



КГЭУ

ВЕСТНИК

КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



KAZAN STATE POWER ENGINEERING
UNIVERSITY BULLETIN

2022, том 14

№ 4 (56)

ВЕСТНИК КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Свидетельство о регистрации СМИ:
журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций
ПИ № ФС77-34079 от 14 ноября 2008 г.

2022
Т.14, №4(56)

Периодичность – 4 раза в год

ISSN 2072-6007 (Print)

Решением ВАК России включен в Перечень рецензируемых научных изданий
по специальностям: 05.14.00 «Энергетика»

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Казанский государственный энергетический университет

ИЗДАТЕЛЬ:

Казанский государственный энергетический университет

ОСНОВНАЯ РУБРИКА ЖУРНАЛА:

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

Главный редактор:	АБДУЛЛАЗЯНОВ Э. Ю.
Заместитель главного редактора	АХМЕТОВА И.Г.
Ответственный секретарь	ГРАЧЕВА Е.И.
Научный редактор	КАЛИНИНА М.В.
Редактор	ВАЛЕЕВА С.Н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ТОРКУНОВА Ю.В.	ГРАЧЕВА Е.И.	ЗВЕРЕВА Э.Р.
НОВИКОВА С.В.	ФЕДОТОВ А.И.	МИНГАЛЕЕВА Г.Р.
ОРАЗБАЕВ Б.Б.	KOLCUN MICHAEL	ЛАПТЕВ А.Г.
КАБАЕВА Г.Д.	STANIMIR VALTSCHEV	ВАЛЕЕВА Ю.С.
ИВШИН И.В.	ВИНОГРАДОВ А.В.	ЗОРИНА Т.Г.
ГИЗАТУЛЛИН З.М.	БОЧКАРЕВ И.В.	ЧИРКОВА И.Г.
ДОВГУН В.П.	БРЯКИН И.В.	КОЛИБАБА В.И.
ИЛЮШИН П.В.	АХМЕТОВА И.Г.	TAN LIGUO
САФИН А.Р.	ВАНЬКОВ Ю.В.	

Подписка:	Каталог интернет-подписки «Почта России» – П6739
Сайт:	www.vkgeu.ru
Издатель:	Казанский государственный энергетический университет
Адрес издателя:	420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51
Адрес редакции:	420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51
Тел./факс:	+7 (843) 527-92-76
Типография:	ООО "ФОЛИАНТ"
Адрес типографии:	420111 г. Казань, ул. Профсоюзная, 17 в
Email:	vkgeu@bk.ru

VESTNIK KAZANSKOGO GOSUDARSTVENNOGO ENERGETICHESKOGO UNIVERSITETA

Founder:
Kazan State Power Engineering University

2022
Vol.14, №4(56)

Publication Frequency – Quarterly

ISSN 2072-6007 (Print)

Publisher: Kazan State Power Engineering University

Chief Editor: EDWARD Yu. ABDULLAZYANOV

SECTIONS:

ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES
ELECTRICAL COMPLEXES AND SYSTEMS
SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND PROCESSING OF INFORMATION
REGIONAL AND SECTORAL ECONOMY

The Journal publishes the results of open scientific research carried out by scientists of scientific institutions, higher educational institutions, other organizations and citizens conducting research in the form of a personal initiative. The following materials are accepted for publication: original articles; scientific reviews; reviews; short messages; reference materials. Language of publications: Russian, English.

Editorial board:

TORKUNOVA YULIYA	GRACHEVA ELENA	ZVEREVA ELVIRA
NOVIKOVA SVETLANA	FEDOTOV ALEXANDER	MINGALEEVA GUZEL
ORAZBAEV BATYR	KOLCUN MICHAIL	LAPTEV ANATOLY
KABAEVA GULNARA	STANIMIR VALTCHEV	VALEEVA YULIYA
IGOR IVSHIN	VINOGRADOV ALEXANDER	ZORINA TATYANA
GIZATULLIN ZINNUR	BOCHKAREV IGOR	CHIRKOVA IRINA
DOVGUN VALERY	BRIAKIN IVAN	KOLIBABA VLADIMIR
ILYUSHIN PAVEL	AKHMETOVA IRINA	TAN LIGUO
SAFIN ALFRED	VANKOV YURY	

Address	Krasnoselskaya str. 51, 420066, Kazan, Russian Federation
Tel./fax:	+7 (843) 527-92-76
Printing House:	Printing House: LLC "FOLIANT"
Address of the printing house:	Address of the printing house: 420111 g. Kazan, Str. Trade Union, 17 V
Email:	vkgeu@bk.ru
Site:	www.vkgeu.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

КОРНИЛОВ С.В., ЗВЕРЕВА Э.Р., ФЕДОРОВА А.А., ГУМЕРОВ И.Ф., ФАРДЕЕВ Л.И., АХМЕТОВА И.Г. Перспективы развития водородной энергетики и рынка транспортных средств на водородном топливе.	3
ШУШПАНОВ И.Н., ПЕРМЯКОВА Д.Н., КОНЮХОВ В.Ю., ОПАРИНА Т.А. Методы повышения эффективности работы систем электроснабжения железных дорог Восточного полигона.	19
РАХМОНОВ И.У. Автоматизированная система управления электропотреблением промышленных предприятий.	30
КАРПИЛОВ И.Д. Исследование нестационарного процесса паровой конверсии метана при регенеративном подогреве каталитической вставки.	39
МУРАШОВ В.А., СТРОГОНОВ К.В., ФЕДЮХИН А.В., АХМЕТОВА И.Г., СОЛОВЬЕВА О.В. ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕЖЕНИЯ ПРИ ОСВЕЩЕНИИ РАСПЛАВА БАЗАЛЬТА.	50
САИТОВ С.Р., КАРАЧУРИН Б.Р., СИДОРОВ М.В. Прогнозирование пиковых часов энергосбытовых компаний, входящих в реестр гарантирующих поставщиков АО «АТС». ...	59
КУНИЦКИЙ В.А., ЛУКИН С.В. Исследование нестационарных режимов работы утилизационного теплообменного устройства на основе математического моделирования. ...	69
ЮЛДАШЕВ З.Ш., ЮЛДАШАЕВ Р.З., КАСОБОВ Л.С., РАДЖАБОВ М.Ш., БАЛОБАНОВ Р.Н. Энергокомплекс для энергообеспечения энерготехнологических процессов.	80
ГИЛЬФАНОВ К.Х., ШАКИРОВ Р.А. ГАЙНУЛЛИН Р.Н., КОННОВ Ф.В. Способ интенсификации теплообмена на основе интеллектуального управления режимными характеристиками теплообменного оборудования.	91
БАЗУКОВА Э.Р., ВАНЬКОВ Ю.В., ПОНОМАРЕВ Р.А. Экономический эффект вариантов тепловой защиты трубопроводов энергетических комплексов.	103

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

АБДУЛЬМЯНОВ Т.Р., ЕПИФАНОВА Л.Т., ЕПИФАНОВ В.К., МАРДАНОВА А.М. Моделирование резонансных вибраций в гидроагрегатах ГЭС с широким диапазоном рабочей зоны.	113
ВИНОГРАДОВА А.В., ВИНОГРАДОВ А.В., БОЛЬШЕВ В.Е., БУКРЕЕВ А.В. Сезонное резервирование электроснабжения: принцип, устройство, алгоритм.	124

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

ГУРИНА Л.А. Методический подход для оценки киберустойчивости объектов информационной инфраструктуры в условиях цифровизации ЭЭС.	133
ЖИЛКИНА Ю.В. Цифровизация электроэнергетики как «окно возможностей» для повышения эффективности энергосистем государств-участников СНГ.	142

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

АЛЕКСАНДРОВИЧ С.А., ЗОРИНА Т.Г. Прогнозирование потребности в электроэнергии на работу электротранспорта в Республике Беларусь на период до 2030 года.	156
ЧИРКОВА И.Г., БИКЕЙКИНА И.А., ГОНЧАРОВА М.А. Тенденции изменения энергоемкости продукции агропродовольственного сектора экономики в период импортозамещения.	168
МАКОЕВ С.О., АХМЕТОВА И. Г., ФОНОВ А.М. Разработка когенерационных энергетических систем с применением технологии газификации твердых коммунальных отходов.	178

