

4. Pat. na poleznuyu model' № 67769. 10.07.2007 g. Aksial'nyj bezvalovyy dvigatel'-nasos / B.H. Gajtov, YA.M. Kashin, M.I. Ryabuhin, T.B. Gajtova, A.YA. Kashin.
5. Pat. RF na izobrenenie № 2343318. 31.05.2007 g. Aksial'nyj centrobezhnnyj dvigatel'-nasos / B.H. Gajtov, YA.M. Kashin, M.I. Ryabuhin, T.B. Gajtova, A.YA. Kashin. 6. Gajtov B.H. Upravlyaemye dvigateli-mashiny. M.: Mashinostroenie, 1981. – 183 s.
6. Volkov A.V., Parygin A.G., Vihlyancev A.A. Analiz perspektivnyh napravlenij sovershenstvovaniya nasosnyh agregatov neftekhimicheskikh i neftepererabatyvayushchih proizvodstv//Himicheskaya tekhnika, Market Skipper 2018g., str. 5-9.
7. Volkov A.V., Parygin A.G., Vihlyancev A.A., Druzhinin A.A. K voprosu ob optimizacii protochnoj chasti rabochih kolyos centrobezhnnyh nasosov //Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki. 2018. T. 11. № 4. S. 311-318.

УДК 621.431.74

DOI: 10.34046/aumsuomt105/37

## К ВОПРОСУ О ВНЕДРЕНИИ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА НА ОБЪЕКТАХ МОРСКОЙ ОТРАСЛИ

*В.В. Герасиди, кандидат технических наук, доцент  
А.А. Кротенко, курсант  
И.В. Чос, курсант*

В данной статье рассматривается производство и внедрение водородной энергетики на объекты морской отрасли. Приводится ряд отечественных разработок технологий создания энергоустановок с водородными топливными элементами. Представлены ведущие разработчики и основные положительные и отрицательные стороны водородного топлива и его производства, а также способы получения и экономическая составляющая. Проводится анализ и темпы развития перехода морской отрасли на водородное топливо с учетом стоимости производства водорода в России. Полученные результаты анализа показывают, что большая часть компаний расположена именно на территории Норвегии и на данный момент водород является самым экологичным видом топлива, который способен продлить наше время на день другой. С переходом на водородное топливо на морских судах появятся специалисты с новыми профессиями будущего.

**Ключевые слова:** водородное топливо, энергетические установки, загрязнение, анализ, разработки.

## ON THE ISSUE OF THE INTRODUCTION OF HYDROGEN FUEL AT THE FACILITIES OF THE MARINE INDUSTRY

*V.V.Gerasidi, A.A. Krotenko, I.V. Chos*

This article discusses the production and implementation of hydrogen energy at the facilities of the marine industry. A number of domestic developments of technologies for creating power plants with hydrogen fuel cells are given. The leading developers and the main positive and negative sides of hydrogen fuel and its production, as well as the methods of obtaining and the economic component are presented. The analysis and the pace of development of the transition of the marine industry to hydrogen fuel is carried out, taking into account the cost of hydrogen production in Russia. The results of the analysis show that most of the companies are located on the territory of Norway and at the moment hydrogen is the most environmentally friendly type of fuel that can extend our time for another day. With the transition to hydrogen fuel, specialists with new professions of the future will appear on ships.

**Keywords:** hydrogen fuel, power plants, pollution, analysis, development.

### Введение

В последнее время все острее становится проблема загрязнения окружающей среды выбросами серы, углекислого газа, азота и многих других соединений, разрушающих наш привычный мир. Согласно недавним подсчетам ученых уже к 2050 году человечество достигнет “точки невозврата”, если не сократит выбросы выше перечисленных веществ. К сожалению, эта проблема не обошла и отрасль перевозки грузов морем. Для питания массивных судов требуется большое количество энергии, и побочные продукты от этого составляют примерно 2,5% глобальных выбросов

парниковых газов. Международная морская организация (ИМО) согласилась сократить глобальные морские выбросы на 50% к 2050 году. В связи с этим все большее внимание обращается в сторону экологического топлива. В данной статье мы постараемся рассмотреть пути развития данной технологии, её плюсы и минусы.

### 1. Водородная энергия в России

В ходе прошедшего в июне 2021 года в Санкт-Петербурге X Международного военно-морского салона свои проекты в области водородной энергетики представил филиал Центральный НИИ судовой электротехники и технологии

(ЦНИИ СЭТ) Крыловского государственного научного центра (КГНЦ).

