

ВОДА, ЕЕ СВОЙСТВА.  
ВОДОПОДГОТОВКА, ПРИМЕНЕНИЕ

WATER, ITS PROPERTIES.  
PREPARATION, APPLICATION

Статья поступила в редакцию 15.10.20. Ред. Рег. №11-05

The article has entered in publishing office 15.10.20 Ed. Reg. No. 11-05

УДК 631.43

## ПОЛУЧЕНИЕ ПРЕСНОЙ ВОДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИРОДНЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ ТОПЛИВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

*Щеклеин С.Е.<sup>1</sup>, Дубинин А.М.<sup>1</sup>, Нассир Т. Алван<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина  
д. 19, ул. Мира, г. Екатеринбург, 620002, Россия

<sup>2</sup>Kirkuk Technical College, Northern Technical University, 36001 Kirkuk, Iraq  
тел.: +7(343)375-95-08; e-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2020.10.009

Заключение совета рецензентов: 23.09.20

Заключение совета экспертов: 23.09.20

Принято к публикации: 29.09.20

В литосфере планеты находится большое количество водорода, связанного с другими химическими элементами. При извлечении их с целью промышленного использования и при взаимодействии с кислородом атмосферного воздуха эти соединения образуют воду. Характерным примером таких веществ являются углеводородные соединения, широко используемые в современной энергетике в качестве топлива.

Образующиеся при этом пары воды являются дополнительным источником пресной воды, извлечено из геологических формаций. Однако отсутствие технологий улавливания этих паров в настоящее время приводит к дополнительному увлажнению атмосферы, что способствует развитию на планете парникового эффекта.

В работе на основании анализа стехиометрических уравнений реакций окисления в воздухе энергетических топлив (бензин, дизельное топливо, газовое топливо, древесина) и искусственных, преобразованных из биомассы и каменного угля топлив (этанол, метанол и пр.), а также водорода, выполнено сравнение удельного потребления воздуха и эмиссии паров воды в продуктах сгорания.

Для предельной температуры процесса, определяемой достигнутыми свойствами конструкционных материалов современного двигателестроения (1400 °С) определены коэффициенты избытка воздуха для различных видов топлив, реальные объемы потребления воздуха, топлива, эмиссии паров воды.

Теоретически показано высокое потребление атмосферного воздуха при использовании водорода и газового топлива, наименьшее у традиционных моторных топлив (бензин, дизель).

Обоснована целесообразность полезного использования продуктов окисления органических топлив и водорода для получения пресной воды – разработка технологий эффективного извлечения паров воды из газовых продуктов сгорания (окисления) энергетических топлив может способствовать созданию дополнительно крупного источника пресной воды, соизмеримого с другими природными источниками и будет способствовать повышению энергетической и экологической эффективности объектов традиционной энергетике.

Представленная в работе методика анализа является универсальной и может быть использована при анализе любых существующих и вновь создаваемых топливных композиций.

**Ключевые слова:** стехиометрия, моторные топлива, бензин, дизель, метан, этанол, метанол, водород, древесина.



## OBTAINING FRESH WATER FROM NATURAL AND ARTIFICIAL FUELS IN THE ENERGY SECTOR

*Sergey E. Shcheklein<sup>1</sup>, Alexey M. Dubinin<sup>1</sup>, Naseer T. Alwan<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin  
19 Mira St., Yekaterinburg 620002, Russia

<sup>2</sup>Kirkuk Technical College, Northern Technical University, 36001 Kirkuk, Iraq  
tel.: +7(343)375-95-08; e-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2020.10.009

Referred: 23.09.20

Received in revised form: 23.09.20

Accepted: 29.09.20

In the lithosphere of the planet is a large amount of hydrogen associated with other chemical elements. When extracted for industrial use and when interacting with atmospheric oxygen, these compounds form water. A typical example of such substances is hydrocarbon compounds, widely used in modern energy as fuel. The resulting water vapors are an additional source of fresh water extracted from geological formations. However, the lack of technology to capture these fumes now leads to additional hydration of the atmosphere, which contributes to the development of the planet's greenhouse effect.

In the work on the basis of the analysis of combustion reactions, stoichiometric air energy fuels (petrol, diesel, gaseous fuels, wood) and artificial, converted from biomass and coal fuels (ethanol, methanol, butanol, and so on), and also hydrogen fuel. Compare the relative air consumption and water vapors emissions in combustion products.

The process determined by the properties of constructional materials of modern achievements of engine (1400° C) defines ratios of excess air for different types of fuels, the real consumption of the air, fuel and water vapor emissions.

Theoretically, the high consumption of atmospheric air using hydrogen and gas fuel is shown, the lowest in traditional motor fuels (gasoline, diesel).

The useful use of organic fuel and hydrogen oxidation products for fresh water is justified - the development of technologies to efficiently extract water vapor from gas combustion products (oxidation) of energy fuels can contribute to the creation of an additional large source of fresh water commensurate with other natural sources and will contribute to the energy and environmental efficiency of traditional energy facilities.

The information presented in the work of technique analysis is universal and can be used in the analysis of any existing or newly created fuel compositions.

**Keywords:** stoichiometry, motor fuels, gasoline, diesel, CNG, ethanol, methanol, hydrogen, wood.



*Щеклеин Сергей  
Евгеньевич  
Sergey E. Shcheklein*

**Сведения об авторе:** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.

**Образование:** Уральский политехнический институт (УГТУ-УПИ) (1972 г.).

**Область научных интересов:** термодинамика ядерных энергетических установок, проблемы атомной энергетики и теплофизики двухфазных потоков, продление ресурса и повышение надежности оборудования АЭС, солнечная энергетика, ветровая энергетика, биоэнергетика.

Научный руководитель ряда реализованных инновационных проектов в т.ч. «Энергоэффективный дом для села», «Системы солнечного энергоснабжения автономных потребителей специального назначения», «Солнечные системы охранной сигнализации» и др.

Член редколлегии журналов «Известия вузов. Ядерная энергетика», международного научного журнала «Альтернативная энер-

**Author information:** Doctor of technical science, professor, Urals Federal University, head of Atomic Stations and Renewable Energy Sources Department.