C O N T E N T S

ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES

KORNILOV SV, ZVEREVA ER, FEDOROVA AA, GUMEROV IF, FARDEEV LI, AKHMETOVA IG. Prospects for the development of hydrogen energy and the market of hydrogen-fueled vehicles.	3
SHUSHPANOV IN, PERMYAKOVA DN, KONYUKHOV VYU, OPARINA TA. Methods of increasing the efficiency of the power supply systems of the railways of the eastern polygon.	19
RAKHMONOV IU. Automated system for power consumption of industrial enterprises.	30
KARPILOV ID. Numerical simulation of oscillatory process in defect-free and defective pipelines.	39
MURASHOV VA, STROGONOV KV, FEDYUKHIN A.V, AKHMETOVA IG, SOLOVEVA OV. Investigation of the rarefaction during the clarification of the basalt melt.	50
SAITOV SR, KARACHURIN BR, SIDOROV MV. Forecasting electricity consumption peak hours of energy supply company included in the registry of public corporation ATS energo. .	59
KUNITSKIY VA, LUKIN SV. Research of non-stationary operation modes of utilization heat exchanger on the basis of mathematical modeling.	69
YULDASHEV ZSH, YULDASHEV RZ, KASOBV LS, RAJABOV MSH, BALOBANOV RN. Energocomplex for energy supply of energy technological processes.	80
GILFANOV KH, SHAKIROV RA, GAYNULLIN RN, KONNOV FV. A method for intensifying heat exchange based on intelligent control of the operating characteristics of heat exchange equipment.	91
BAZUKOVA ER, VANKOV YUV, PONOMAREV RA. Economic effect of options for thermal protection of pipelines of energy complexes.	103

ELECTRICAL COMPLEXES AND SYSTEMS

ABDULMYANOV TR, EPIFANOVA LT, EPIFANOV VK, MARDANOVA AM. Simulation of resonant vibrations in hydraulic units of HPP with a wide range of working area .	113
VINOGRADOV AV, VINOGRADOVA AV, BOLSHEV VE. Seasonal power redundancy: principle, device, algorithm.	124

SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND PROCESSING OF INFORMATION

GURINA LA. Methodological approach for assessment of cyber resilience of the information infrastructure facilities in the context of electric power system digitalization.	133
ZHILKINA YU. Electric power industry digitalization as «a window of opportunity» to increase efficiency energy systems of the CIS member states.	142

REGIONAL AND SECTORAL ECONOMY

ALIAKSANDROVICH SA, ZORYNA TG. Forecasting the electricity demand for electric transport in the Republic of Belarus for the period up to 2030.	156
CHIRKOVA IG, BIKEIKINA IA, GONCHAROVA MA. Trends in the energy intensity of products of the agri-food sector of the economy during the period of import substitution.	168
MAKOEV SO, AKHMETOVA IG, FONOV AM. Development of cogeneration energy systems using the technology of gasification of solid municipal waste.	178

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 620.92

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И РЫНКА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ВОДОРОДНОМ ТОПЛИВЕ

Корнилов С.В.^{1,2}, Зверева Э.Р.², Федорова А.А.², Гумеров И.Ф.¹, Фардеев Л.И.¹,
Ахметова И.Г.²

¹Научно-технический центр ПАО «КАМАЗ»

²Казанский государственный энергетический университет
Kornilov.SV@kamaz.ru

Резюме: Перспектива развития водородной энергетики напрямую зависят от способов, технологий и сфер использования водорода. **ЦЕЛЬ.** В частности, в данной статье представлена актуальная информация по анализу барьеров, препятствующих развитию данной отрасли, и оценке возможности перехода к декарбонизации в мире и Российской Федерации (РФ). Рассмотрены вопросы применения водорода в качестве топлива, а также инструменты и план мероприятий по преодолению существующих ограничений в РФ. Представлен прогноз развития рынка транспортных средств с водородными топливными элементами. Цель исследования – анализ возможных перспектив развития водородной энергетики и использования водорода как топлива за рубежом и в РФ. **МЕТОДЫ.** В ходе проведения исследования использовались методы анализа открытых и наблюдения процессов изменения глобальных трендов. Практическая значимость – данный анализ позволит сформировать представление и понимание трендов развития транспортной отрасли и обосновать актуальность водородной энергетики в РФ и мире. **РЕЗУЛЬТАТОМ** проведенного исследования стал обзор утвержденных правительственных программ, дорожных карт, данных, представленных в исследованиях рынка транспортных средств, на основе которых в графическом виде представлена динамика и прогнозы рынка транспорта на водородном топливе, позволяющих оценить перспективы развития водородных технологий.

Ключевые слова: водород; водородные технологии; топливные элементы; экономика водорода.

Для цитирования: Корнилов С.В., Зверева Э.Р., Федорова А.А., Гумеров И.Ф., Фардеев Л.И., Ахметова И.Г., Соловьева О.В. Перспективы развития водородной энергетики и рынка транспортных средств на водородном топливе // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. №4 (56). С. 3-18.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF HYDROGEN ENERGY AND THE MARKET OF HYDROGEN-FUELED VEHICLES

SV. Kornilov^{1,2}, ER. Zvereva², AA. Fedorova², IF. Gumerov¹, LI. Fardeev¹,
IG. Akhmetova²

¹Scientific and Technical Center of PJSC «KAMAZ»

²Kazan State Power Engineering University
Kornilov.SV@kamaz.ru

Abstract: **PURPOSE.** The prospects for the development of hydrogen energy partly directly depend on the methods, technologies and spheres of hydrogen use. In particular, this article provides up-to-date information on the analysis of barriers impeding the development of this industry and the assessment of the possibility of transition to decarbonization in the world and the Russian Federation (RF). The issues of using hydrogen as a fuel, as well as tools and an action

plan to overcome existing restrictions in the Russian Federation are considered. The forecast of the development of the market of vehicles with hydrogen fuel cells is presented. THE PURPOSE of the study is to analyze possible prospects for the development of hydrogen energy and the use of hydrogen as fuel abroad and in the Russian Federation. METHODS – in the course of the study, methods of analyzing open and observing the processes of changing global trends were used. PRACTICAL SIGNIFICANCE – this analysis will help to form an idea and understanding of the trends in the development of the transport industry and justify the relevance of hydrogen energy in the Russian Federation and the world. THE RESULT of the study is a review of government programs and roadmaps, vehicles market research data, which became the basis for assessment of the dynamics and forecast of fuel cell vehicles market development and allowed to estimate prospects of hydrogen-based technologies.

Keywords: hydrogen; hydrogen technologies; fuel cells; hydrogen economy.

For citation: Kornilov SV, Zvereva ER, Fedorova AA, Gumerov IF, Fardeev LI, Akhmetova IG. Prospects for the development of hydrogen energy and the market of hydrogen-fueled vehicles. KAZAN STATE POWER ENGINEERING UNIVERSITY BULLETIN. 2022;14(56):3-18.

Введение

По оценкам Всемирного фонда дикой природы, ухудшение экологии может нанести серьезный ущерб мировой экономике к 2050 году. Так, из-за разрушений от наводнений, цунами и эрозии почв вследствие повышения уровня моря, прогнозируемые ежегодные экономические потери в базовом сценарии развития составят 479 млрд долл. США. Наибольшие ежегодные финансовые потери могут понести США (-82,5 млрд долл. США), среди азиатских стран – Япония (-80 млрд долл. США), а среди стран Европы – Великобритания (-21,1 млрд долл. США) [1, с. 60]. Однако наиболее негативно климатические изменения отразятся на ВВП менее развитых стран, таких как Мадагаскар (-4,2 %), Вьетнам (-2,84 %), Мозамбик (-2,69 %). В Америке больше всего ежегодных финансовых потерь придется на США (\$81 млрд), в Азии на Японию (\$79 млрд), и в Европе на Британию (\$20 млрд), считают ученые. Распад стабильных экосистем приведет к росту расходов на полицию, пожарную службу, тюрьмы и суды, ожидают в WWF. Однако наибольшие потери ВВП придутся на менее развитые страны. По мнению экспертов, Мадагаскар будет терять 4,2% ВВП к 2050 году, Того – 3,37%, а Вьетнам – 2,84% [1, с. 60].

Крупнейшие страны мира начали процесс декарбонизации, и постепенно к ним присоединяются другие. Так, 90% стран во всём мире уже взяли на себя обязательства по сокращению углеродного следа в рамках 26-й сессии Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (COP-26), в частности, 136 стран взяли на себя обязательство достичь нулевого уровня выбросов к 2050 году. Потенциал сокращения выбросов за счет водородных решений составляет 5-6 гт CO₂-экв. в год (~20% от необходимого объема снижения выбросов) [2].

На сегодняшний день углеродные выбросы составляют 45–50 гт CO₂-экв. в год [2]. Для удержания глобального потепления в пределах 1,5 °C необходимо снижение выбросов на 30–35 гт CO₂-экв. в год в среднем до 2050 года. В настоящее время определены три основные траектории снижения выбросов парниковых газов: первая учитывает заявления, сделанные на COP26; вторая – заявленные планы стран; третья соответствует траектории Парижского соглашения (рис. 1). Наиболее консервативной является траектория, основанная на заявлениях и обязательствах стран.

