воздуха, что приводит к еще большему увеличению массы азота. В камере сгорания азот, содержащийся в топливоздушном смеси, нагревается до 800–1000 °С, что приводит к непроизводительному расходу судового топлива. Габариты и металлоемкость судовой энергетической установки вследствие этого высокие. Предлагается альтернативное решение по замене воздуха, используемого в качестве окислителя в судовых энергетических установках, кислородом. Это решение стимулировано следующими техническими преимуществами при замене воздуха кислородом, а именно: снижением металлоемкости СЭУ, снижением расхода судового топлива, уменьшением выделения диоксида углерода — основного компонента «парниковых» газов, — вредных токсичных компонентов, в частности полного исключения оксидов азота с отработанными газами судовой энергетической установки. В результате реализации данного предложения могут быть решены экономические и экологические проблемы морских грузоперевозок. Проведены расчеты тепловых балансов энергетической эффективности судовой энергетической установки, которые показали, что в случае замены воздуха кислородом эффективность судовой энергетической установки повышается на 25 %, что, соответственно, приводит к снижению расхода судового топлива и снижению эмиссии вредных токсичных компонентов, в частности диоксида углерода — основного компонента «парниковых» газов. На основании выполненного анализа научно-технических, патентных материалов и собственных научно-исследовательских работ научный и практический интерес представляет процесс получения кислорода на альтернативной основе из воды и диоксида углерода. Предложены две схемы получения кислорода из воды и диоксида углерода, включающие гетерогенно-каталитические процессы и плазмохимические установки.

**Ключевые слова:** кислород, диоксид углерода, воздух, расход, судовое топливо, дедевит судна, нагрузка, корпус судна, защита, экология.

Для цитирования:

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. — Т. 12. — № 3. — С. 583–590. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-583-590.

### Введение (Introduction)

Процесс транспортировки грузов, как и всякий производственный процесс, связан с затратами живого и овеществленного труда. Размер этих затрат (в денежном выражении), приходящихся на единицу выполненной морским транспортом работы, называется *себестоимостью транспортировки грузов*. В себестоимости морских грузоперевозок доля финансовых расходов на судовое топливо составляет 70–75 % [1] и [2]. В общем потреблении мировых углеводородных ресурсов на долю морского транспорта приходится более 15 % и она имеет устойчивую тенденцию к росту, следуя, соответственно, развитию техногенных систем. При сжигании одной условной единицы массы (УЕМ) судового углеводородного топлива расходуется примерно 20 УЕМ атмосферного воздуха, при этом выделение диоксида углерода — основного компонента «парниковых» газов — увеличивается более чем в три раза по сравнению с расходом судового топлива.

Эксплуатация морского транспорта как составной части техногенных систем приводит к следующим негативным последствиям:

- истощение невозобновляемых ресурсов углеводородного происхождения;
- удорожание стоимости морских грузовых перевозок;
- интенсивное загрязнение морской, окружающей среды;
- стремительное развитие планетарного «парникового» эффекта.

В последнее время Международной морской организацией (ИМО) принят ряд Резолюций, направленных на снижение расхода судового топлива, повышение коэффициента энергетической эффективности судна, уменьшение эмиссии оксидов серы, диоксида углерода с отработанными газами судовых энергетических установок (СЭУ) [3]–[6].

## Методы и материалы (Methods and Materials)

В настоящее время практически все техногенные системы используют для процессов окисления (сгорания) атмосферный воздух (в целом эта доля превышает 99 %): спектр довольно широкий: от газовой плитки на кухне до СЭУ, авиационных двигателей [7]–[10]. В то же время дефицит кислорода, содержащегося в атмосферном воздухе, на планете относится к глобальным экологическим проблемам.

Атмосферный воздух с небольшой степенью погрешности включает в себя два основных макрокомпонента: приблизительно, % объемн.: азот — 79,03, кислород — 20,92, остальное приходится на диоксид углерода, аргон, ксенон, криптон, озон, гелий, углеводороды, в сумме — 0,05. В СЭУ для процессов окисления (сгорания) топлива расходуется только кислород, содержащийся в исходном воздухе, и то не полностью (в отработанных газах СЭУ остаточная концентрация кислорода колеблется в пределах 4,5–8,5 % объемн.), азот в данном случае является инертным газом. При условии сгорания судового дизельного топлива в СЭУ — 25–35 атм., температуре 800–1000 °С в цилиндрах двигателя из азота и кислорода воздуха образуются оксиды азота, которые оказывают отрицательное влияние на воздушный бассейн, морскую, окружающую среду и приводят к новым проблемам, т. е. к необходимости нормирования оксидов азота в отработанных газах и очистке отработанных газов СЭУ от оксидов азота [1] и [2].

