

УДК 621.432

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

Ерофеев Валентин Леонидович¹, доктор технических наук, профессор

e-mail: kaf_sdvs@gumrf.ru

Жуков Владимир Анатольевич¹, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой судостроения и энергетических установок

e-mail: zhukovva@gumrf.ru

¹ Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Статья посвящена возможности использования водорода в современных судовых энергетических установках. На основании анализа научно-технической информации оценена перспективность использования водорода в судовых энергетических установках. Научные исследования и опытно-конструкторские работы, направленные на расширение использования водорода, сохраняют актуальность и перспективность, однако ожидать скорого отказа от углеводородных топлив не следует.

Ключевые слова: судовые энергетические установки, водород, топливные элементы, экономический эффект, экологические результаты.

EXPERIENCE IN THE APPLICATION AND PROSPECTS OF HYDROGEN ENERGY IN WATER TRANSPORT

Erofeev Valentin Leonidovich¹, Doctor of Technical Sciences, Professor

e-mail: kaf_sdvs@gumrf.ru

Zhukov Vladimir Anatolevich¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Shipbuilding and Power Plants

e-mail: zhukovva@gumrf.ru

¹ Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg, Russia

Abstract. The article is devoted to the possibility of using hydrogen in modern marine power plants. Based on the analysis of scientific and technical information, the prospects of using hydrogen in marine power plants are estimated. Scientific research and development work aimed at expanding the use of hydrogen remain relevant and promising, but one should not expect an early abandonment of hydrocarbon fuels.

Keywords: marine power plants, hydrogen, fuel cells, economic effect, environmental results.

Развитие гражданского и военно-морского флотов Российской Федерации требует поиска новых решений в области комплектования энергетических установок судов и кораблей. Одним из направлений развития судовой и корабельной энергетики является использование водорода. Следует отметить, что использование водорода в качестве топлива для тепловых двигателей не является новой научной идеей. Первый двигатель, работающий на водороде, создан в 1806 году французским изобретателем Франсуа Исаак де Риваз. Первый патент на водородный двигатель выдали в Великобритании в 1841 году. В 1852 году в Германии был создан двигатель внутреннего сгорания, который работал на воздушно-водородной смеси. В 1863 французский изобретатель Этьен Ленуар сконструировал версию двигателя, который работал на водороде.

В годы Великой отечественной войны в войсках противовоздушной обороны широко использовались заградительные аэростаты, наполняемые водородом, получаемым из воды за счет окисления кремния. В блокадном Ленинграде возникла проблема дефицита топлива. Техник лейтенант Борис Шелищ предложил использовать отработанный (бросовый «отработанный после подъема») водород в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания, что и было успешно осуществлено. На водородное питание перевели все ДВС лебедек аэростатов, 200 грузовиков ГАЗ, общее число работающих на водороде машин достигало 600 единиц.

В настоящее время наблюдается активизация развития водородной энергетики, как в нашей стране, так и за рубежом. Об этом свидетельствуют, постановления правительства РФ [1, 2], федеральные программы. В распоряжениях правительства РФ подчеркивается, что изменение структуры спроса на энергоресурсы, включая замещение углеводородных топлив другими видами энергетических ресурсов, в том числе водородом для Российской Федерации является одним из аспектов обеспечения энергетической безопасности.

Достаточно много внимания уделяется использованию водородной энергетики на транспорте. Целью проведенного анализа является оценка перспектив применения энергетических установок, использующих водородное топливо на морском и речном флоте.

Оценка перспективности использования энергетических установок различного типа на водном транспорте должна базироваться на трех основных требованиях:

- техническая реализуемость;
- экономическая целесообразность;
- экологические последствия.

Техническая реализуемость водородных энергетических установок может быть оценена на основании анализа реализованных к настоящему времени проектов судов и кораблей. Обзор, представленный в работе [3], позволяет сделать вывод о возможности применения водородных энергетических установок как на военных кораблях, прежде всего подводных лодках, так и на гражданских судах различного назначения. Использование водородного топлива в корабельной и судовой энергетике преследует различные цели, однако это не исключает необходимости оценки энергетических затрат и экологической целесообразности, обусловленных переходом на водородное топливо.