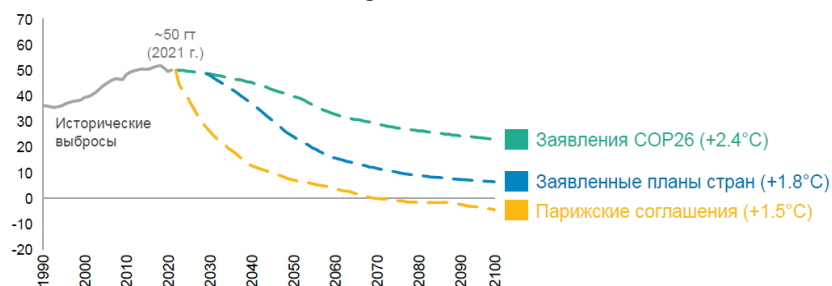


Рис.1. Глобальные выбросы парниковых газов при различных сценариях и их влияние на потепление, гигатонн CO₂-эквивалента

Fig.1. Global greenhouse gas emissions under various scenarios and their impact on global warming, gigatonnes of CO₂ equivalent

В связи с необходимостью снижения углеродных выбросов в атмосферу Земли в последние десятилетия в мире вновь возрос интерес к применению водорода, который рассматривается в качестве перспективного энергоносителя, позволяющего реализовать задачи по декарбонизации. В странах принимаются государственные стратегии и дорожные карты, предусматривающие постепенный отказ от традиционных видов топлива и переход к низкоуглеродной экономике (рис. 2) [3]. По оценке Блумберг, чтобы достичь цели Парижского соглашения по климату в общей сложности необходимо инвестировать 12,1 трлн долл. США в течение последующих 25 лет (до 2040 года). Европейский союз оценивает инвестиционные затраты для перехода к зеленой экономике порядка 1 трлн евро в течение следующего десятилетия. Глава «бизнес-двадцатки» Эмма Марчегальи дала свою оценку для перестройки мировой экономики на «экологическое озеленение», оцениваются затраты порядка 90 трлн евро мировых инвестиций до 2050 года. В свою очередь на рубеже 10 лет только для стран Европы необходимо 3,5 трлн евро для проектов зеленой экономики, из них 650 млрд евро – затраты для инвестиций проектов по «озеленению» Италии [4].

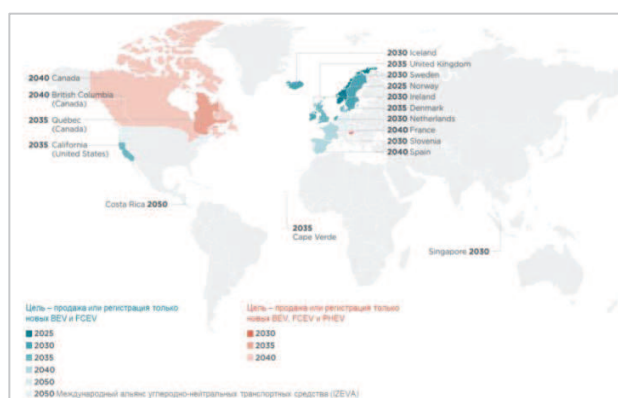


Рис. 2. Страны, в которых официально установлены цели по прекращению продаж и регистрации новых легковых автомобилей с ДВС к определенному году (по состоянию на июнь 2021 г.)

Fig. 2. Countries that have official targets to phase out sales and registrations of new ICE passenger cars by a certain year (as of June 2021)

С 2026 года в странах ЕС планируется реализовать механизм трансграничного углеродного регулирования, предусматривающий выпуск сертификатов на импортируемые товары, стоимость которых зависит от углеродоемкости их производства, а также запретить продажу новых автомобилей на ДВС с 2035 г. [5]. На стимулирование использования экологически чистых транспортных средств выделено 20 млрд евро.

Продолжая речь о прогнозах развития рынка, заявленных в государственных стратегиях и дорожных картах, необходимо отметить, что следует учитывать риск их не реализации в связи со значительной степенью неопределенности мирового и внутреннего рынков на фоне сложившейся в начале 2022 года геополитической и экономической ситуации. Тем не менее, учитывая объем инвестиций мер и ресурсов, направленных на реализацию утвержденных мероприятий и стимулирующих развитие углеродно-нейтрального транспорта, можно говорить о сохранении тренда на декарбонизацию отраслей экономики.

Европейский рынок

Развитие рынка водородных ТС в Европе обусловлено стратегией декарбонизации и переходу к безуглеродной экономике, согласно которой к 2030 г. планируется снизить уровень углеродных выбросов до 55% по сравнению с уровнем 1990 г., а к 2050 г. – достичь углеродной нейтральности [6] (рис. 3).

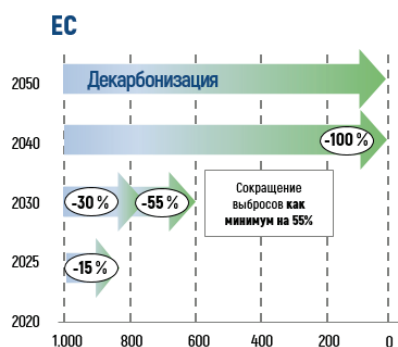


Рис. 3. Цели по сокращению уровня выбросов парниковых газов в ЕС согласно стратегии *Fit for 55*.

Fig. 3. EU's targets of reducing greenhouse gas emissions according to the *Fit for 55* package.

По состоянию на 2021 год парк транспортных средств на водородном топливе в странах Европы насчитывает более 3900 единиц, 90% из которых составляют легковые автомобили (3556 шт.) [7, с. 6]. В объеме мирового рынка европейский рынок занимает долю 7,7 % – третий по величине после азиатского рынка (67,4%) и рынка Северной Америки (24,5%).

В период 2012–2020 гг. в Европе было введено в эксплуатацию более 200 автобусов на топливных элементах (ТЭ). Динамика развития парка водоробусов представлена на рис. 4. Большинство автобусов на ТЭ, которые в настоящее время эксплуатируются в Европе, закуплено в рамках проектов, софинансированных правительствами европейских стран, в том числе в рамках проектов *JIVE* (*Joint Initiative for Hydrogen Vehicles across Europe project*) и *JIVE 2*, реализуемых при поддержке правительства ЕС. Примечательно, что первый водоробус в 2010 г. стоил 1,8 млн евро. Консорциумом H2Bus установлена цель сократить стоимость водоробуса до 375 тыс. евро [8].

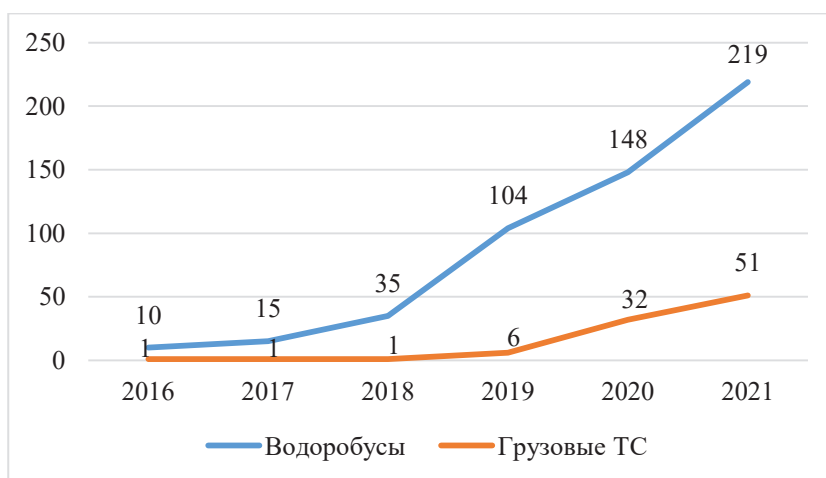


Рис. 4. Динамика развития парка водоробусов в странах Европы

Fig. 4. Development of the number of fuel cell buses in European countries

*(Источник: <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer>)

Международное энергетическое агентство (IEA) оценивает объем европейского рынка водоробусов в 782 ед. в 2025 году и в 2 357 ед. в 2030 г. в случае пессимистичного сценария развития рынка. Оптимистичный сценарий предусматривает 1 334 ед. в 2025 году и 4 341 ед. в 2030 году (рис. 5) [9].

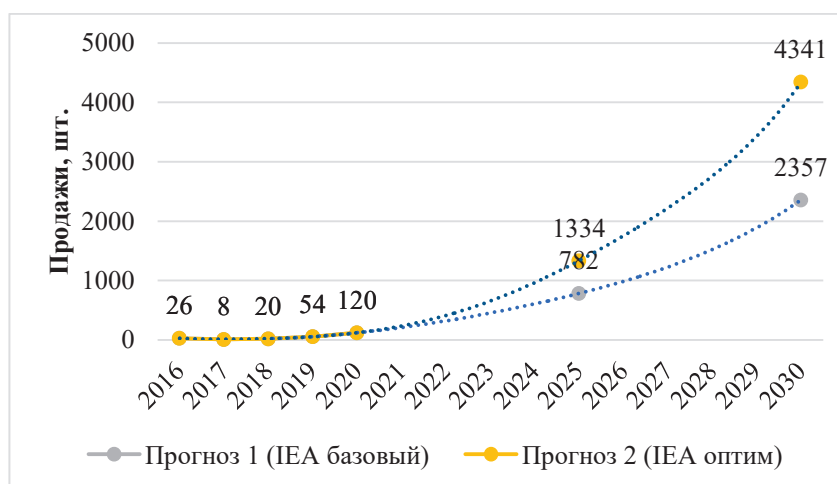


Рис. 5. Динамика и прогноз продаж водоробусов в странах Европы

Fig. 5. Dynamics and forecast of fuel cell bus sales in European countries

В 2019 г. была опубликована Дорожная карта развития водородных технологий [10] Совместной инициативы по развитию использования топливных элементов и водорода (FCH JU), в которой обозначен следующий прогноз по ТС на водородном топливе (см. табл. 1):

Табл. 1

Прогнозируемое количество ТС на ТЭ в Европе		
Тип ТС	2030 год	2050 год
Пассажирские автомобили	3,7 млн	45 млн
Легкие коммерческие автомобили	500 тыс.	6,5 млн
Грузовые автомобили	45 тыс.	1,7 млн
Автобусы		250 тыс.