Поскольку в случае использования воздуха для окисления судового топлива, азот выступает в качестве инертного газа, на его нагрев (до 800–1000 °С), компримирование (до 25–35 атм.) расходуется значительный объем энергоресурсов (судового дизельного топлива). Причем во всех конструкциях СЭУ предусмотрен избыток воздуха по сравнению с теоретическим (стехиометрическим) для того, чтобы повысить степень окисления (сгорания) судового дизельного топлива. Согласно практическим данным, для сжигания одной тонны судового дизельного топлива требуется подать в СЭУ 14–20 т атмосферного воздуха (для упрощения примем 20 т).

## Результаты (Results)

Для оценки эффективности техногенных систем принят термин «коэффициент полезного действия» (КПД), который описывается уравнением [2] :

$$\eta = G_{\text{цп}} / G_{\text{цп+о}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где  $G_{\text{цп}}$  — масса природно-ресурсного потенциала, превращенного в целевую продукцию, усл. т/т;

$G_{\text{цп+о}}$  — масса природно-ресурсного потенциала, превращенного в целевую продукцию и отходы, усл. т/т.

По оценкам экспертов, только 15–25 % исходного природно-ресурсного потенциала преобразуется в целевую продукцию, а основная доля — 75–85 % в материальные и энергетические отходы, побочные вещества и соединения, потери теплоты материальных потоков. Примем КПД судовой энергетической установки 25 %. Тогда при сжигании одной тонны судового дизельного топлива (СДТ) в потоке атмосферного воздуха может быть предложена следующая структура распределения расхода СДТ (т, %):

1. На производство полезной работы — 0,25 т, 25 %.
2. При сжигании СДТ в СЭУ на организацию цикла «нагрев – компримирование – дросселирование – охлаждение азота, содержащегося в атмосферном воздухе и в отработанных газах СЭУ» — 0,25 т, 25 %;
3. На образование материальных и энергетических отходов при сжигании СДТ в СЭУ — 0,5 т, 50 %.

Выполним расчеты тепловых балансов, согласно пп. 2, в двух вариантах:

- при использовании в качестве окислителя воздуха;
- при использовании в качестве окислителя кислорода.

Расчеты выполнены согласно уравнению

$$Q = c_p m \Delta T. \quad (2)$$

Примем среднемассовую температуру в цилиндре двигателя, равной 800 °С, расход воздуха 20 т/т СДТ, в том числе 4,2 — кислород и 15,8 — азот, расход только кислорода 4,2 т/т СДТ.

Теплоемкость  $c_p$ , Дж/моль·К, для кислорода и азота определяли по уравнению, приведенному в работе [11]:

$$c_p = a + bT + cT^2. \quad (3)$$

Значения констант ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ) даны в работе [11];  $T$  — принятая температура, К.

Рассчитываем теплоемкость  $c_p$ , Дж/моль·К, :

– для азота  $c_p^{N_2} = 27,87 + 0,00427 \cdot (800 + 273) = 32,45$ ;

– для кислорода  $c_p^{O_2} = 31,46 + 0,00339 \cdot (800+273) + (-3770) \cdot (800+273)^{-2} = 35,097$ .

Для удобства расчетов переведем размерность теплоемкости  $c_p$ , Дж/моль·К, в Дж/г·К.

В результате получим:  $c_p^{N_2} = 25,96$  Дж/г·К ;  $c_p^{O_2} = 24,58$  Дж/г·К.

Определим необходимое количество теплоты:

– в случае использования воздуха  $Q_{\text{возд}} = (24,58 \cdot 4,2 + 25,96 \cdot 15,8) \Delta T_{\text{возд}} = 513,41 \Delta T_{\text{возд}}$  ;

– в случае использования кислорода  $Q_{O_2} = 24,58 \cdot 4,2 \Delta T_{O_2} = 103,24 \Delta T_{O_2}$ .