ЦНИИ СЭТ считается ключевым ответственным разработчиком технологий создания энергоустановок с водородными топливными элементами. Среди представленных в этом году экспонатов центральное место занимала батарея на основе твёрдополимерных топливных элементов БТЭ-П номинальной мощностью 6,5 кВт.

Есть у ЦНИИ СЭТ и своя разработка по генерации водорода. В качестве сырья выступает углеводородное топливо (природный газ). Сверхчистый водород производится в моноблочном конвертере путём паровой конверсии углеводородного топлива с отбором водорода из зоны реакции. По данным разработчиков, КПД такого конвертера составляет до 80% при относительно низкой температуре (600-650 градусов).

Как известно, водород взрывоопасен. Для безопасного и надёжного хранения водорода в

Таблица 1 - Ведущие разработчики в сфере водородного топлива

	Doosan	Hellesylt Hydrogen Hub	Toyota и Energy Observer	Порт Антверпена	FCHEA Air Liquide
Точка отсчета	2020 г	2015 г	2017 г	2019 г	
Технологии и предложения	Будет производить твёрдоокисный топливный элемент для питания и движения судов	Развитие завода по производству водорода в Гейрангерфьорде. Объект будет поставлять водород для паромов и круизных судов	Спущено на воду первое судно которое способно как вырабатывать водород, так и использовать его в виде топлива. Energy Observer Developments представила водородный генератор GEN2	Заказал буксир с водородным двигателем. ДВС, который сжигает H <sub>2</sub> в сочетании с дизельным топливом	Проект PILOT-E был выбран в качестве первого водородного парома в Норвегии
День D	2025 г	2024 г	2020 г	2021 г	2021 г

Внедрение любой новой технологии не может иметь только положительные стороны, в таблице 2 рассмотрим основные положительные и отрицательные стороны водородного топлива и его производства.

Таблица 2 - Переход на водородное топливо: плюсы и минусы

“за”	“против”
Высокая эффективность (нет передаточных звеньев при преобразовании хим. энергии топлива в электроэнергию)	Водород с воздухом – это взрывоопасная субстанция. Горение водорода не возможно зафиксировать невооруженным глазом
Эффективность водородной генерации-50-60%	Дорогой и сложный способ получения топлива в промышленных объемах
На выработку одного кВт*ч электроэнергии тратится не более 50 – 60 г водорода при КПД 45-60% (для ТПТЭ)	Не разработаны стандарты транспортировки, хранения и применения топлива на водороде
Простая конструкция (отсутствие дорогостоящих систем топливоподачи)	Несовершенство технологий хранения такого топлива
	Дорогие водородные элементы
	Работа электродвигателя на водородном топливе требуют водородные преобразователи тока и мощные аккумуляторные батареи, которые весят не мало, а также обладают внушительными габаритами

ЦНИИ СЭТ разработан контейнер с интерметаллидным сплавом-сорбентом. Такие накопители являются наиболее компактным и безопасным способом хранения водорода.

Что касается практической реализации в гражданских областях, то здесь перспективной разработкой является водородное пассажирское судно. По неофициальным данным, активная фаза создания такого судна в России может начаться в ближайшее время. В случае успешной реализации проект позволит не сильно отстать в набирающей скорость мировой водородной гонке.

## 2. Мировые лидеры по внедрению водородного топлива на флоте

В данный момент развитием водородного транспорта занимается много государств и частных компаний, в Таблице 1 приведём самые многообещающие проекты, находящиеся в стадии развития.

В таблице 3 приведены существующие на данный момент самые распространённые и выгодные способы выработки водорода, учитывая возможности развития индустрии в будущем.

Таблица 3 - Способы получения водородного топлива и экономическая составляющая

	Природный газ	Газификация угля	Использование атомной энергии	Электролиз воды	Водород из биомассы
Способ получения водорода	Водяной пар при температуре 700 -1000 градусов смешивается с метаном под давлением в присутствии катализатора	Уголь нагревают при температуре 800-1300 градусов без доступа воздуха	производство H2 возможно в различных процессах: химических, электролиз воды, высокотемпературный электролиз	H2O+энергия = 2H2+O2. Обратная реакция происходит в топливном элементе	При термохимическом методе биомассу нагревают без доступа O2 до температуры 500-800 градусов
Себестоимость на данный момент за кг	\$2-5	\$2-2,5	\$2,33	\$6-30 зависит от вида энергии, используемой при электролизе	\$5-7
Себестоимость в будущем кг	\$2-2,50	\$1,50		\$3-4	\$1-3

Рассмотрим один из видов получения водорода – электролиз воды, на примере установки компании «ЭкоГазСистем».