**Education:** Urals Polytechnic Institute (1972).

**Scientific interests area:** nuclear power units thermodynamics; questions of nuclear energy and thermophysics of the two-phase flows; NPP equipment lifetime enduring and reliability increasing; solar, wind and bioenergetics.

A scientific director of several realized innovation projects, including “The energoefficient house for the village”, “Special systems of individual consumer solar energy supply”, “The solar systems for the guarding alarm” etc.

A member of the editorial board of “Institute of Higher Education News. Nuclear Power”, International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology magazine, Odessa National Polytechnic University article collection, International Scientific Journal “Helio-technics”. A Honoured power engineering

гетика и экология», Труды Одесского национального политехнического университета, международного научного журнала «Гелиотехника». Заслуженный энергетик России, действительный член Международной энергетической академии. Индекс Хирша РИНЦ -14.

**Публикации:** более 450 научных трудов, в том числе 5 монографий, 80 изобретений.



Насир Тавфик Алван  
Naseer Tawfeeq Alwan

**Сведения об авторе:** аспирант уральского федерального университета, кафедра атомных станций и возобновляемых источников энергии, Россия;

**Место работы:** ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра «Атомные станции и возобновляемые источники энергии»

**Должность:** Инженер-исследователь

**Образование:** Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ по специальности «теплоэнергетика и теплотехника» (2014 г.).

**Награды и научные премии:** Почетная грамота министерство образования и науки республики Татарстан за большие успехи в учебе и высокие творческие достижения, (2014).

**Область научных интересов:** Возобновляемые источники энергии, Солнечное опреснение воды, тепломассоперенос.

**Публикации:** более 10, в том числе 5 в реферируемых журналах.

specialist of Russian Federation, a member of International Energy Academy. Hirsch Index INDEX -14.

**Publications:** more than 450 scientific works, including 5 monographs, 80 inventions.

**Information about the author:** PhD Candidate at Ural Federal University, Department of Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources, Russia.

**Place of work:** Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Department of Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources

**Position:** Researcher

**Education:** Kazan National Research Technical University. A. N. Tupolev - KAI in the specialty "Heat and Power Engineering" (2014).

**Awards and scientific awards:** Certificate of Honor from the Ministry of Education and Science of the Republic of Tatarstan for great academic success and high creative achievements, (2014).

**Research interests:** Renewable energy sources, Solar desalination, heat and mass transfer.

**Publications:** more than 10, including 5 in refereed journals.

**Сведения об авторе:** доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетики и Теплотехники» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.

**Место работы:** ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра «Теплоэнергетики и Теплотехники»

**Образование:** Ивановский энергетический институт (1965).

**Научное звание:** профессор.

**Ученая степень:** доктор технических наук.

**Награды и научные премии:** Награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» второй степени.

Почетная грамота министерства энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Свердловской области за многолетний добросовестный труд по подготовке кадров для энергетических предприятий страны.

**Область научных интересов:** исследования теплофизических и физико-химических процессов в теплоэнергетике и металлургической теплотехнике, разработка физических основ нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

**Публикации:** более 250 научных статей и докладов на конференциях, 2 монографии, 22 учебных, справочных и учебно-методических пособий, 10 изобретений.

**Information about the author:** Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Nuclear Stations and Renewable Energy Sources of the Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin.

**Place of work:** Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Department of Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources.

**Education:** Ivanov Energy Institute (1965).

**Scientific title:** Professor.

**Academic degree:** Doctor of Technical Sciences.

**Awards and scientific awards:** He was awarded the Medal of the Order of Merit to the Fatherland in the second degree. Certificate of Honor from the Ministry of Energy and Housing and Communal Services of the Sverdlovsk Region for many years of conscientious work in training personnel for the country's energy enterprises.

**Research interests:** Research of thermo-physical and physicochemical processes in heat power engineering and metallurgical heat engineering, development of physical foundations of non-traditional and renewable energy sources.

**Publications:** more than 250 scientific articles and reports at conferences, 2 monographs, 22 educational, reference and teaching manuals, 10 inventions.



Алексей Михайлович  
Дубинин  
Alexey Mihailovich  
Dubinin



## Введение

В последние десятилетия в мире все большее проявляются проблемы недостаточности пресной воды. Увеличение населения, охват благами цивилизации все большего количества людей, рост сельскохозяйственного и промышленного водопотребления требуют пресной воды более 7000 км<sup>3</sup>/год [1,2]. Усугубляют проблему бытовое и промышленное загрязнение водоемов. Особенно острая потребность в воде ощущается в странах Ближнего Востока, а в ближайщие десятилетия, ожидается и в ряде Европейских стран [3]. Традиционные методы получения чистой воды путем опреснения морской воды, получения воды путем извлечения ее паров из воздуха весьма энергоемки, либо имеют чрезвычайно низкую производительность [4]. Анализ потенциальных атмосферных, гидросферных и литосферных водных ресурсов нашей планеты выполнялся в ряде работ [5-10] и обобщен в детальном обзорном сообщении [11]. Однако, выводы авторов данных работ не указывают путей овладения этими потенциальными ресурсами и охватывают лишь собственно водные ресурсы в виде химического соединения –H<sub>2</sub>O. В тоже время известно, что в объеме планеты находится большое количество водорода, связанного с другими химическими элементами [12]. При извлечении их с целью промышленного использования и при взаимодействии с кислородом атмосферного воздуха эти соединения образуют воду. Характерным примером таких веществ являются углеводородные

соединения, широко используемые в современной энергетике в качестве топлива.

В данном исследовании рассматривается возможность использования химически связанного в органических топливах водорода для получения воды, как дополнительного продукта в современной энергетике.

Известно, что основной процесс производства электрической и тепловой энергии из органических топлив, основанный на использовании теплоты сжигания органического топлива (древесина, уголь, нефть и пр.), новых видов топлива (метанол, этанол, водород и пр.) [13-16], происходит в результате реакции окисления. Причем в качестве окислителя используется, как правило, кислород, содержащийся в атмосферном воздухе. Одним из продуктов процесса окисления топлива является вода. При современном уровне потребления в мире органического топлива, приближающемся к 20 млрд. т.у.т. в год [17], объем образующейся в энергетическом комплексе воды составляет сотни миллионов тонн.