В итоге получим, что необходимое количество теплоты в случае использования воздуха в  $513,41 \Delta T_{\text{возд}} / 103,24 \Delta T_{O_2} \approx 5$  раз больше, чем в случае использования только кислорода, это справедливо, поскольку  $\Delta T_{\text{возд}} = \Delta T_{O_2}$ .

В конечном результате, при замене воздуха в СЭУ на кислород в качестве окислителя СДТ структура распределения расхода СДТ изменится следующим образом, т, %:

– на производство полезной работы — 0,50 т, 50 %;

– при сжигании СДТ в СЭУ на организацию цикла «нагрев – компримирование – дросселирование, охлаждение» отработанных газов СЭУ — 0,05 т, 5 %;

– на образование материальных и энергетических отходов при сжигании СДТ в СЭУ — 0,45 т, 45 %.

Таким образом, если вместо воздуха использовать кислород, то доля совершенной полезной работы увеличится на 25 % и составит 50 %, в то время как на воздухе только 25 %, т. е. вклад в полезную работу СЭУ увеличится в два раза. Кроме этого, будет полностью исключена эмиссия (выделение) оксидов азота. В случае использования кислорода нагрузка на СЭУ по окислителю снизится с 20 т (в случае использования атмосферного воздуха) до 4,2 т (в случае использования кислорода), т. е. практически в 5 раз, а это приведет к снижению габаритов СЭУ, тепловых потерь, расхода СДТ. При всех положительных характеристиках в случае использования кислорода необходимо ответить на два вопроса:

1) как экономически целесообразно получить кислород;

2) как обеспечить взрывобезопасность процесса при использовании кислорода.

Известны освоенные в промышленности способы получения кислорода из атмосферного воздуха:

1-й способ — низкотемпературное разделение атмосферного воздуха;

2-й способ — разделение атмосферного воздуха в присутствии цеолитных катализаторов;

3-й способ — разделение атмосферного воздуха с помощью селективных синтетических полимерных мембран.

Предлагаемая реализация на морском транспорте состоит в следующем. По одному из ранее приведенных способов в стационарных установках, расположенных на берегу, получают кислород. По первому способу жидкий кислород загружают в специальные танки на борту судна с последующим его использованием в качестве окислителя вместо воздуха. По второму и третьему способам полученный газообразный кислород вначале сжижают и жидкий кислород загружают в специальные танки на борту судна с последующим его использованием в качестве окислителя вместо воздуха.

Недостатки способов получения кислорода:

1) высокие материальные и энергетические затраты при получении кислорода из воздуха;

- 2) низкая концентрация кислорода (50–60 %) в продуктовой реакционной смеси (2-й и 3-й способы);
- 3) высокие эксплуатационные и капитальные затраты;
- 4) большой срок окупаемости (более пяти лет) вложенных первоначальных капитальных затрат;
- 5) отрицательное воздействие на окружающую среду установок по разделению воздуха;
- 6) низкая кратность запаса ресурсов атмосферного воздуха.

Заявка на изобретение № U 201903694 «Способ получения кислорода» от 10.04.2019 г. по вопросу производства кислорода новым техническим способом в настоящее время находится на рассмотрении и согласовании.

Задача, которая заложена в предлагаемом новом техническом решении, заключается в следующем:

- а) заменить воздух, используемый во всех окислительных процессах, в частности, в СЭУ, на кислород;
- б) создать новую технологию получения кислорода из диоксида углерода и воды.

Предлагаемый способ ориентирован на использование в качестве исходного сырья для получения кислорода воды ( $H_2O$ ) и / или диоксида углерода ( $CO_2$ ). Необходимо отметить, что в этих продуктах глубокого окисления высокое содержание кислорода, соответственно, в воде — 88,8 % масс., в  $CO_2$  — 72,7 % масс., а в атмосферном воздухе лишь около 21 %.

Способ получения кислорода из воды предусматривает следующие стадии:

- получение из воды химически обессоленной воды (ХОВ);
- нагрев, испарение ХОВ, перегрев пара до температуры  $200 \pm 10$  °С;
- подача перегретого пара на катализатор селективного дегидрирования третьего поколения;
- каталитическое дегидрирование ХОВ с получением кислорода;
- нагрев катализатора до температуры  $300 \pm 10$  °С;
- десорбция водорода с поверхности катализатора;
- компримирование, хранение и использование кислорода в качестве окислителя, а водорода — в качестве экологически чистого судового топлива.