К 2050 г. ожидается увеличение доли продаж ТС на ТЭ в соответствующих сегментах рынка (см. табл. 2):

Табл. 2.

Прогнозируемая доля продаж ТС на ТЭ в соответствующих сегментах рынка в Европе		
Тип ТС	2030	2050
автобусы	6%	45%
грузовые ТС	1%	35%

62 компании – производители грузовиков, поставщики энергии, транспортных средств, логистические компании (*Daimler, Honda, Iveco, VDL, Hyundai, Michelin, Faurecia, Ballard, Air Liquide, Shell, Total* и др.) – создали объединение Hydrogen Europe и установили следующие цели: с 2030 г. ввести в эксплуатацию 1500 ВЗС и вывести на рынок Европы 100 000 грузовиков [11].

Рынок США

По состоянию на сентябрь 2021 года в стране эксплуатировалось 169 водоробусов [12, с. 5], что составляет 5 % от количества всех углеродно-нейтральных автобусов в США (рис. 6) [13]. По сравнению с 2020 г. рост количества автобусов на топливных элементах в стране составил 94%. По количеству автобусов с нулевым углеродным следом выделяется штат Калифорния: анализ планов закупок США позволяет отметить, что транспортными агентствами в Калифорнии в период 2020–2040 гг. планируется закупка 1800 водоробусов [14]. К 2040 г. планируется, что весь автобусный парк Калифорнии будет состоять из автобусов с нулевым уровнем углеродных выбросов.

В 2019 году цена закупки водоробуса в США составляла 1,27 млн долларов, что на 49% меньше, чем было в 2010 г. Ожидается, что цена снизится до 850 тыс. долл. в следующие 5 лет [15].

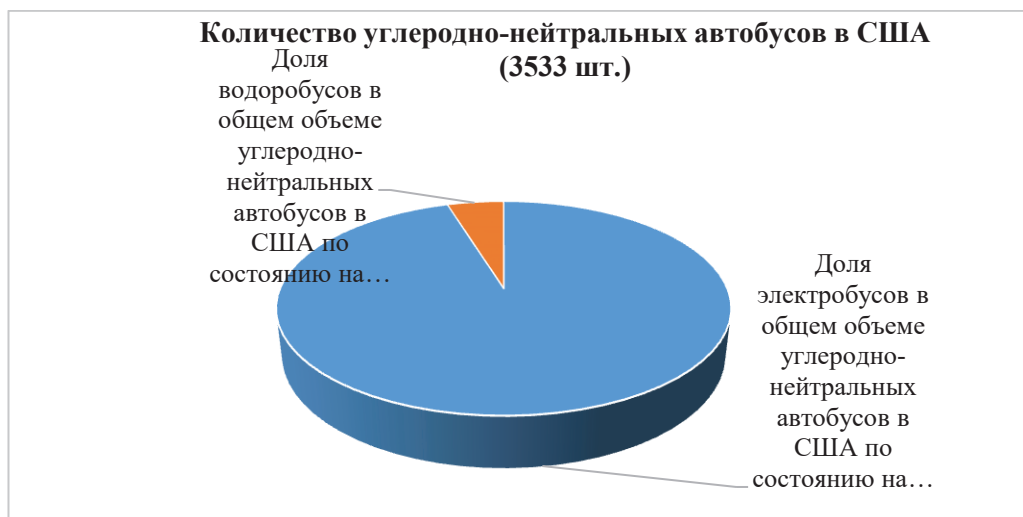


Рис. 6. Парк углеродно-нейтральных автобусов в США (сентябрь 2021 г.)

Fig. 6. US Carbon Neutral Bus Fleet (September 2021)

Страны Азии

Рынок ТС на водородном топливе динамично развивается в странах Азии. Согласно данным исследования, проводимого в рамках Программы IEA по сотрудничеству в области топливных элементов, доля этого рынка в мировом объеме в 2021 году составила 67,4 % [7, с. 6]. На рис. 7 представлены данные по количеству автобусов на водородном топливе в странах Азии.

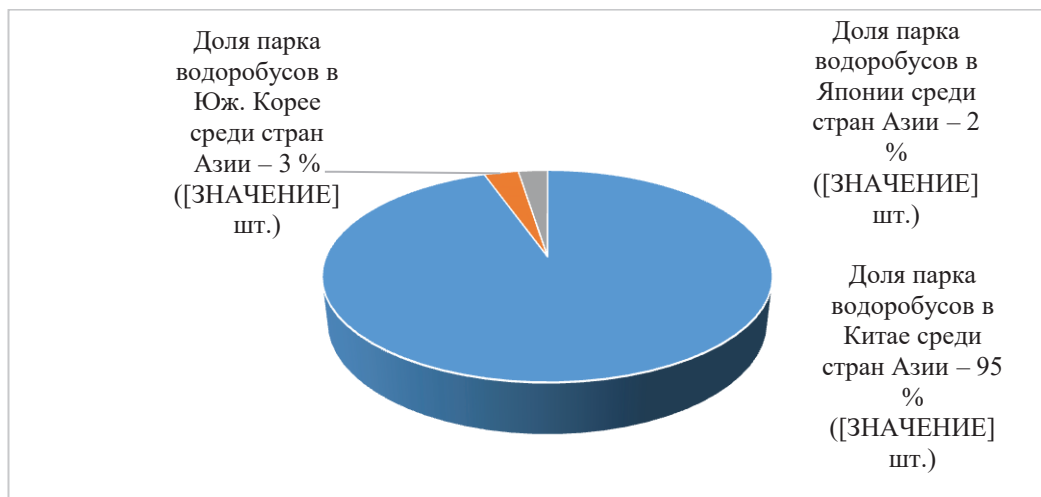


Рис. 7. Парк водоробусов в странах Азии в 2021 г.

Fig. 7. Fuel cell bus fleet in Asian countries in 2021

*Источник: (<https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer>)

Китай

В 2020 г. было продано 2191 водородное транспортное средство, доля автобусов составила около 45% [9]. К 2035 г. планируется 100%-ная электрификация общественного транспорта [16]. Объем рынка грузовых автомобилей на водороде в Китае по пессимистичному сценарию оценивается в 2030 году в 2 408 ед., по оптимистичному сценарию – в 74 473 ед. (см. рис. 8). Объем рынка автобусов на водородном топливе в Китае по пессимистичному сценарию оценивается в 2025 году в 5 279 ед., в 2030 году – в 13 605 ед., по оптимистичному сценарию в 2025 году – в 14 741 ед., в 2030 году – в 63 538 ед. (см. рис. 9).

По состоянию на 2020 г. в Китае существовало более 10 производителей водоробусов, более 4 производителей легковых коммерческих ТС и более 10 производителей ТЭ и системных интеграторов.

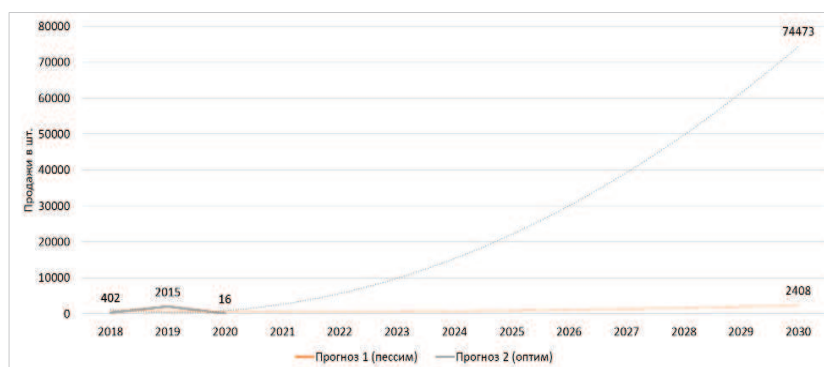


Рис. 8. Динамика и прогноз продаж водородных грузовых ТС в Китае, 2018–2030 гг.

Fig. 8. Dynamics and forecast of sales of fuel cell trucks in China, 2018–2030

*(Источник: <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer>)

Развитие водородного транспорта стимулировано государственной политикой поддержки водоробусов и малотоннажных ТС, что превращает Китай в лидера на мировом рынке водоробусов (доля >90%) и грузовиков (доля >90%). На этом фоне растет заинтересованность предприятий в развитии водородных технологий: крупнейший китайский производитель двигателей *Weichai Power* объявил о сотрудничестве с *Bosch* и *Ballard* в области разработки топливных элементов и планирует вложить в это направление более 5 млрд евро до 2030 г.