Ниже представлен количественный анализ образования воды в продуктах горения ряда искусственных и природных топлив для стехиометрических условий, т.е. при коэффициенте избытка воздуха ( $\alpha = 1$ ), обеспечивающим полное окисление топлива и реальном режиме горения при температуре 1400°C (при  $\alpha > 1$ ), определяемой предельными возможностями материалов современной энергетики.



Список обозначений	
<i>Буквы греческого алфавита</i>	
$\alpha$	Коэффициент (расхода) избытка воздуха.
$\mu$	Молекулярная масса, кг/кмоль
$\beta$	Коэффициент Бунте.
<i>Буквы латинского алфавита</i>	
$V$	Выход воды, кг/кг топлива.
$b$	Удельный выход воды, кг/МДж.
$C$	Удельная теплоемкость кДж/К кг.
$Q$	Удельная теплота, кДж/кг, кДж/ м <sup>3</sup> .
$T$	Температура, К.
$t$	Температура, °С.
<i>Единицы измерения</i>	
км <sup>3</sup> /год	Километр кубический в год.
МВт	Мегаватт мощности.
кг	Килограмм массы.

кДж/(К кг)	Килоджоуль на Кельвин на килограмм.
кг/МДж	Килограмм воды на 1 мегаджоуль.
кг/ кг	Килограмм воды на 1 килограмм топлива.
т.у.е.	Тонна условного топлива.
<i>Индексы верхние</i>	
*	Модифицированный.
p	На рабочую массу
o	При стандартных условиях.
г	На горючую массу
<i>Индексы нижние</i>	
v	Воздух.
d	Продукты окисления.
г	Горючее.
л	Летучие.
н	Низшая.
т	Топливо.

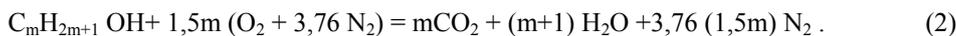
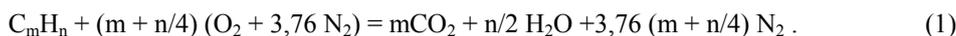
## 1. Методика исследования

Исследования проводились методом термодинамического анализа физико- химических процессов окисления топлив различного химического состава при стехиометрических и реальных условий сгорания. В последнем случае температура горения задавались на уровне 1400°C, что позволяло определить соответствующие коэффициенты избытка воздуха-  $\alpha$ .

## Окисление топлива при $\alpha = 1$

Известно, что полное окисление топлива в воздухе описывается стехиометрическими уравнениями, зависящими от химического состава топлива. Состав при  $\alpha = 1$  - это теоретическое соотношение топлива и воздуха, при котором в процессе окисления кислород воздуха и топливо будут израсходованы полностью без остатка [18].

В обобщенном виде [18,19] стехиометрические уравнения реакций для углеводородных топлив и спиртов выражается формулами (1), (2) .



Более сложная схема горения имеет место для древесного топлива. В древесине имеются летучие компоненты ( $CH_4$ ,  $CO$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ ), которые возникают при термическом разложении смолы (гидрохинона  $C_6H_4(OH)_2$ ) и окисляются в дальнейшем кислородом воздуха с образованием связанной  $H_2O$ . Поскольку отношение количества водорода к количеству углерода в древесине  $\square = H^P/C^P = 3,9/30 = 0,13$ , то выход лету-

чих на горючую массу дров  $V_{л}^r = 0,4$  кг/кг древесины [20]. Кроме того в древесине общая связанная и естественная влажность достигает 40%. Поэтому образование паров воды для сухой и влажной древесины будет существенно различным. В таблице 1 приведены уравнения образования воды для ряда искусственных и природных топлив.

Стехиометрические уравнения реакций образования воды для ряда топлив ( $\alpha = 1$ )

Steiometric equations of water formation reactions for a range of fuels ( $\alpha = 1$ )

Таблица 1.

Table 1.

Горючее	Формула	Стехиометрическое соотношение
Водород	$H_2$	$H_2 + 0.5(O_2 + 3.76 N_2) = H_2O + 1.88N_2$
Этанол	$C_2 H_5 OH$	$C_2 H_5 OH + 3(O_2 + 3.76 N_2) = 2CO_2 + 3H_2O + 11.28N_2$
Метанол	$C H_3 OH$	$C H_3 OH + 1.5(O_2 + 3.76 N_2) = CO_2 + 2H_2O + 5.64N_2$
Бензин	$C_7 H_{16}$	$C_7 H_{16} + 11(O_2 + 3.76 N_2) = 7CO_2 + 8H_2O + 41.36N_2$
Дизель	$C_8 H_{18}$	$C_8 H_{18} + 12.5(O_2 + 3.76 N_2) = 8CO_2 + 9H_2O + 47N_2$
Метан	$CH_4$	$CH_4 + 2(O_2 + 3.76N_2) = CO_2 + 2H_2O + 7.52N_2$
Сухая древесина	$C_6H_4(OH)_2$	$C_6H_4(OH)_2 + 6.5(O_2 + 3.76 N_2) = 6CO_2 + 3H_2O + 24,44N_2$

Окисление топлива по стехиометрическим уравнением реакции характеризуется определенной температурой процесса горения, описываемой уравнением [21]

$$Q_n^p = C_d^o(t_d^c) \cdot t_d^c ; \quad (3)$$

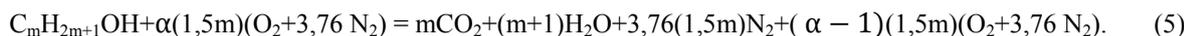
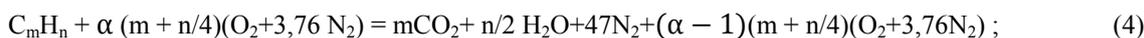
где  $C_d^o(t_d^c)$  - истинная изобарная удельная теплоемкость продуктов окисления при теоретической температуре окисления, кДж/(К·кг горючего),  $t_d^c$  - теоретическая температура окисления, °С.

Методика определения теоретической температуры окисления заключается [22] в определении, в адиабатических условиях, температуры при которой наступа-

ет равенство энтальпии продуктов сгорания  $C_d^o(t_d^c) \cdot t_d^c$  и нижней теплоты сгорания топлива  $Q_n^p$ .