Технология получения кислорода из диоксида углерода включает диссоциацию диоксида углерода на составляющие: кислород и углерод / углеродсодержащее соединение с помощью плазмохимической струи в потоке инертного газа (при температуре 5 000–7 000 К) и гетерогенно-каталитической сопряженной реакции с выделением кислорода:

- интенсивная «закалка» нагретого газового потока до 20–30 °С;
- селективное разделение на цеолитных катализаторах системы «углерод / углеродсодержащее соединение – инертный газ»;
- компримирование и ожижение кислорода;
- загрузка сжиженного кислорода в емкости с последующей откаткой в емкости на судне.

Что касается второго вопроса в части опасности использования кислорода в качестве окислителя судового топлива, то, безусловно, опасность возгорания, взрыва и пожара в случае использования кислорода вместо атмосферного воздуха возрастает. Необходимо отметить, что подобные вопросы обеспечения безопасности в случае использования кислорода в качестве окислителя в промышленном масштабе уже решены, примером является производство ацетилена высокотемпературным пиролизом природного газа на Новомосковском, Невинномысском, Северодонецком ПО «Азот».

### Обсуждение (Discussion)

При проектировании и постройке судна значительную часть расчетов, наряду с остойчивостью, прочностью корпуса и т. п., занимают расчеты нагрузок, которые, собственно, и несет на себе корпус судна, оставаясь на плаву по определенную грузовую марку. При этом в зависимости от типа



и назначения судна большое значение имеет соотношение веса судна порожнем к скорости судна. В случае, если водоизмещение судна складывается из собственной массы судна и его грузоподъемности (массы полезного груза), то в собственную массу судна порожнем входят:

- корпус судна, оборудованный инвентарем и запасными частями; готовая к эксплуатации СЭУ с инвентарем и запасными частями; вода в котлах, трубопроводах, насосах, конденсаторах, охладителях;
- топливо во всех эксплуатационных трубопроводах;
- диоксид углерода и рассол или другие эксплуатационные материалы в холодильных установках и противопожарных системах;
- остаточная вода в льялах и цистернах, которая не может быть удалена насосами, а также сточные воды и влага.

При этом необходимо обратить внимание на вес собственно СЭУ и сопутствующих при этом дополнительных запасов и оборудования. Облегчение веса судна порожнем за счет СЭУ дает возможность увеличить вес полезного груза (дедвейта) при других неизменных характеристиках судна.

Грузоподъемность судна и эксплуатационная скорость — важнейшие экономические характеристики, которые должны быть гарантированы заводом-изготовителем при постройке, так как нарушение характеристик наказывается договорными штрафами. Валовая грузоподъемность — дедвейт судна — включает все массы, которые не относятся к водоизмещению судна порожнем, а именно:

- собственно груз (включая почву);
- экипаж и пассажиры с багажом;
- все эксплуатационные материалы (запасы топлива, смазочные материалы, масла, котельная питательная вода) в цистернах для запасов;
- судовые запасы, такие как краски, керосин, дерево, смола, канаты;
- запасы для экипажа и пассажиров (питьевая вода, вода для мытья и провизия);
- оборудование для крепления грузов, такое как деревянные упоры, брезенты и мачты, продольные полупереборки для сыпучих грузов;
- специальное оборудование у особых типов судов, например, промышленное оборудование (сети, тросы, тралы).

Отношение водоизмещения судна порожнем к водоизмещению в полном грузу зависит главным образом от типа судна, района плавания, скорости судна и от конструкции корпуса. Так, например, водоизмещение грузового судна порожнем с нормальной эксплуатационной скоростью (14–16 уз) без ледовых подкреплений составляет примерно 25 % водоизмещения в полном грузу. Если грузовое судно имеет полное водоизмещение 15 тыс. т, то водоизмещение порожнем составляет примерно 3 тыс. т, а его дедвейт примерно 8 тыс. т. Отношение массы СЭУ к полному водоизмещению определяется скоростью судна, типом двигателя (дизельная, паротурбинная, дизель-электрическая установка и т. д.), а также типом судна.