При проведении такого анализа необходимо уделять внимание следующим аспектам:

- характеристикам водородного топлива;
- способам получения водорода;
- способам хранения и использования водородного топлива на объектах морской и речной техники.

На военно-морском флоте водородное топливо дает возможность создавать анаэробные (воздухонезависимые) энергетические установки (ВНЭУ) для подводных лодок. Подводные лодки с ВНЭУ имеют, по сравнению с другими типами подводных лодок, низкую скорость и высокую строительную стоимость, но при этом обладают высокой



скрытностью, что является их основным достоинством.

Наиболее известным представителем таких подводных лодок является проект U-212, который начал реализовываться в 1994 году, но из-за сложности энергетической установки первая лодка была заложена на верфи Howaldtswerke Deutsche Werft AG лишь в 1998 году и введена в строй в 2005 году [4].

В Российской Федерации также ведутся разработки подводных лодок с энергетическими установками, работающими на водородном топливе (проект 677 «Ладa»). Создание ВНЭУ для подводных лодок ведется совместно ЦКБ МТ «Рубин», разрабатывающим анаэробную установку на основе электрохимического генератора и КБ «Малахит», который разработал газотурбинный двигатель, работающий по замкнутому циклу [5].

В гражданском судостроении применение водородного топлива призвано, прежде всего, решить экологические проблемы, снизив выбросы токсичных газов в атмосферу

Использование водородного топлива в гражданском судостроении представлено проектами, которые позиционируются как примеры реализации на водном транспорте концепции «зеленой энергетики». Наиболее известными из реализованных проектов являются судно снабжения Viking Lady (рис. 1) и буксир-толкач Elektra (рис. 2).



Рисунок 1 – Судно Viking Lady

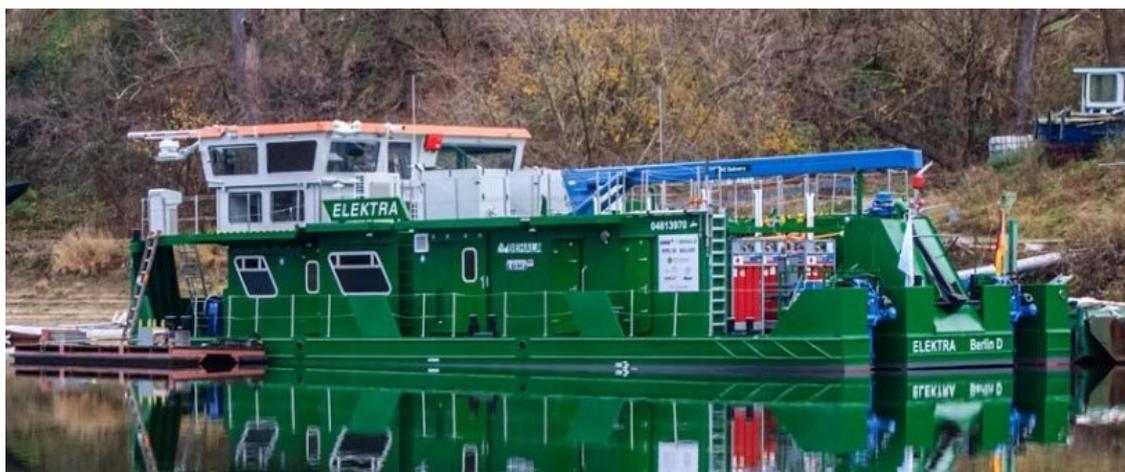


Рисунок 2 – Буксир-толкач ELEKTRA

Судно Viking Lady оснащено двухтопливной дизель-электрической установкой, в состав которой входят четыре двигателя Wartsila 6R32DF мощностью 2010 кВт каждый, четыре генератора Alconza NIR 6391 A-10LW, каждый мощностью 1950 кВт, и топливный

элемент с расплавленным карбонатом, работающий при температуре 650°C. Газообразный водород является наиболее благоприятным топливом для элемента, но разработанная технология позволяет использовать также метанол, СПГ, биотопливо и газ, получаемый из органических отходов. Существенным преимуществом энергетической установки является снижение выбросов токсичных соединений с отработавшими газами за счет комбинированного использования топливного элемента и газового двигателя. При эксплуатации судна было зафиксировано снижения выбросов оксида серы на 100%, оксида азота на 85% и углекислого газа на 20%.