Промышленные генераторы водорода модели "С" с производительностью 10/20/30 Нм³/ч, массой в 3 тонны и габаритами электролизера: 2,52 x 1,16 x 2,0 м, и блока питания: 1,69 x 1,0 x

2,0 м выпускаются серийно. Эта модель находит самое широкое применение - от стекольной до электронной и металлургической промышленности. По заказу могут быть изготовлены генераторы водорода сверхбольшой производительности - 250 или 500 Нм³/ч.

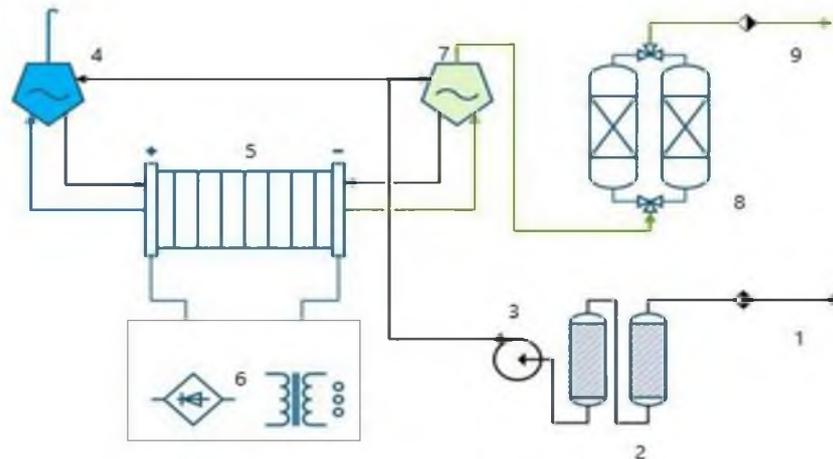


Рисунок 1 – Генератор водорода модели С

1.Вода сырьевая; 2. Водоподготовка; 3. Вода деионизованная; 4. Кислород отбросной; 5.Электролизёр; 6.Блок электропитания; 7.Сепаратор; 8.Осушка; 9.Водород заказчику

**3. А выгоден ли водород?**

Знаю стоимость производства 1 кг водорода, мы легко можем вычислить разницу между различными видами топлива для ГД. Мы решили взять для сравнения самое распространенное тяжелое топливо-мазут. В среднем танкер потребляет 40-42 тонны мазута в сутки при постоянной скорости в 15 узлов и работе. Стоимость мазута М-100 ТУ составляет 27850 рублей, что при переводе в доллары примерно 398 долларов. Итого, на

топливо в сутки уходит около 16710 долларов. Теперь попробуем сравнить рассчитать стоимость водорода[7]. Учитывая расход в 38,8 г/кВтч, мощности двигателя в 8,5 МВт и плотности сжиженного водорода 70,71кг/м3 мы получаем расход 4664,121 л/ч. Переводим в килограммы, и выходит, что в сутки наш двигатель будет “съедать” 8059 кг чистого водорода. Что обойдется нам на данный момент при самом дешевом варианте получения H2 примерно в 16118 долларов.

На рисунке 2 представлен примерный прогноз развития водородного рынка.

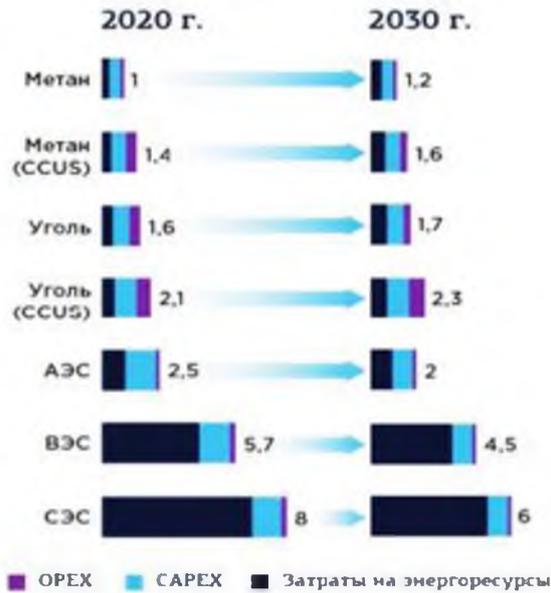


Рисунок 2 – Стоимость производства водорода в России в зависимости от способа в долл./кг