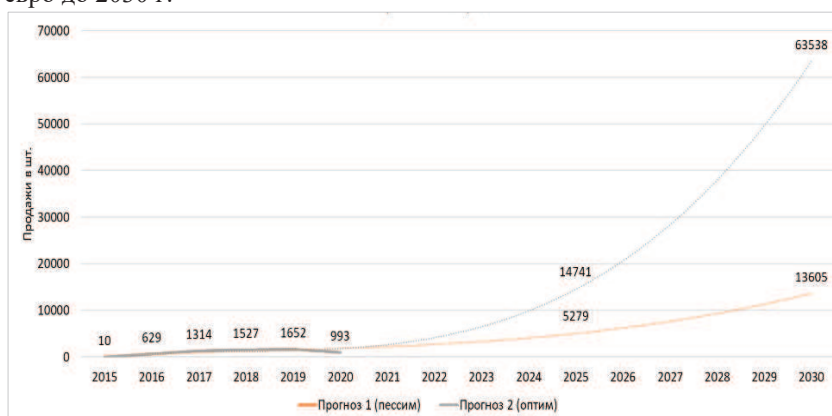


Рис. 9. Динамика и прогноз продаж водоробусов в Китае, 2015–2030 гг.

Fig. 9. Dynamics and forecast of fuel cell bus sales in China, 2015–2030

*(Источник: <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer>)

Япония

На конец 2021 г. в Японии насчитывалось более 6600 водородных легковых автомобилей и 110 водоробусов, 169 ВЗС [7].

В марте 2019 г. была выпущена Дорожная карта по водороду и топливным элементам [17], в которой обозначены цели, представленные ниже (см. табл. 3):

Табл. 3.

Цели по увеличению парка ТС на водородном топливе и количества заправочных станций

Тип ТС	2025	2030
Автомобили	200 тыс.	800 тыс.
Водоробус	нет данных	1200 ед.
ВЗС	320 шт.	1000 шт.

Водородные заправочные станции (ВЗС)

Важную роль в развитии рынка водородных ТС и технологий водородных ТЭ играет уровень развития водородной инфраструктуры.

По состоянию на конец 2021 г. в мире введено в эксплуатацию 729 водородных заправочных станций [7, с. 10]. По сравнению с 2020 годом рост их количества составил 35%. Заправка водородом доступна в 33 странах. По количеству ВЗС лидирует Япония, в

которой действуют 169 станций (к 2025 г. планируется увеличить до 320). В Китае на конец 2021 г. в эксплуатации находилось 147 ВЗС, в Корее – 114 ВЗС. На рисунке 10 представлено соотношение количества ВЗС по странам.

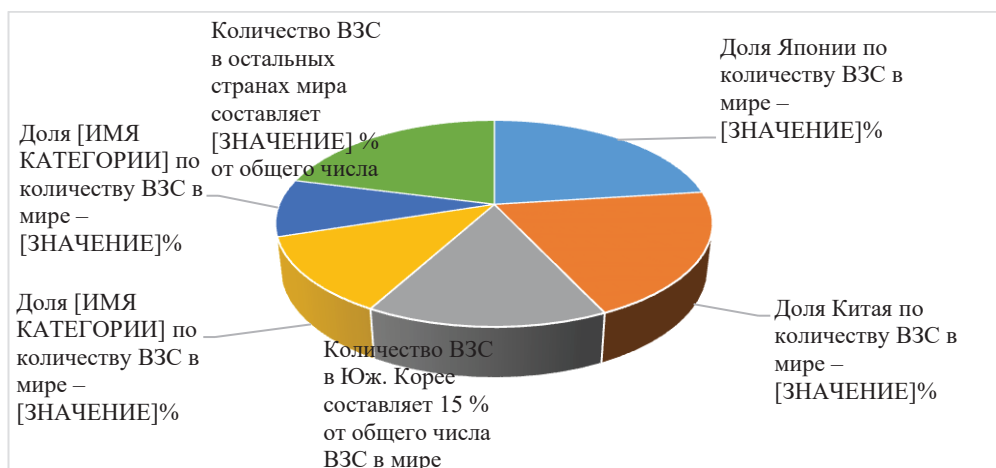


Рис. 10. Количество водородных заправочных станций в мире (2021 г.)

Fig. 10. Number of hydrogen refueling stations in the world (2021)

*(Источник: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021/trends-and-developments-in-electric-vehicle-markets#trends-and-developments-in-electric-heavy-duty-vehicles>)

В странах ЕС, по данным компании H2 Mobility Deutschland GmbH & Co [18], количество ВЗС, находящихся в эксплуатации, составляет 158. Среди европейских стран по этому показателю лидирует Германия с количеством 94 станции (см. рис. 11). К 2025 году в стране планируется увеличить их количество до 400.

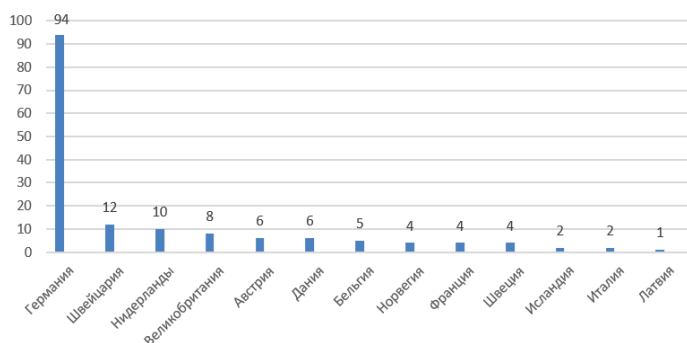


Рис. 11. Количество эксплуатируемых водородных заправочных станций в странах Европы по состоянию на август 2022 г.

Fig. 11. Number of operating hydrogen refueling stations in European countries as of August 2022

Южная Корея, Австрия и Дания – первые страны, где используется достаточное количество ВЗС для обеспечения водородных ТС, используемых в этих странах. В США аналогичная ситуация наблюдается только в штате Калифорнии.

Согласно прогнозу Hydrogen Council количество ВЗС в мире к концу текущего десятилетия превысит 10 000 [19, с. 2].

Ситуация в РФ и барьеры

В целях развития водородной энергетики и рынка транспортных средств на водородном топливе в РФ требуется решение задач, связанных с освоением технологий производства и добычи, хранения, транспортировки и использования водорода. Каждая из перечисленных сфер требует глубокого анализа, погружения и выработки комплексных решений и мер, а также мероприятий по их реализации.

Промышленное производство в Российской Федерации имеет ряд ограничений, препятствующих развитию водородной энергетики:

- малое число крупных промышленных корпораций, способных осуществить инженерные и проектные разработки, а также обеспечить их финансирование;

– в качественном отношении российские промышленные производства в среднем уступают по оснащению мировым лидерам (например, уровень роботизации российских производств ниже уровня мировых лидеров) и имеют меньший опыт в области инновационного развития, чем лидирующие зарубежные компании;

– Россия отстает от стран-лидеров по доле квалифицированного персонала на рынке труда и доле расходов на научные разработки в структуре ВВП. Связь между группами, специализирующимися на прикладных научных разработках, и компаниями, внедряющими их в производственные и коммерческие практики, недостаточна.

Ограничением является также недостаток успешного опыта управления высокорисковыми промышленными разработками на ранней стадии в рамках как частных, так и государственных практик управления. Это включает недостаточный опыт в области проведения пилотных и демонстрационных проектов, ограниченный опыт в области масштабирования разработок и управления рисками. Для российских инвестиционных проектов в области промышленного развития и энергетики характерны высокие ставки дисконтирования по денежным потокам, что ограничивает обеспечение требуемых сроков окупаемости.

Многие технологии, разрабатываемые в России, находятся на ранних стадиях технологической готовности и требуют создания научно-технологической инфраструктуры и интенсификации научных и прикладных разработок с обеспечением необходимого финансирования.

Недостаточная готовность отечественных технологий и дефицит квалифицированных кадров в области водородных технологий, а также высокие геополитические риски, связанные с санкционным давлением со стороны потенциальных потребителей российского водорода, могут стать серьезным ограничением для быстрого развития отрасли.

Для преодоления перечисленных ограничений необходима реализация мер государственной поддержки по следующим основным направлениям:

- организация нескольких водородных кластеров, где локальная концентрация разработчиков, производителей и потребителей поможет объединить инфраструктуру и преодолеть сетевой эффект, ограничивающий развитие водородной энергетики;
- поддержка научных исследований, имеющих высокую стоимость или отсроченный эффект, которые с трудом выполняются исключительно в рамках компаний;
- организация инжиниринговых центров, где прикладные исследования доводятся до стадии инженерных разработок, для компенсации недостаточных инженерных компетенций в области водородных технологий;
- создание отечественных промышленных производств оборудования для водородной энергетики;
- финансовые меры стимулирования для поддержки инвестиций в развитие российской водородной энергетики;
- разработка и внедрение нормативной базы и системы технического регулирования водородной энергетики;
- развитие внутреннего рынка потребления низкоуглеродного водорода;
- развитие кадрового потенциала.