Буксир-толкач ELEKTRA предназначен для транспортировки барж с грузами до 1400 тонн. Судно приводится в движение тремя электромоторами, мощностью по 100 кВт каждый, питание которых обеспечивают водородные топливные элементы и аккумуляторные батареи общей емкостью 2,5 тыс. кВт·ч.

Примером отечественных разработок является экспериментальное судно проекта 00393 (рис. 3), создаваемое совместно Крыловским государственным научным центром и АО «Судостроительная Корпорация «Ак Барс» (г. Зеленодольск) [6].



Рисунок 3 – Прогулочное судно проекта 00393

Судно предназначается для совершения прогулочных рейсов в акваториях мегаполисов или в пляжной зоне курортов. В состав единой электроэнергетической системы электродвижения с гребными электродвигателями входят два винта на электродвигателях мощностью по 22 кВт, питание электродвигателей должны обеспечивать водородные топливные элементы.

В настоящее время на мировой флот приходится около 3% глобальных выбросов CO₂. В отчете Международного энергетического агентства говорится, что для достижения нулевого уровня выбросов парниковых газов к 2050 году на топливо на основе водорода, включая аммиак, должно приходиться 30% топлива, потребляемого морским транспортом. Стремление обеспечить углеродную нейтральность к 2050 г. требует искать финансовые стимулы, которые приведут корпоративные расходы в соответствие с климатическими целями. Поэтому в дополнение к снижению затрат на технологии и «безотлагательность климатического кризиса» «зеленые» продукты вынудят ввести надбавку к цене, так называемый «климатический налог».

Однако, по нашему мнению, введение надбавки к цене продукции вследствие «безотлагательности климатического кризиса» – надуманная проблема, как и сама причина климатического кризиса – рост диоксида углерода, как главного виновника парникового эффекта – является дискуссионной.

Учитывая мировой интерес к развитию водородных технологий для обеспечения низкого уровня выбросов Международная морская организация ИМО активизировала усилия по созданию руководящих принципов в рамках нормативно-правовой базы, касающихся безопасности судов. Bureau Veritas – одна из ведущих международных морских классификационных организаций разработала и утвердила ряд Правил, Примечаний к Правилам и Руководящих примечаний для судов, использующих топливные элементы. – №547 «Суда на топливных элементах», январь, 2022 года [7].

Несмотря на неуклонно возрастающее внимание к вопросам водородной энергетики все проекты и их результаты носят скорее научно-исследовательский и демонстрационный характер. Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что ожидать экономического эффекта от внедрения водородного топлива с учетом энергетических затрат, связанных с его получением и хранением, не стоит.

Экологический эффект, получаемый при переходе на водородное топливо, обуславливается, в первую очередь, способом производства топлива. Водород, в зависимости от способа его получения, подразделяют на 6 групп (рис. 4).



Рисунок 4 – Экологическая классификация водорода

Наибольшее количество водорода в настоящее время вырабатывается наиболее дешевым и наименее экологически чистым способом – газификацией угля, т.е. является «бурым». Показательной с экологической точки зрения является транспортная цепочка поставки водорода из Австралии в Японию, представленная на рис. 5 [8].

Водород производится из бурого угля в штате Виктория в Австралии, примерно в 135 км к востоку от Мельбурна. Получение водорода осуществляется в результате реакции угля с кислородом и водяным паром при высоких температурах и давлении. Отходами процесса являются диоксид углерода CO_2 и другие токсичные газы. Затем водород доставляется автотранспортом на расстояние 80 миль в Гастингс и охлаждается до $-253^{\circ}C$, что позволило в 800 раз уменьшить его объем. В Австралии в атмосферу были произведены выбросы CO_2 и других токсичных газов в процессе добычи угля, производства водорода, автомобильной транспортировки, сжижения и погрузки водорода в танкер. Судно с дизель-электрической энергетической установкой суммарной мощностью около 4 МВт, транспортируя водород на 9 тыс. км также выбрасывает в атмосферу значительное количество диоксида углерода CO_2 .