**Реальное окисление топлива воздухом при  $\alpha > 1$ .**

Однако современное энергетическое оборудование конструируются для работы при более низком уровне температур горения, определяемой предельными возможностями материалов современной энергетики [23], что достигается подачей в рабочий объем двигателя топливных смесей, обогащенных воздухом. Отношение реального расхода окислителя (воздуха) к необходимому для полного окисления характеризуется коэффициентом избытка воздуха -  $\alpha$ . В этом случае формулы (1) и (2) приобретают следующий вид:



В процессе окисления смеси топлива с избыточным воздухом теплота сгорания топлива расходуется на нагрев продуктов горения (при  $\alpha=1$ ) и избыточного воздуха до температуры  $t_d$ .

Окисление при температуре  $t_d = 1400^\circ C$ , определяемой достигнутым уровнем температур в современном двигателестроении. Реакции окисления топлива в этом случае приобретают несколько иной вид (табл.2).



Топливо	Коэффициент избытка воздуха $\alpha$	Формула
Водород	1,7	$H_2 + 0.85(O_2 + 3.76 N_2) = H_2O + 3,196N_2 + 0,35O_2$
Этанол	1,55	$C_2 H_5 OH + 4,66(O_2 + 3.76 N_2) = 2CO_2 + 3H_2O + 17,52N_2 + 1,66O_2$
Метанол	1,5	$C H_3 OH + 2,25(O_2 + 3.76 N_2) = CO_2 + 2H_2O + 8,46N_2 + 0,75O_2$
Бензин	1,6	$C_7 H_{16} + 17,6(O_2 + 3.76 N_2) = 7CO_2 + 8H_2O + 66,176N_2 + 6,6O_2$
Дизель	1,4	$C_8 H_{18} + 17,5(O_2 + 3.76 N_2) = 8CO_2 + 9H_2O + 65,8N_2 + 5O_2$
Метан	1,43	$CH_4 + 2,86(O_2 + 3.76N_2) = CO_2 + 2H_2O + 10,7536N_2 + 0,86O_2$
Сухая древесина	1,79	$C_6H_4(OH)_2 + 11,635(O_2 + 3.76 N_2) = 6CO_2 + 3H_2O + 5,135 O_2 + 43,7476N_2$



Расходование теплоты на излучение во внешнюю среду, диссоциацию  $CO_2$  и  $H_2O$  и начальные температуры топлива и воздуха считаем незначительными.

В этом случае уравнение (3) приобретает следующий вид:

$$Q_H^p = [C_D^o(t_D) + (\alpha - 1)C_B^o(t_D)]t_D, \quad (6)$$

где  $C_D^o(t_D)$  - истинная изобарная удельная теплоемкость продуктов окисления при температуре  $t_D$ , кДж/К·кг топлива и  $\alpha=1$ .

$C_B^o(t_D)$  - истинная изобарная удельная теплоемкость воздуха при температуре  $t_D$ , кДж/К·кг топлива,

$Q_H^p$  - низшая теплота окисления топлива, кДж/кг топлива,

$\alpha$ - коэффициент избытка воздуха при окислении топлива,

$t_D$ - температура продуктов окисления, °C.

Из уравнения (6) находится значение коэффициента  $\alpha$  при исходной температуре топлива и воздуха  $t_B=0$ ,  $t_r=0$  и заданной температуре продуктов сгорания  $t_D$  в виде:

$$\alpha = 1 + [Q_H^p - C_D^o(t_D)]/[C_B^o(t_D)]. \quad (7)$$

Полученные уравнения реакций позволяют определить полный выход воды при сгорании единицы массы соответствующего топлива:

$$V_{H_2O} = m_T^{H_2O} (\mu_{H_2O} / \mu_T), \quad (8)$$

где  $m_T^{H_2O}$  - число молей воды в уравнениях соответствующих реакций (табл.1,табл.2);

$\mu_{H_2O}$ - молекулярная масса воды, кг/кмоль;  $\mu_T$ - молекулярная масса топлива, кг/кмоль.

С учетом различия теплоты сгорания топлива, удельный выход воды на единицу энергии определяется соотношением:

$$b_{H_2O} = m_T^{H_2O} (\mu_{H_2O} / \mu_T Q_H^p). \quad (9)$$

## 2. Результаты расчетного исследования

Результаты расчетов, температуры окисления, потребления воздуха и выхода в составе продуктов окисления паров воды при  $\alpha = 1$  приведены таблице 3.

Таблица 3.

Удельное потребление воздуха, топлива и выход воды при  $\alpha = 1$ 

Table 3.

Specific consumption of air, fuel and water output at the  $\alpha = 1$ 

Топливо	Теплота сгорания МДж/кг	Теоретическая температура горения, °С	Количество воз- духа, кг/кг топлива	Удельный расход топлива, кг/МДж	Удельный расход воздуха, кг/МДж	Удельное образование паров H <sub>2</sub> O, кг/МДж
Водород	121	2020	34,32	0,0083	0,284	0,074
Этанол	27,785	1880	8,95	0,0360	0,322	0,042
Метанол	21,131	1900	6,44	0,0473	0,305	0,053
Бензин	44	1850	15,1	0,0227	0,343	0,033
Дизель	41,8	1780	15	0,0239	0,359	0,034
Метан	49,09	1860	17,16	0,0204	0,350	0,046
Сухая древесина	28.4	2200	8,1	0,0352	0,285	0,0173

Из приведенной таблицы следует, что при  $\alpha = 1$  полное окисление топлива происходит при высоких температурах, при этом поглощается большое количество атмосферного воздуха.

Результаты расчетов коэффициента избытка и потребления топлива, выхода паров воды при  $\alpha > 1$  и температуре окисления 1400°С приведены в таблице 4.

Таблица 4.

Коэффициент избытка воздуха, потребление топлива и выход паров воды при  $\alpha > 1$  и температуре окисления 1400°С.

Table 4.

Excess air ratio, fuel consumption and water vapour output at  $\alpha > 1$  and oxidation temperature of 1400°С.