Преодоление барьеров

На сегодняшний день Правительством РФ утверждены ряд документов по выработке решений и мероприятий по развитию водородной энергетики. Наименования указанных документов и их краткая суть изложены ниже:

– Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 г. (утверждена распоряжением от 09.06.2020 №1523-р) (*утверждена распоряжением от 09.06.2020 №1523-р*) - содержит общие положения, цели и приоритетные направления развития энергетики, способы реализации ключевых задач;

– План мероприятий «Развитие водородной энергетики в РФ до 2024 года» (утвержден распоряжением от 12.10.2020 №2634-р) - подготовлен с целью организации первоочередных работ по формированию экспортно ориентированной водородной энергетики в РФ;

– Концепция развития водородной энергетики в РФ (утверждена распоряжением от 05.08.2021 №2162-р) - документ определяет цели, задачи, стратегические инициативы и ключевые меры по развитию водородной энергетики на среднесрочный период до 2024 г., долгосрочный период до 2035 г., а также основные ориентиры до 2050 г. [25];

– Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в РФ на период до 2030 г. (утверждена распоряжением от

23.08.2021 №2990-р) - определяет развитие производства электрического автомобильного транспорта в РФ [26].

Если говорить о выполнении планов мероприятий по развитию водородной энергетики и мероприятий («дорожная карта») по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта на период до 2030 года, то отправной точкой является разработка и актуализация нормативных документов, ГОСТов и прочих стандартов, и документов, определяющих требования к электрическим автомобильным транспортным средствам, в том числе на водородных топливных элементах. Документальная база по применению водородного топлива далека от совершенства, многие стандарты являются переводом с зарубежных аналогов и требуют доработки.

Несмотря на существующие ограничения в РФ уже сейчас имеются локальные инициативы и повышенный интерес к развитию ТС на водородных топливных элементах. Так, например, на предприятии ПАО «КАМАЗ» сформирована концепция модельного ряда низкоуглеродных ТС. В 2021 году на международной выставке коммерческого транспорта COMTRANS-2021 были продемонстрированы опытные образцы электрифицированных ТС на водородных топливных элементах: городской автобус КАМАЗ 6290 и грузовой автотранспорт КАМАЗ 65208 с колесной формулой 6х2.

В ближайшие годы планируется расширение модельного ряда, а именно проектирование и изготовление второго опытного образца автобуса междугородного типа и разработка магистральных и коммерческих автомобилей на водородном топливе. ПАО «КАМАЗ» имеет сильную конструкторскую школу, что позволит в короткие сроки разработать новые виды низкоуглеродного транспорта, а электрифицированные автобусы КАМАЗ уже заняли свою нишу в структуре электротранспорта Москвы.

Согласно «дорожной карте» до 2024 г. необходимо решение задач по разработке и актуализации необходимой нормативной документации, по стимулированию спроса на отечественные электротранспортные средства и субсидированию строительства заводов по производству компонентов для электротранспортных средств, а также создания необходимой испытательной базы для проведения сертификационных и доводочных работ. Необходимо развивать отечественную высокотехнологическую базу путем формирования научно-технических кластеров, инжиниринговых центров, в том числе и за счет государственных финансовых мер стимулирования и поддержки.

В свою очередь Росстандарт, Ростехнадзор, Минпромторг России совместно с МЧС России в настоящий момент занимаются разработкой отечественных требований, стандартов и нормативной документации.

Выводы

Результаты проведенного исследования демонстрируют интерес к водородным технологиям со стороны правительств стран и производителей и позволяют прогнозировать его усиление на фоне мировых трендов, связанных с декарбонизацией экономики и климатической повесткой. Согласно прогнозам аналитических агентств, крупные населенные пункты будут постепенно избавляться от неэкологичного транспорта и переходить к массовому применению безуглеродных энергетических установок.

На сегодняшний день созданы необходимые программы и планы мероприятий, затрагивающие изменения в нормативной и технических сферах.

В РФ сегодня существует необходимый технологический задел для безуглеродного развития экономики. При должном внимании, выполнении разработанных мероприятий, стимулировании рынка и финансовой поддержке в области НИОКР и инфраструктуры переход к низкоуглеродной экономике возможен уже к 2035 году.

Для РФ важно не оставаться в стороне от глобальных тенденций и развития новой отрасли, чтобы не лишиться доли рынка возобновляемых источников энергии, а также иметь технологическое преимущество, обеспечивающее конкурентоспособность ее экономики в сравнении с другими странами.

Формирующийся новый рынок экологичных транспортных средств имеет высокий потенциал развития и является вызовом для отечественных автопроизводителей. Крупнейшие предприятия, в частности ПАО «КАМАЗ», уже инициировали работу по созданию электрифицированных автомобилей на водородных топливных элементах и представили первые опытные образцы. В случае преодоления обозначенных в статье ограничений и стабилизации мировой и внутренней политико-экономической ситуации совместные усилия производителей и научно-исследовательских организаций позволят обеспечить увеличение доли электрифицированного автомобильного транспорта на водородных топливных элементах в России начиная с 2030-х годов.

Литература

1. Johnson, J.A., Baldos, U., Hertel, T., Liu, J., Nootenboom, C., Polasky, S., and Roxburgh, T. 2020. Global Futures: modelling the global economic impacts of environmental change to support policy-making. Technical Report, January 2020. <https://www.wwf.org.uk/globalfutures>
2. Ritchie H., Roser M., Rosado P. CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. 2020. URL: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
3. Update on government targets for phasing out new sales of ice passenger cars, 2021. – Текст: электронный // Международный совет по чистому транспорту (ICCT) : сайт. – URL: <https://theicct.org/publication/update-on-government-targets-for-phasing-out-new-sales-of-internal-combustion-engine-passenger-cars/> (дата обращения: 18.11.2021).
4. Рогатных Е.Б., Сердунь М.А. Зеленая экономика и ее влияние на экономическое развитие в XXI веке. // Журнал - Мировая экономика, 2022 г., № 3. С. 24
5. Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism. – Текст: электронный // Портал законодательных и нормативных актов ЕС: официальный сайт. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:52021PC0564> (дата обращения: 29.11.2021).
6. 2030 Climate Target Plan. – Текст: электронный // Европейская комиссия: официальный сайт. – URL: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en (дата обращения: 01.12.2021).
7. Samsun, R.C.; Rex, M.; Antoni, L.; Stolten, D. Deployment of Fuel Cell Vehicles and Hydrogen Refueling Station Infrastructure: A Global Overview and Perspectives. Energies 2022, 15, 4975. <https://doi.org/10.3390/en15144975>
8. Пресс-релиз Консорциума H2Bus. – Текст: электронный // Консорциум H2Bus: сайт. – URL: <https://h2bus.eu/offering> (дата обращения: 25.11.2021).
9. Global EV Data Explorer // Международное энергетическое агентство (IEA): сайт. – URL: <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer> (дата обращения: 01.12.2021).
10. Hydrogen roadmap Europe: a sustainable pathway for the European energy transition. – Текст: электронный // Партнерское объединение Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking. – Люксембург: Publications Office of the European Union, 2019. – ISBN 978-92-9246-332-8. – URL: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf (дата обращения: 15.10.2021).
11. Coalition Statement on the deployment of fuel cell and hydrogen heavy-duty trucks in Europe. – Текст: электронный // Партнерское объединение Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking: сайт. – URL: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCH%20Docs/201215_Coalition%20Statement%20on%20deployment%20of%20FCH%20trucks%20in%20Europe.pdf (дата обращения: 15.10.2021).
12. Hamilton, H., Chard R., Lee B. The Advanced Technology Transit Bus Index: A North American ZEV Inventory Report. 2021. – Текст: электронный // CALSTART: сайт. – URL: <https://calstart.org/zeroing-in-on-zeb/> (дата обращения: 15.05.2022).
13. Hydrogen bus deployment in the US. – Текст: электронный // REGlobal: сайт. – URL: <https://reglobal.co/hydrogen-bus-deployment-in-the-us/> (дата обращения: 20.12.2021).
14. Leslie E., Post M. Fuel Cell Buses in U.S. Transit Fleets: Current Status 2020. – Текст: электронный // Голден (Колорадо): National Renewable Energy Laboratory, 2021. – URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/75583.pdf> (дата обращения: 23.12.2021).
15. Beshilas L. Fuel Cell Electric Buses in the USA // Национальная лаборатория по изучению возобновляемой энергии США (NREL): сайт. – URL: <https://www.nrel.gov/state-local-tribal/blog/posts/fuel-cell-electric-buses-in-the-usa.html#:~:text=An%20average%20conventional%20diesel%2040,and%20%24850%2C000%20in%20two%20years> (дата обращения: 10.12.2021).
16. China's New Energy Vehicle Industrial Development Plan for 2021 to 2035. – Текст: электронный // Международный совет по чистому транспорту: сайт. – URL: <https://theicct.org/publication/chinas-new-energy-vehicle-industrial-development-plan-for-2021-to-2035/#:~:text=Region%20China-China's%20New%20Energy%20Vehicle%20Industrial%20Development%20Plan%20for%202021%20to,and%20internationally%20competitive%20auto%20industry> (дата обращения: 15.12.2021).
17. Japan: Strategic Hydrogen Roadmap. – Текст: электронный // Министерство иностранных дел и торговли Новой Зеландии: официальный сайт. – URL:

<https://www.mfat.govt.nz/en/trade/mfat-market-reports/market-reports-asia/japan-strategic-hydrogen-roadmap-30-october-2020/> (дата обращения: 05.12.2021).