Повышение скорости судна при одинаковом типе установки всегда ведет к увеличению мощности двигателя и, следовательно, к увеличению указанных ранее отношений. У судов с дизельной установкой масса двигателя больше, чем у судов с установками других типов. Поскольку к СЭУ относятся также вспомогательные механизмы для производства электрической энергии и силовые установки холодильников, масса энергетических установок пассажирских, рефрижераторных и промышленных судов больше, чем масса установок обычных грузовых судов такого же водоизмещения. Так, масса СЭУ грузовых судов составляет 5–10 %, пассажирских — 10–15 %, рыболовных — 15–20 %, буксиров и ледоколов, как правило, 20–30 % полного водоизмещения.

Отношение дедвейта к полному водоизмещению (коэффициент использования водоизмещения по дедвейту) лучше всего характеризует экономичность грузовых судов, без учета влияния скорости судна. У буксиров и ледоколов дедвейт определяет в первую очередь дальность плавания (длительность рейса), так как у судов этих типов он расходуется главным образом на топливные

материалы и запасы. Максимальный коэффициент использования водоизмещения по дедвейту имеют грузовые суда и танкеры (60–70 %), минимальный — буксиры и ледоколы (10–30 %).

Разработанные технические решения предполагают увеличение дедвейта судна при неизменности водоизмещения, снижение массы энергетической установки, а это, в свою очередь, возможно при установке на судне СЭУ, работающей на кислороде, в качестве составной части топливной системы. Для ледоколов, буксиров, пассажирских судов, дедвейт, конечно, не имеет особого значения, однако новый тип СЭУ также окажет положительное влияние на охрану морской окружающей среды. Для грузовых судов, будь то танкер или сухогруз, увеличение массы полезного груза за счет снижения массы СЭУ будет иметь весомое значение для повышения экономических показателей и рентабельности морских грузоперевозок.

### Выводы (Summary)

В результате выполненной работы при использовании в качестве окислителя судового дизельного топлива кислорода вместо воздуха могут быть решены следующие проблемы:

- 1) снижение расхода судового дизельного топлива вследствие повышения доли использования полезной работы в два раза;
- 2) снижение эмиссии токсичных компонентов с отработанными газами СЭУ в соответствии со снижением расхода судового дизельного топлива;
- 3) снижение массы и габаритов СЭУ;
- 4) снижение тепловых потерь СЭУ в соответствии с уменьшением массы и габаритов судовой энергетической установки;
- 5) полностью исключены выбросы оксидов азота с отработанными газами СЭУ;
- 6) в качестве исходного сырья для получения кислорода рекомендуется использовать воду и диоксид углерода, имеющие высокий индекс кратности запасов (более чем  $10^{12}$ ) и большую концентрацию кислорода в своем составе (в 3,5 раза для диоксида углерода и в 4,3 раза для воды больше по сравнению с атмосферным воздухом).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Леонов В. Е.* Пути повышения эффективности морских грузоперевозок : моногр. / В. Е. Леонов, В. И. Дмитриев. — М.: МОРКНИГА, 2019. — 299 с.
2. *Леонов В. Е.* Экология и охрана окружающей среды: учеб. пособие / В. Е. Леонов, А. В. Ходаковский; под ред. д-ра техн. наук, проф. В. Е. Леонова. — Херсон: ИЦ ХГМА, 2016. — 348 с.
3. MEPC 65/INF.17 IMO Model Course on Energy-Efficient Operation of Ships. — London: World Maritime University, 2013. — 61 p.
4. Guidelines for voluntary use of the ship energy efficiency Operational indicator (EEOI). — London: IMO, 2009. — 75 p.
5. *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. — Vol. 7. — Is. 6. — Pp. 243. DOI: 10.4172/2155-9910.1000243.
6. *Пивоваров Л. А.* Разработка плана управления энергоэффективностью судна (ПУЭЭС) для танкеров / Л. А. Пивоваров // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Современные информационные и инновационные технологии на транспорте» — MINTT-2013. — Херсон: ИЦ ХГМА, 2013. — Т. 1. — С. 73–77.
7. *Laurson A.* Availability of elements for heterogeneous catalysis: Predicting the industrial viability of novel catalysts / A. Laurson, J. Sehested, Ib. Chorkendorff, P. C. K. Vesborg // Chinese Journal of Catalysis. — 2018. — Vol. 39. — Pp. 16–26. DOI: 10.1016/S1872-2067(17)62979-6.
8. *Winnes H.* Reducing GHG emissions from ships in port areas / H. Winnes, L. Styhre, E. Fridell // Research in Transportation Business & Management. — 2015. — Vol. 17. — Pp. 73–82. DOI: 10.1016/j.rtbm.2015.10.008.
9. *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. — Pp. 184–197. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.04.029.