Получение водорода электролизом воды в настоящее время-процесс чрезвычайно дорогой. Однако в это направление ведутся постоянные исследования. Например, процесс разложения воды, используемый при производстве водорода, может быть ускорен за счет уникальных каталитических свойств углеродных нанотрубок. Кроме того, следует учитывать способ получения электроэнергии, необходимой для электролиза воды[6]. Если электроэнергия вырабатывается на электростанциях, использующих в качестве природный газ

или уголь, то экологичность применения водорода в качестве моторного топлива во многом теряет свои преимущества. Логичнее в качестве энергии для получения водорода использовать возобновляемый источник. Таким источником может быть энергия ветра, солнца и т.п.

Смотря на темпы развития водородной энергетики можно сделать выводы о примерных масштабах развития индустрии, приведённые на рисунке 3.

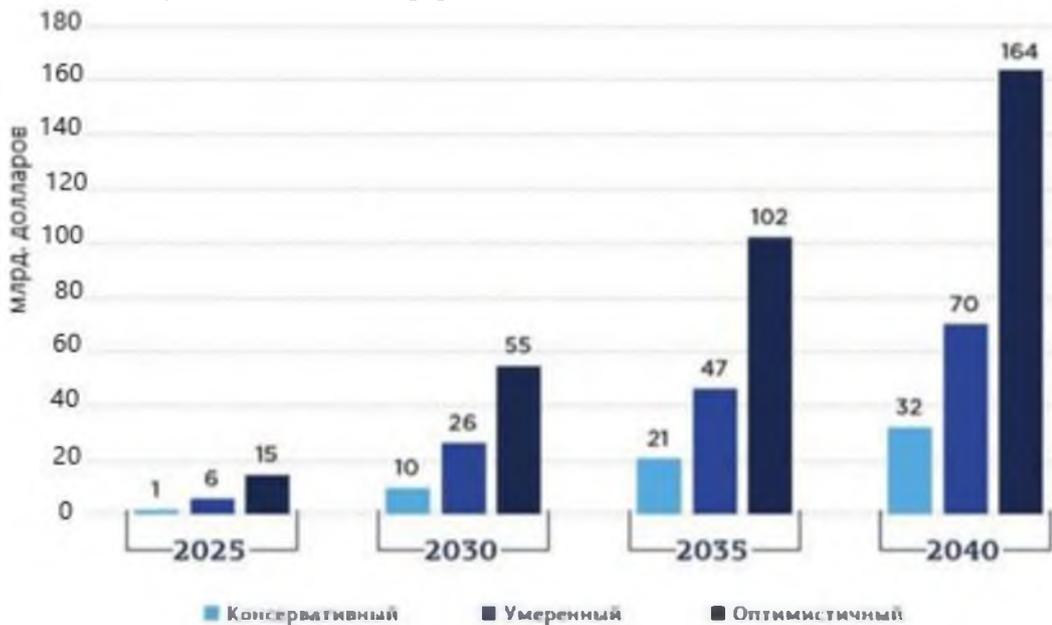


Рисунок 3 – Прогноз мирового рынка водородного топлива

**Заключение**

Внедрение водородного топлива на морском транспорте ознаменует начало новой эры в транспортной отрасли, в частности, в области

морских грузоперевозок. Появится множество новых рабочих мест, в особенности, для механиков, а численность экипажа может пополниться не-

сколькими новыми видами специалистов. К сожалению, вокруг мало информации о внедрении H<sub>2</sub> во флот, однако, большая часть компаний расположения именно на территории Норвегии [8]. Безусловно, водородное топливо является очень дорогой и опасной технологией. К тому же, судостроительным компаниям приложить немало сил, чтобы слезть с убивающей нашу планету нефтяной иглы. На данный момент водород является самым экологичным видом топлива, который способен продлить наше время на день другой.