18. H2 Mobility Deutschland GmbH & Co: сайт. – URL: <https://h2.live/en/> (дата обращения: 26.08.2021).

19. Path to hydrogen competitiveness. A cost perspective // Hydrogen Council: сайт. – URL: https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness_Full-Study-1.pdf

20. Global EV Outlook 2021. – Текст: электронный // Международное энергетическое агентство (IEA) : сайт. – URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021> (дата обращения: 30.09.2021).

21. Strategies for joint procurement of fuel cell buses : A study for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU). – Текст: электронный // Партнерское объединение Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking: сайт. – URL: <https://www.fch.europa.eu/publications/study-strategies-joint-procurement-fuel-cell-buses> (дата обращения: 10.11.2021).

22. Ruf Y., Baum M., Zorn T. Fuel Cells Hydrogen Trucks. Heavy-Duty's High Performance Green solution: Study report. – Текст: электронный // Партнерское объединение Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking: сайт. – URL: <https://www.fch.europa.eu/publications/study-fuel-cells-hydrogen-trucks> (дата обращения: 10.11.2021).

23. Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации. – Текст: электронный // Правительство Российской Федерации: официальный сайт. – URL: <http://government.ru/news/42971/> (дата обращения: 20.08.2021).

24. Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года. – Текст: электронный // Правительство Российской Федерации: официальный сайт. – URL: <http://government.ru/news/43060/> (дата обращения: 01.09.2021).

25. 2021 Technology & Market Report. – Текст: электронный // Fuel Cells and Hydrogen Observatory: сайт. – URL: https://fchobservatory.eu/sites/default/files/reports/Chapter_1_Technology_and_Market_2021.pdf

26. Перспективы развития рынка электротранспорта и зарядной инфраструктуры в России: экспертно-аналитический доклад / Д. В. Санатов [и др.] ; под ред. А. И. Боровкова, В. Н. Княгинина. – Санкт-Петербург : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – 44 с.

27. Global Market for Hydrogen Fueling Stations, 2021. – Текст: электронный // Information Trends: сайт. – URL: <https://informationtrends.com/global-market-for-hydrogen-fueling-stations-2021/> (дата обращения: 09.11.2021).

28. Factsheet: Hydrogen and Fuel Cell Technology in China. – Текст: электронный // Сайт Национальной инновационной программы по развитию технологий топливных элементов и водородных технологий: официальный сайт. – URL: <https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/Factsheet-China-FC-EN.pdf> (дата обращения: 15.12.2021).

29. Якубсон К.И. Перспективы использования водорода в различных отраслях мировой экономики как одно из направлений ее декарбонизации (обзор) // Журнал прикладной химии, 2022, Т. 95, № 3. С. 275–311.

30. Джабиев Т.С., Авдеева Л.В., Савиных Т.А., Джабиева З.М. Фотокаталитическое разложение воды на полупроводниковых материалах // Журнал физической химии, 2022, Т. 96, № 1. С. 138–143.

31. Чесноков В.В. Технология получения водорода и углеродных нановолокон из природного газа Technology for producing hydrogen and carbon nanofibers from natural gas // Кинетика и катализ, 2022, Т. 63, № 1. С. 77–85.

32. Арутюнов В.С. Водородная энергетика: значение, источники, проблемы, перспективы (обзор) // Нефтехимия, 2022, Т. 62, № 4. С. 459–470.

33. Веселов Ф., Соляник А. Экономика производства водорода с учетом экспорта и российского рынка // Энергетическая политика. 2022. № 4 (170). С. 58–67.

34. Филиппов С.П., Ярославцев А.Б. Водородная энергетика: перспективы развития и материалы // Успехи химии, 2021. Т. 90. №. 6. С. 627–643.

35. Пономарев-Степной Н.Н. Атомно-водородная энергетика / Вестник РАН, 2021. Т. 91. № 5. С. 484–498.

36. Блинов Д.В., Борзенко В.И., Бездудный А.В., Кулешов Н.В. Перспективные металлгидридные технологии хранения и очистки водорода / Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 2. С. 149–160.

37. Акулинин Е.И., Голубятников О.О., Дворецкий С.И. Короткоцикловая безнагревная адсорбция для извлечения водорода, кислорода и азота из газовых смесей: математическое моделирование, оптимизация режимов функционирования и проектирования установок / Химия и химическая технология, 2021. Т. 64. № 11. С. 8–29.

38. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок / Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 2. С. 84–92.

39. Белобородов С.С., Ненашев А.В., Гашо Е.Г. Конкурентоспособность экономики при переходе на водородную энергетику. Водород в энергетике Европейского Союза // Промышленная энергетика, 2021. № 1. С. 44–55.

40. Ляшик Ю.А., Ермоленко Б.В. Водородная энергетика: проблемы и решения // Успехи в химии и химической технологии, 2021. Т. 35. № 12 (247). С. 111–113.

41. Коновалов Д.С. Исследования перспективы внедрения водородных технологий на транспортных средствах // ИЗВЕСТИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ АКАДЕМИИ АГРАРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ, 2021. № S55. С. 31–35.

42. Верховых А.В., Мирзоев А.А., Дюрягина Н.С.. Ab initio modeling of interactions of p, h, c, s with grain boundaries in α -iron // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2021. Т. 13, № 4. С. 57–68.

43. Белкин А.П. Топливные химические элементы в автономной генерации / Энергосбережение и водоподготовка, 2019. № 4 (120). С. 42–46.

44. Chigarev B.N. A brief bibliometric analysis of web of science publications on “carbon” topic for 2019-2020 / Actual Problems of Oil and Gas. 2021. № 2 (33). С. 76-100.

45. Терещук В.С. Электролизная установка для получения водорода и выделяемой теплоты // Вестник машиностроения, 2020. № 4. С. 71–75.

46. Тимофеев Д.И. Водородный переход в локальной энергетике: зарубежный опыт и российские перспективы // Энергетическая политика, 2019. № 4 (142). С. 86–95.

47. Зверева Э.Р., Ахметова И.Г., Назаров А.И., Нурисламова А.Р. Развитие «зеленой» водородной энергетики в европейской части Российской Федерации // Экономика промышленности. 2022. Т. 15(2). С. 167–176. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-2-167-176>.

Авторы публикации

Корнилов Семён Владимирович – зам. директора по разработке энергетических установок, департамента водородных технологий, НТЦ ПАО «КАМАЗ». E-mail: Kornilov.SV@kamaz.ru

Зверева Эльвира Рафиковна – д-р техн. наук, профессор кафедры ИЭ, ФГБОУ ВО «КГЭУ». E-mail: zvereva.er@list.ru

Федорова Анастасия Александровна, специалист I категории департамента водородных технологий, НТЦ ПАО «КАМАЗ» E-mail: AAFedorova@kamaz.ru

Гумеров Ирек Флорович – заместитель генерального директора ПАО «КАМАЗ» - директор по развитию, НТЦ ПАО «КАМАЗ». E-mail: gumerov@kamaz.ru

Фардеев Ленар Ильдарович – директор департамента водородных технологий, НТЦ ПАО «КАМАЗ» E-mail: Lenar.Fardeev@kamaz.ru

Ахметова Ирина Гареевна – д-р техн. наук, проректор по развитию и инновациям, зав.кафедрой ЭОП, ФГБОУ ВО «КГЭУ» E-mail: prorectornauka@gmail.com

References

1. Johnson JA, Baldos U, Hertel T, et al. 2020. Global Futures: modelling the global economic impacts of environmental change to support policy-making. *Technical Report*, January 2020. <https://www.wwf.org.uk/globalfutures>

2. Ritchie H, Roser M, Rosado P. *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*. 2020. URL: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

3. *Update on government targets for phasing out new sales of ice passenger cars*, 2021. Text: electronic. International Council for Clean Transport (ICCT): website. URL: <https://theicct.org/publication/update-on-government-targets-for-phasing-out-new-sales-of-internal-combustion-engine-passenger-cars/> (date of the application: 18.11.2021).

4. Horned E.B., Serdun M.A. Green economy and its impact on economic development in the XXI century. *Journal - World Economy*, 2022;3:24

5. *Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism*. Text: electronic. Portal of legislative and regulatory acts of the EU: official site. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:52021PC0564> (date of the application: 29.11.2021).

6. 2030 *Climate Target Plan*. Text: electronic. European Commission: official website. – URL: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en (date of the application: 12/01/2021).

7. Samsun RC; Rex M, Antoni L, et al. Deployment of Fuel Cell Vehicles and Hydrogen Refueling Station Infrastructure: A Global Overview and Perspectives. *Energies* 2022;14:4975. <https://doi.org/10.3390/en15144975>

8. *H2Bus Consortium press release*. Text: electronic. H2Bus Consortium: website. URL: <https://h2bus.eu/offering> (date of access: 11/25/2021).