Топливо	Коэффициент избытка воздуха	Количество воздуха, кг/кг топлива	Количество паров воды, кг/кг топлива	Удельный расход топлива, кг/МДж	Удельный расход воздуха, кг/МДж	Удельное образование паров воды, кг/МДж
Водород	1,7	58,3	9	0,0083	0,482	0,074
Этанол	1,55	13,9	1,17	0,0360	0,500	0,042
Метанол	1,5	9,65	1,125	0,0473	0,457	0,053
Бензин	1,6	24,16	1,44	0,0227	0,549	0,033
Дизель	1,4	21	1,42	0,0239	0,502	0,034
Метан	1,43	24,53	2,25	0,0204	0,500	0,046
Сухая древеси- на	1,79	14,52	0,49	0,0352	0,51	0,0173



Для влажной древесины, находящейся при низких температурах ( $< 0^{\circ}\text{C}$ ), требуется затратить энергию на плавление льда, нагрев воды до температуры парообразования ( $100^{\circ}\text{C}$ ) и испарении воды. После выпаривания воды температура древесины начнет повышаться, начнется разложение смолы с образованием и горе-

нием летучих. При непрерывной подаче древесины в топку будут сначала образовываться пары воды от выпаривания влаги (сушки), а затем и от окисления летучих. Характеристики процесса для этапа сушки древесины приведены в таблице 5.

Таблица 5.

Характеристики процесса для этапа сушки древесины и выход паров воды при  $100^{\circ}\text{C}$ .

Table 5.

Process characteristics for the wood drying phase and the release of water vapors at  $100^{\circ}\text{C}$ .

Топливо	Коэффициент избытка воздуха	Количество воздуха, кг/кг топлива	Количество паров воды, кг/кг топлива	Удельный расход топлива, кг/МДж	Удельный расход воздуха, кг/МДж	Удельное образование паров воды, кг/МДж
Влажная древесина	1,2	4,43	0,204	0,0978	0,433	0,0218

Таким образом, при использовании в качестве топлива древесины естественной влажности, паров воды будет образовываться в сумме  $0,0173 + 0,0218 = 0,0391$  кг/МДж.

Анализ результатов расчетов показывает существенное различие в экологической нагрузке, создава-

емой при использовании различных видов топлив. На рисунках 1,2. показано абсолютное и удельное потребление воздуха, при  $\alpha = 1$  и  $\alpha > 1$  для ряда органических топлив.

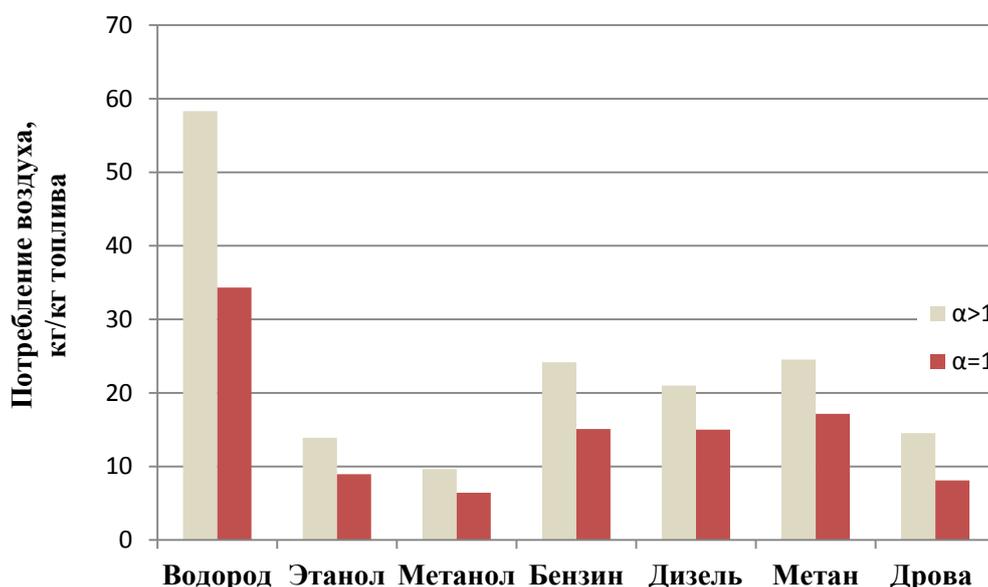


Рис.1 Потребление атмосферного воздуха.

Fig. 1 Air Consumption.

Из рисунка видно, что абсолютный расход атмосферного воздуха наиболее высок у водорода, бензина, метана и дизельного топлива. Горение при  $\alpha >$

1 приводит к повышению потребления воздуха у всех топлив.

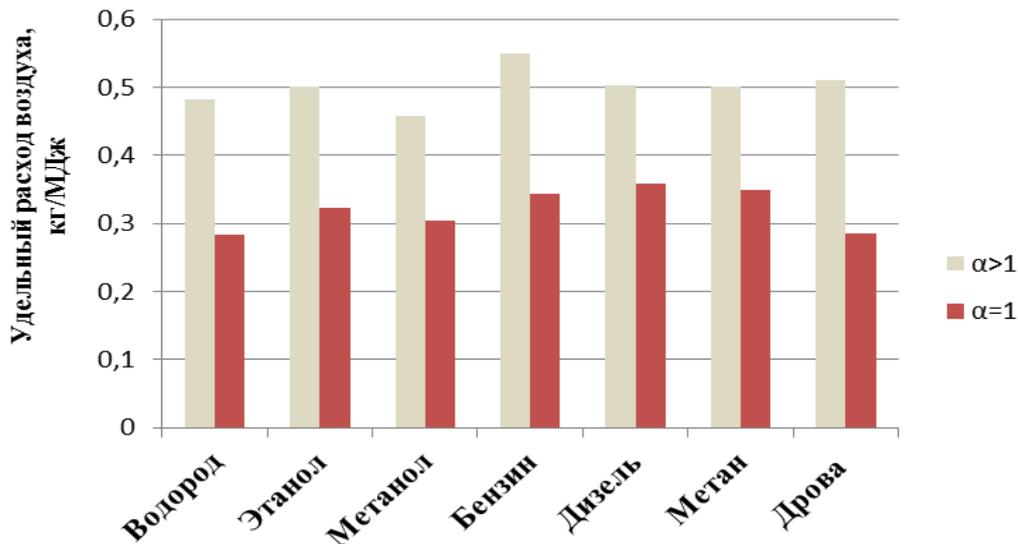


Рис.2. Удельное потребление атмосферного воздуха.  
Fig. 2. Specific consumption of atmospheric air.