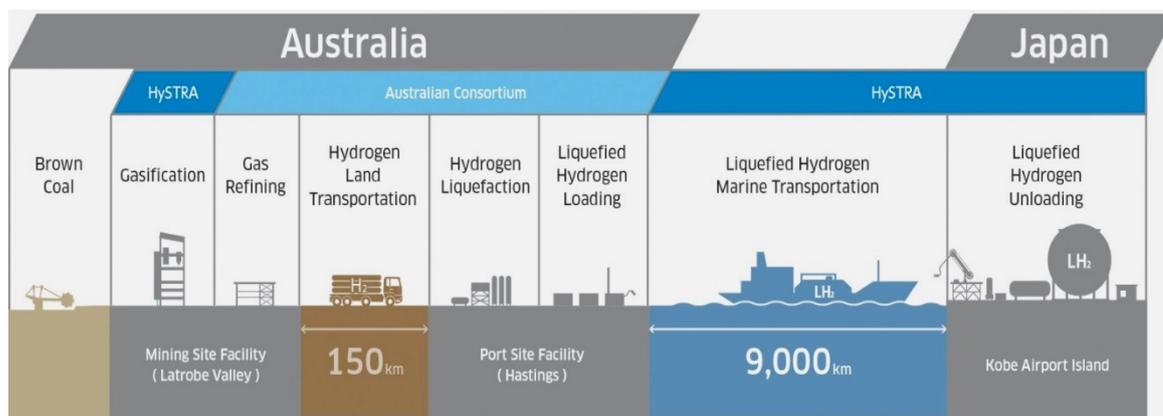


Рисунок 5 – Производство и поставка водорода из Австралии в Японию

С учетом указанных фактов вызывает большие сомнения экологическая чистота водорода, доставленного в Японию, и реальная экологическая безопасность так называемой «зеленой» водородной энергетики.

При возможности применения альтернатив достижения поставленных целей находят заменителей водорода или его носители (природный газ, попутный нефтяной газ, спирты, аммиак и проч.), получаемых, в основном, из органических углеводородов.

Использование экологических характеристик водорода, принося локальные (местные, частные) успехи, не решает общие задачи – снижение углеродных выбросов. Полная замена невозобновляемых источников энергии (из углей, нефтепродуктов, газов), производящих до 60 – 70% энергии в мире, на возобновляемые источники (ветро- и гидроресурсы) является очередной утопией.

Стремление выделить водород как «топливо будущего» остается мечтой, возможно, меняющей содержание в свете развития успехов в сфере управляемых процессов термоядерных технологий. Прогресс в развитии технологий производства и использования альтернативных видов топлива, в том числе и водорода неизбежен.

Список литературы:

1. Распоряжение Правительства РФ от 12.10.2020 № 2634-р «Об утверждении плана мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года». – URL: <https://rulings.ru/government/Rasporyazhenie-Pravitelstva-RF-ot-12.10.2020-N-2634-r/> (дата обращения: 20.05.2024)
2. Распоряжение Правительства РФ от 5 августа 2021 г. № 2162-р «Об утверждении Концепции развития водородной энергетики в РФ». – URL: <http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2Nqcvsexl.pdf> (дата обращения: 20.05.2024)
3. Ерофеев В.Л., Ерофеева Е.В., Жуков В.А., Гаврилов В.В. Перспективы водородной энергетики в судостроении // Судостроение. – 2023. – №6 (871). – С. 22 – 24.
4. Совершенная подводная лодка U-212. – URL: <https://shipshub.com/ru/article/1715-2.html> (дата обращения: 20.09.2023)
5. В ЦКБ «Рубин» рассказали о модернизации подлодок «Лада» и «Варшавянка». – URL: https://ria.ru/organization_CKB_MT_Rubin/ (дата обращения 20.09.2023)
6. Первое отечественное пассажирское судно на водороде. – URL: <https://paluba.media/news/53843> (дата обращения: 27.09.2023)
7. BUREAU VERITAS MARINE & OFFSHORE. Ships using Fuel Cells Rule Note NR 547 DTR01. – URL: https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/547-NR_2022-01.pdf (дата

обращения: 27.09.2023)

8. E. Harada. Development and Demonstration toward Hydrogen Energy Introduction Essential for Establishing a Decarbonized Society // KAWASAKI TECHNICAL REVIEW. – 2021. – № 182. – p. 3 – 8.