9. Global EV. Data Explorer. *International Energy Agency (IEA)*: website. URL: <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer> (date of access: 12/01/2021).

10. *Hydrogen roadmap Europe: a sustainable pathway for the European energy transition*. Text: electronic. Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019. ISBN 978-92-9246-332-8. URL: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf (date of access: 10/15/2021).

11. *Coalition Statement on the deployment of fuel cell and hydrogen heavy-duty trucks in Europe*. Text: electronic. Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking: website. URL: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCH%20Docs/201215_Coalition%20Statement%20on%20deployment%20of%20FCH%20trucks%20in%20Europe.pdf (date of access: 15.10. 2021).

12. Hamilton H, Chard R, Lee B. *The Advanced Technology Transit Bus Index: A North American ZEV Inventory Report*. 2021. Text: electronic. CALSTART: website. URL: <https://calstart.org/zeroing-in-on-zeb/> (date of access: 05/15/2022).

13. *Hydrogen bus deployment in the US*. Text: electronic. REGlobal: website. URL: <https://reglobal.co/hydrogen-bus-deployment-in-the-us/> (date of access: 20.12.2021).

14. Leslie E, Post M. Fuel Cell Buses in U.S. *Transit Fleets: Current Status 2020*. Text: electronic. Golden (CO): National Renewable Energy Laboratory, 2021. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/75583.pdf> (date of access: 23.12.2021).

15. Beshilas L. *Fuel Cell Electric Buses in the USA*. *US National Renewable Energy Laboratory (NREL)*: website. URL: <https://www.nrel.gov/state-local-tribal/blog/posts/fuel-cell-electric-buses-in-the-usa.html#:~:text=An%20average%20conventional%20diesel%2040,and%20%24850%2C000%20in%20two%20years> (date of access: 10.12.2021).

16. *China's New Energy Vehicle Industrial Development Plan for 2021 to 2035*. Text: electronic. Clean Transport Council International: website. URL: <https://theicct.org/publication/chinas-new-energy-vehicle-industrial-development-plan-for-2021-to-2035/#:~:text=Region%20China-.China's%20New%20Energy%20Vehicle%20Industrial%20Development%20Plan%20for%202021%20to,and%20internationally%20competitive%20auto%20industry> (date of access: 15.12.2021).

17. *Japan: Strategic Hydrogen Roadmap*. Text: electronic. Ministry of Foreign Affairs and Trade of New Zealand: official website. URL: <https://www.mfat.govt.nz/en/trade/mfat-market-reports/market-reports-asia/japan-strategic-hydrogen-roadmap-30-october-2020/> (date of access: 05.12.2021).

18. *H2 Mobility Deutschland GmbH & Co*: official website. URL: <https://h2.live/en/> (date of access: 26.08.2021).

19. Path to hydrogen competitiveness. *A cost perspective*. Hydrogen Council: official website. URL: <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness-Full-Study-1.pdf>

20. Global EV Outlook 2021. Text: electronic. *International Energy Agency (IEA)*: website. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021> (date of access: 30.09.2021).

21. Strategies for joint procurement of fuel cell buses : A study for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU). Text: electronic. *Fuel Cell and Hydrogen Joint*

- Undertaking: website. – URL: <https://www.fch.europa.eu/publications/study-strategies-joint-procurement-fuel-cell-buses> (date of access: 10.11.2021).
22. Ruf Y, Baum M, Zorn T. Fuel Cells Hydrogen Trucks. *Heavy-Duty's High Performance Green solution: Study report*. Text: electronic. Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking: website. URL: <https://www.fch.europa.eu/publications/study-fuel-cells-hydrogen-trucks> (date of access: 10.11.2021).
25. 2021 *Technology & Market Report*. Text: electronic. Fuel Cells and Hydrogen Observatory: website. URL: https://fchobservatory.eu/sites/default/files/reports/Chapter_1_Technology_and_Market_2021.pdf
27. *Global Market for Hydrogen Fueling Stations*, 2021. Text: electronic. Information Trends: website. URL: <https://informationtrends.com/global-market-for-hydrogen-fueling-stations-2021/> (date of access: 09.11.2021).
28. *Factsheet: Hydrogen and Fuel Cell Technology in China*. Text: electronic. Website of the National Innovation Program for the Development of Fuel Cell and Hydrogen Technologies: official website. URL: <https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/Factsheet-China-FC-EN.pdf> (date of access: 15.12.2021).
29. Jakubson KI. Prospects of hydrogen use in various branches of the world economy as one of its decarbonization directions (review). *Journal of applied chemistry*. 2022;95(3):275-311.
30. Dzhabiyev TS, Avdeeva LV, Savinov TA, et al. Photocatalytic decomposition of water on semiconductor materials. *Journal of physical chemistry*, 2022;96(1):138-143.
31. Chesnokov VV. Technology for producing hydrogen and carbon nanofibers from natural gas. *Kinetics and catalysis*, 2022;63(1):77-85.
32. Arutyunov VS. Hydrogen Energy: Significance, Sources, Problems, Prospects (Review). *Petrochemistry*, 2022;62(4):459-470.
33. Veselov F., Solyanik A. Economics of hydrogen production taking into account exports and the Russian market. *Energy policy*. 2022;4 (170):58-67.
34. Filippov S.P., Yaroslavtsev A.B. Hydrogen Energy: Prospects for Development and Materials. *Successes of Chemistry*, 2021;90(6):627-643.
35. Ponomarev-Stepna N.N. Atomic and Hydrogen Energy. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2021;91(5):484-498.
36. Blinov DV, Borsenko VI, Bezdniy AV, et al. Promising metalohydride technologies of storage and purification of hydrogen. *Problems of energy*, 2021;23(2):149-160.
37. Akulinin EI, Golubatinikov OO, Butler SI. Short-Cycle Heatless Adsorption for extraction of hydrogen, oxygen and nitrogen from gas mixtures: mathematical modeling, optimization of operation modes and plant design. *Chemistry and chemical technology*, 2022;6 (11):8-29.
38. Mariin GE, Osipov BM, Akhmetshin AR. Research of hydrogen as a fuel for improving the energy and environmental performance of gas turbine plants. *Izvestia Higher Education Institutions. Problems of energy*. 2021;23(2):84-92.
39. Beloborodov SS, Neeshev AV, Gasho EG. *Competitiveness of the economy in the transition to hydrogen energy*. 2021;1:44–55.
40. Lyashik YA, Yermolenko BV. Hydrogen energy: problems and solutions. *Successes in chemistry and chemical technology*, 2021;35:12 (247):111-113.
41. Konovalov D.S. Research of prospects of introduction of hydrogen technologies on vehicles. *IZVESTIA INTERNATIONAL ACADEMY OF AGRARIAN EDUCATION*, 2021. S55. P. 31-35.
42. Verkhov AV, Mirzoev AA, Duryagina NS. Ab initio modeling of interactions of p, h, c, s with grain boundaries in α -iron. *Bulletin of South Ural State University*. 2021;13(4):57-68.
43. Belkin AP. Fuel chemical elements in autonomous generation. *Energy saving and water treatment*, 2019;4 (120):42-46.
44. Chigarev BN. A brief bibliometric analysis of web of science publications on «carbon» topic for 2019-2020 /Actual Problems of Oil and Gas. 2021;2 (33):76-100.
45. Tereshchuk V.S. Electrolysis plant for hydrogen production and heat emitted. *Bulletin of Mechanical Engineering*, 2020;4:71-75.
46. Timofeev DI. Hydrogen transition in local energy: foreign experience and Russian prospects. *Energy policy*, 2019;4 (142):86-95.
47. Zvereva ER, Akhmetova IG, Nazarov AI, Nurislamova AR. Development of «green» hydrogen energy in the European part of the Russian Federation. *Economy of industry*. 2022;15(2):167-176. <https://doi.org/10.17073/2072-1633.2022-2-167-176>.

Authors of the publication

Semen V. Kornilov – Deputy Director for Development of Power Units, KAMAZ PTC. E-mail: Kornilov.SV@kamaz.ru

Elvira R. Zvereva – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of environmental engineering and labour safety, Kazan State Power Engineering University. E-mail: zvereva.er@list.ru

Anastasia A. Fedorova – 1st category specialist, Department of Hydrogen Technologies, KAMAZ PTC. E-mail: AAFedorova@kamaz.ru

Irek F. Gumerov – Deputy General Director of KAMAZ PTC – Development Director, KAMAZ PTC. E-mail: gumerov@kamaz.ru

Lenar I. Fardeev – Director of Department of Hydrogen Technologies, KAMAZ PTC. E-mail: Lenar.Fardeev@kamaz.ru

Irina G. Akhmetova – Doctor of Technical Sciences, Vice-Rector for Development and Innovation, Head of Department of Economics and Production Organization, Kazan State Power Engineering University. E-mail: prorectornauka@gmail.com

Получено 8.11.2022г.

Отредактировано 22.11.2022г.

Принято 29.11.2022г.