Различие в теплоте сгорания (табл.3) приводит к выравниванию расходов воздуха, необходимых для получения равной энергии. Наименьшее удельное потребление воздуха у метанола, водорода и этанола. Наибольшее потребление при использовании бензина, дизельного топлива и метана.

В соответствии с химическими реакциями процессов окисления (табл.1, табл. 2.) в состав продуктов

окисления всех топлив входит вода. Генерация паров воды в продуктах сгорания топлив, как для стехиометрических ( $\alpha = 1$ ), так и для реальных режимов горения ( $\alpha > 1$ ) одинакова, т.к. определяется только содержанием водорода в соответствующем топливе. На рисунке 3. приведены результаты расчетов образования воды при полном сгорании топлив.

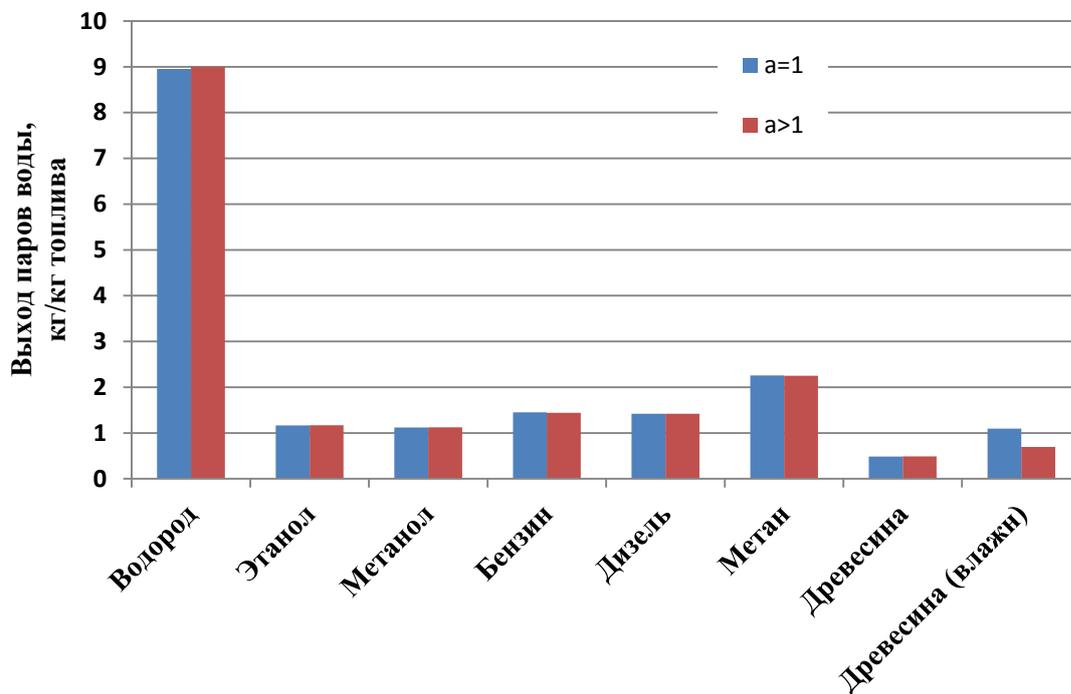


Рис. 3. Образование воды при полном сгорании топлив.  
Fig. 3. Water formation with a full combustion of fuels.

Очевидно, что наибольшее количество воды образуется при сгорании наиболее богатых водородом топливах (чистый водород и метан).

Однако различие в теплотворной способности топлив приводит к тому, что на единицу энергии вы-

деляемой при сгорании топлива количество образующейся воды существенно изменяется. На рисунке 4. приведены расчетные данные по образованию воды от сжигания топлив при равном энергетическом эффекте.

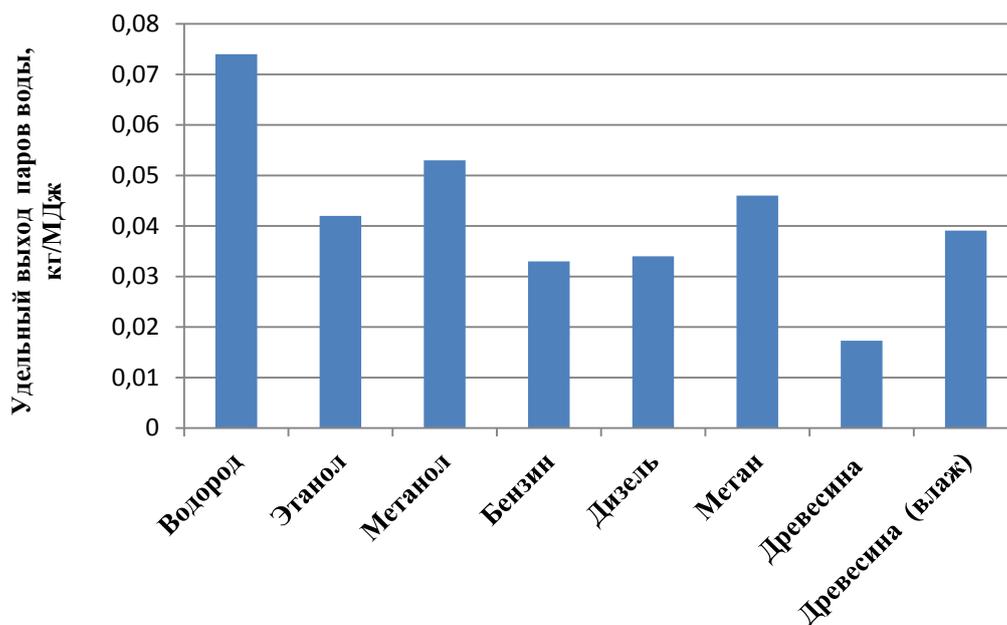


Рис.4. Удельное образование паров воды.  
Fig. 4. Specific formation of water vapors.

Максимальный удельный выход паров воды на единицу полученной энергии имеет водород, метанол и метан. Минимальный выход паров воды у сухих дров. В тоже время влажная древесина выделяет паров воды на уровне жидких топлив.