#### Литература

1. Распоряжения Правительства Российской Федерации от 5 августа 2021 г. № 2162-р «Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации».
2. Группа «Деловой профиль». Аналитическое исследование: «Развитие водородной энергетики в России».
3. ООО «ЭкоГазСистем»: «Генераторы водорода PEM-типа».
4. Водородная энергетика: Себестоимость производства водорода.
5. ООО «ЭкоГазСистем»: «Водородные электролизёры. Принципиальная схема электролизной установки получения водорода».
6. Интеллектуальная система управления судовой энергетической установкой с использованием адаптивного многорежимного нейросетевого регулятора применительно к морским автономным судам / А. И. Епихин, Е. В. Хекерт, А. А. Иванченко, Г. А. Зеленков // Эксплуатация морского транспорта. – 2021. – № 4(101). – С. 112-119. – DOI 10.34046/aumsuomt101/15. – EDN PGYDCO.
7. Каракаев А.Б. Разработка методологии, методов и моделей анализа влияния различных вариантов построения структуры и режимов поддержания и восстановления работоспособности судовых электроэнергетических систем (Часть 1) [Текст] /

А.Б. Каракаев, А.В. Луканин, Е.В.Хекерт//Эксплуатация морского транспорта. 2016. № 3 (80). С. 54-60.

8. Modina M.A., Kheckert E.V., Epikhin A.I., Voskanyan A.A., Shkoda V.V., Pismenskaya Yu.V. 2021. Ways to reduce harmful emissions from the operation of power plants in special environmental control areas *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **867** 012104.

#### References

1. Rasporyazheniya Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 5 avgusta 2021 g. № 2162-r «Konceptsiya razvitiya vodorodnoj energetiki v Rossijskoj Federacii».
2. Gruppya «Delovoj profil». Analiticheskoe issledovanie: «Razvitie vodorodnoj energetiki v Rossii».
3. ООО «EkoGazSistem»: «Generatory vodoroda PEM-tipa».
4. Vodorodnaya energetika: Sebestoimost' proizvodstva vodoroda.
5. ООО «EkoGazSistem»: «Vodorodnye elektrolizyory. Principial'naya skhema elektroliznoj ustanovki polucheniya vodoroda».
6. Intellektual'naya sistema upravleniya sudovoj energeticheskoj ustanovkoj s ispol'zovaniem adaptivnogo mnogorezhimnogo nejrosetevogo reguljatora primenitel'no k morskim avtonomnym sudam / A. I. Epikhin, E. V. Hekert, A. A. Ivanchenko, G. A. Zelenkov // Ekspluatatsiya morskogo transporta. – 2021. – № 4(101). – S. 112-119. – DOI 10.34046/aumsuomt101/15. – EDN PGYDCO.
7. Karakaev A.B. Razrabotka metodologii, metodov i modelej analiza vliyaniya razlichnyh variantov postroeniya struktury i rezhimov podderzhaniya i vosstanovleniya rabotosposobnosti sudovyh elektroenergeticheskikh sistem (CHast' 1) [Tekst] / A.B. Karakaev, A.V. Lukanin, E.V.Hekert//Ekspluatatsiya morskogo transporta. 2016. № 3 (80). S. 54-60.
8. Modina M.A., Kheckert E.V., Epikhin A.I., Voskanyan A.A., Shkoda V.V., Pismenskaya Yu.V. 2021. Ways to reduce harmful emissions from the operation of power plants in special environmental control areas *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **867** 012104.

УДК 621

DOI: 10.34046/aumsuomt105/38

## CLOSED-LOOP MARINE ENGINE OPERATION WITH ZERO EMISSIONS OF HARMFUL COMBUSTION PRODUCTS

*Mihail-Vlad VASILESCU, Octavian Narcis VOLINTIRU, A I Epikhin, T G Toria*

In the modern world, the problem of environmental pollution with various toxic emissions is growing more and more. Exhaust or exhaust gases of internal combustion engines are one of those man-made factors. All countries impose restrictions on the concentration of hazardous substances, for example: Euro - for cars, Tier and Stage - for heavy equipment and MARPOL-73/78, which regulates emissions from maritime transport. The situation is extremely acute for marine vessels, since engines of impressive power that operate for a long period are difficult to adapt to stringent environmental requirements. The purpose of the article, based on open sources, is to evaluate the prospects for the development of internal combustion engines with an exhaust gas recirculation system to minimize the amount of toxic emissions into the atmosphere. The development of technologies that