10. 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. — Pp. 15–21.
11. Пилипенко А. Т. Краткий справочник по химии / А. Т. Пилипенко, И. Т. Гороновский, Ю. П. Назаренко, Е.Ф. Некряч; под общ. ред. акад. АН УССР А. Т. Пилипенко. — Киев: Наукова думка, 1987. — 830 с.

## REFERENCES

1. Leonov, V. E., and V. I. Dmitriev. *Puti povysheniya effektivnosti morskikh gruzoperevozk. Monografiya*. M.: MORKNIGA, 2019.
2. Leonov, V. E., and A. V. Khodakovskii. *Ekologiya i okhrana okruzhayushchei sredy. Uchebnoe posobie*. Edited by V.E. Leonov. Kherson: Izdatel'stvo KhGMA, 2016.
3. *MEPC 65/INF.17 IMO Model Course on Energy-Efficient Operation of Ships*. London: World Maritime University, 2013.
4. *Guidelines for voluntary use of the ship energy efficiency Operational indicator (EEOI)*. London: IMO, 2009.
5. Tran, T. A. "Research of the Scrubber Systems to Clean Marine Diesel Engine Exhaust Gases on Ships." *Journal of Marine Science: Research & Development* 7.6 (2017): 243. DOI: 10.4172/2155-9910.1000243.
6. Pivovarov, L. A. "Razrabotka plana upravleniya energoeffektivnost'yu sudna (PUEES) dlya tankerov." *Sbornik materialov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sovremennye informatsionnye i innovatsionnye tekhnologii na transporte» – MINTT-2013*. Vol. 1. Kherson: ITs KhGMA, 2013. 73–77.
7. Laursen, Anders B. "Availability of elements for heterogeneous catalysis: Predicting the industrial viability of novel catalysts." *Chinese Journal of Catalysis* 39 (2018): 16–26. DOI: 10.1016/S1872-2067(17)62979-6.
8. Winnes, Hulda, Linda Styhre, and Erik Fridell. "Reducing GHG emissions from ships in port areas." *Research in Transportation Business & Management* 17 (2015): 73–82. DOI: 10.1016/j.rtbm.2015.10.008.
9. Rehmatulla, Nishatabbas, John Calleya, and Tristan Smith. "The implementation of technical energy efficiency and CO2 emission reduction measures in shipping." *Ocean Engineering* 139 (2017): 184–197. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.04.029.
10. Zhmur, V. N., and V. Ye. Leonov. "Ways to increase economic energy efficiency and environmental safety of sea freight." *American Scientific Journal* 19 (2018): 15–21.
11. Pilipenko, A. T., I. T. Goronovskii, Yu. P. Nazarenko, and E. F. Nekryach. *Kratkii spravochnik po khimii*. Edited by A.T. Pilipenko. K: Naukova dumka, 1987.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Леонов Валерий Евгеньевич** —  
доктор технических наук, профессор  
Херсонская государственная морская академия  
73000, Украина, Херсон, пр. Ушакова, 20  
e-mail: [leonov\\_v\\_e@i.ua](mailto:leonov_v_e@i.ua)  
**Гуров Анатолий Андреевич** —  
доцент, капитан дальнего плавания  
Херсонская государственная морская академия  
73000, Украина, Херсон, пр. Ушакова, 20  
e-mail: [anatoliygurov7@gmail.com](mailto:anatoliygurov7@gmail.com)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Leonov, Valeriy Ye.** —  
Dr. of Technical Sciences, professor  
Kherson State Maritime Academy  
20 Ushakova Avenue, Kherson, 73000, Ukraine  
e-mail: [leonov\\_v\\_e@i.ua](mailto:leonov_v_e@i.ua)  
**Gurov, Anatolii A.** —  
Associate professor, sea captain  
Kherson State Maritime Academy  
20 Ushakova Avenue, Kherson, 73000, Ukraine  
e-mail: [anatoliygurov7@gmail.com](mailto:anatoliygurov7@gmail.com)

Статья поступила в редакцию 30 октября 2019 г.  
Received: October 30, 2019.