### 3. Обсуждение полученных результатов

Анализ полученных результатов для рассмотренных видов топлив позволяет обнаружить ряд общих закономерностей:

- наиболее крупными потребителями атмосферного воздуха являются топлива, не содержащие в своем составе кислорода – водород, бензин, дизельное топливо, метан;
- минимальное потребление воздуха у спиртовых топлив, содержащих в своем составе кислород;
- максимальное образование паров воды имеет место у топлив, содержащих наибольшее количество водорода (чистый водород, метанол, метан).

Для широко распространенного топлива – природного газа (метана) выход паров воды достаточно высок. Так, для современной тепловой электростанции на природном газе мощностью 1000 МВт, работающей в течение года 8000 часов, объем образования воды составит более 3 миллионов тонн.

Однако извлечение этой воды, находящейся в парообразном состоянии в составе продуктов сгорания является достаточно сложной инженерной задачей и требует дополнительных затрат энергии на системы конденсации, коалесценции и компенсации потерь температурного движущего напора в тяго-дутьевых трактах электростанций.

### Заключение

1. Реальные возможности современного энергетического машиностроения, ограниченные стойкостью конструкционных материалов, требуют повышенных расходов воздуха при сгорании топлива в системах энергетики.
2. В этих условиях наибольшая эмиссия паров воды имеет место при сгорании природного газа; наименьшая у традиционных моторных топлив (бензин, дизель).
3. Переход энергетики с метана ( $\alpha=1,43$ ) на водородное топливо ( $\alpha=1,7$ ) позволит увеличить образование пресной воды при окислении в 1,6 раза.
4. Разработка технологий эффективного извлечения паров воды из газовых продуктов сгорания (окисления) энергетических топлив может способствовать созданию дополнительного крупного источника пресной воды, соизмеримого с другими природными источниками и будет способствовать повышению энергетической и экологической эффективности объектов традиционной энергетики.

### Благодарности

Статья подготовлена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Контракт №02.А03.21.0006).

### Список литературы.

1. UNESCO, UN-Water, 2020: United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change.–Paris: UNESCO. –219 p.



2. Данилов-Данильян В.И. Дефицит пресной воды и мировой рынок/ Водные ресурсы. –2005. –Т.32.– № 5.–С.625-633.

3. Лихачева А.Б. Проблема пресной воды как структурный фактор мировой экономики/Экономический журнал Высшей школы экономики. –2013. –Т.17.– № 3. –С.497-523.

4. Meixi Liu, Dawei Wu A new fresh water generation system under high vacuum degrees intensified by LNG cryogenic energy/Energy Procedia.–2019.–Vol.158.– P.726-732.

5. Nadir Yilmaz, Sustainable alternative fuels in aviation/Energy.– 2017.–V.140.– Part 2.– P. 1378-1386.

6. Gerten D., Hoff H., Rockstrom J., Jagermeyr J., Kummu M., and Pastor A.V. Towards a revised planetary boundary for consumptive freshwater use: role of environmental flow requirements/Curr. Opin. Environ. Sustain. –2013.v.5–P.551–558.

7. Steffen W., Richardson K., Rockstrom J., Cornell S.E., Fetzer I., Bennett E.M., Biggs R., Carpenter S.R., de Vries W., de Wit C.A., et al. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet/Science.– 2015.–P.347, <https://doi.org/10.1126/science.1259855>.

8. Oki T., Kanae S. Global hydrological cycles and world water resources/Science.– 2006.–v.313.–P.1068–1072.

9. Gleeson T., Wang-Erlandsson L., Porkka M., Zipper S.C., Jaramillo F., Gerten D., et al. Illuminating water cycle modifications and Earth System resilience in the Anthropocene. Water Resour. Res.– 2020. <https://doi.org/10.1029/2019WR024957>.

10. Rockstrom J., Steffen W., Noone K., Persson A., Chapin F.S., Lambin E.F., Lenton T.M., Scheffer M., Folke C., Schellnhuber H.J., et al. A safe operating space for humanity/ Nature.– 2009.–v.461.–P.472–475.

11. T. Gleeson, L. Wang-Erlandsson, S.C. Zipper, M. Porkka, J. S. Famiglietti, et al. The Water Planetary Boundary: Interrogation and Revision/One Earth.– 2020.–v.2.–Is. 320. P. 223-234.

12. Молчанов В. И. Генерация водорода литогенезе/–Новосибирск: Наука.–1981.–142 с.

13. Y. Bicer, I. Dincer Life cycle environmental impact assessments and comparisons of alternative fuels for clean vehicles/Resources, Conservation and Recycling. 2018.–V. 132.- P.141-157.

14. Щеклеин С.Е., Дубинин А.М. Производство метанола на основе прямого газового генератора и ядерного реактора/Атомная энергия. –2018.–Т.124.– № 2.–С.76-79.

15. Романова Е.Д., Романов И.Д., Васильев В.А., Чернышов Е.А. Развитие технологии получения синтетических и альтернативных моторных топлив/Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология.–2011.–№ 6.–С.81-83.

16. Везируглу Т.Н., Сахин Ш. Энергетика 21-го века: водородная энергетика/Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология.–2014.–№ 2 (142).–С. 12-28.

17. Прогноз развития энергетика мира и России 2019 / под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина//ИНЭИ РАН–Московская школа управления Сколково – М.:–2019.–210 с.

18. Кульчицкий А.Р. Токсичность поршневых ДВС. Образование вредных веществ при горении топлив/Владимир:–Изд-во Владим. гос. ун-та.–2010.– 80 с.

19. Baehr H. V. Thermodynamik/–Berlin/Heidelberg:– Springer-Verlag.–1988.

20. Померанцев В.В. и др. Основы практической теории горения: Учебное пособие для вузов / Под ред. Померанцева В.В. //–Л.: Энергоатомиздат. – 1986.– 312 с.

21. Льюис Б., Эльбе Г. Горение, пламя и взрывы в газах/ Пер. с англ. под ред. К. И. Щелкина, А. А. Борисова. –М.: Мир.– 1968.–492 с.

22. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия./–М.: Высшая школа.– 2001.–529 с.

23. Химия окружающей среды. Пер. с англ. под ред. Цыганков А.П./–М.:Химия.– 1982.– 672 с.

## References

1. UNESCO, UN-Water, 2020: United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change.–Paris: UNESCO. –219 p.

2. Danilov-Danil'yan V.I. Defitsit presnoi vo-dy i mirovoi rynok/ Vodnye resursy. –2005. –Т.32.– № 5.– С.625-633.

3. Likhacheva A.B. Problema presnoi vody kak strukturnyi faktor mirovoi ehkonomi-ki/Ehkonomicheskii zhurnal Vysshei shkoly ehkonomiki. –2013. –Т.17.– № 3. –С.497-523.

4. Meixi Liu, Dawei Wu A new fresh water generation system under high vacuum degrees intensified by LNG cryogenic energy/Energy Procedia.–2019.–Vol.158.– P.726-732.

5. Nadir Yilmaz, Sustainable alternative fuels in aviation/Energy. – 2017.–V.140.– Part 2.– P. 1378-1386.

6. Gerten D., Hoff H., Rockstrom J., Jagermeyr J., Kummu M., and Pastor A.V. Towards a revised planetary boundary for consumptive freshwater use: role of environmental flow requirements/Curr. Opin. Environ. Sustain. –2013.v.5–P.551–558.

7. Steffen W., Richardson K., Rockstrom J., Cornell S.E., Fetzer I., Bennett E.M., Biggs R., Carpenter S.R., de Vries W., de Wit C.A., et al. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet/Science.– 2015.–P.347, <https://doi.org/10.1126/science.1259855>.

8. Oki T., Kanae S. Global hydrological cycles and world water resources/Science.– 2006.–v.313.–P.1068–1072.

9. Gleeson T., Wang-Erlandsson L., Porkka M., Zipper S.C., Jaramillo F., Gerten D., et al. Illuminating water cycle modifications and Earth System resilience in the Anthropocene. Water Resour. Res. – 2020. <https://doi.org/10.1029/2019WR024957>.

10. Rockstrom J., Steffen W., Noone K., Persson A., Chapin F.S., Lambin E.F., Lenton T.M., Scheffer M., Folke C., Schellnhuber H.J., et al. A safe operating space for humanity/ Nature.– 2009.–v.461.–P.472–475.

11. T. Gleeson, L. Wang-Erlandsson, S.C. Zipper, M. Porkka, J. S. Famiglietti, et al. The Water Planetary Boundary: Interrogation and Revision/One Earth.– 2020.–v.2.–Is. 320. P. 223-234.



12. Molchanov V. I. Generatsiya vodoroda litogeneze/—Novosibirsk:Nauka.—1981.—142 s.
13. Y. Bicer, I. Dincer Life cycle environmental impact assessments and comparisons of alternative fuels for clean vehicles/Resources, Conservation and Recycling. 2018.—V. 132.—P.141-157.
14. Shcheklein S.E., Dubinin A.M. . Proizvodstvo metanola na osnove pryamotochnogo gazogeneratora i yadernogo reaktora/Atomnaya ehnergiya. —2018.—T.124.—№ 2.—S.76-79.
15. Romanova E.D., Romanov I.D., Vasil'ev V.A., Chernyshov E.A. Razvitie tekhnologii polucheniya sinteticheskikh i al'ternativnykh motornykh topliv/Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya.—2011.—№ 6.—S.81-83.
16. Veziroglu T.N., Sakhin SH. Ehnergetika 21-go veka: vodorodnaya ehnergetika/ Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya. — 2014.—№ 2 (142).—S. 12-28.
17. Prognoz razvitiya ehnergetiki mira i Rossii 2019 / pod red. A.A. Makarova, T.A. Mitrovoy, V.A. Kulagina;//INEHI RAN—Moskovskaya shkola upravleniya Skolkovo — M.:—2019.—210 s.
18. Kul'chitskii A.R. Toksichnost' porshnevnykh DVS. Obrazovanie vrednykh veshchestv pri gorenii topliv/Vladimir:—Izd-vo Vladim. gos. un-ta.—2010.— 80 s.
19. Baehr H. B. Thermodynamik/—Berlin /Heidelberg:— Springer-Verlag.—1988.
20. Pomerantsev V.V. i dr. Osnovy prakticheskoi teorii gorenija:Uchebnoe posobie dlya vuzov/Pod red. Pomerantseva V.V.//—L.:Ehnergoatomizdat.— 1986.— 312 s.
21. L'yuis B., Ehl'be G. Gorenje, plama i vzryvy v gazakh/ Per. s angl. pod red. K. I. Shchelkina, A. A. Borisova. —M.: Mir.— 1968.—492 s.
22. Stromberg A.G., Semchenko D.P. Fizicheskaya khimiya./—M.: Vysshaya shkola.— 2001.—529 s.
23. Khimiya okruzhayushchei sredy. Per. s angl. pod red. Tsygankov A.P./—M.:Khimiya.— 1982.— 672 s.

Транслитерация по BSI



## Росатом думает о создании на Сахалине водородного кластера



*«Росатом» может обеспечить чуть меньше половины потребностей Японии в водороде, создав его производство на Сахалине.*

Как заявила госкорпорация, она способна обеспечить 40% японского спроса на водород до 2030 года, если начнет производить этот газ на близком расположенном Сахалине. Сжиженный водород может доставляться потребителям в Японии по морю.

“В случае успеха ТЭО можно будет говорить о старте проекта организации глобальной цепочки поставок водорода, а в будущем — о формировании уникального низкоуглеродного водородного кластера», — отметил “Росатом”.

При этом госкорпорация признает, что заинтересована в технологическом сотрудничестве с японскими компаниями и их уникальных технологиях.

Два года назад “Росатом” подписал с агентством по природным ресурсам и энергетики Японии соглашение о сотрудничестве по совместной разработке технико-экономического обоснования пилотного проекта экспорта водорода из России в Японию. В пилотном экспортном проекте рассматривается возможность производства водорода для японского рынка методом электролиза.

ТЭО поставок, которое госкорпорация готовит с властями Японии и компаний Kawasaki, должно быть готово в этом году.

На Сахалине в рамках развития “водородного кластера” также планируется запустить первые в стране водородные поезда — предполагается, что уже в 2023 году. Будет запущено около семи таких поездов, заказчиком которых выступает РЖД. Построит поезда “Трансмашхолдинг”, а “Росатом” обеспечит топливом. Сахалин, один из нефтегазовых центров России, ранее объявил об амбициозной цели стать к 2025 году углеродно-нейтральным регионом.

[globalenergyprize.org](http://globalenergyprize.org)