

Анализ источников выработки перспективного углеводородного топлива

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-37-42>

Рассмотрены перспективные двигатели для систем различного назначения: авиация, наземный транспорт, стационарные энергосистемы. Проведен анализ углеводородных топлив для таких систем. Показано, что метанол обладает неоспоримыми достоинствами. Рассмотрены различные источники получения метанола, исходя из современных технологий его получения. Выявлено, что в современных экономических условиях наиболее целесообразна выработка метанола из угля. В то же время перспективной технологией для производства метанола является его выработка из водорода, полученного путем электролиза на базе гидроэнергетики.

Ключевые слова: углеводородное топливо, метанол, электролиз на базе гидроэнергетики, выбросы CO_2 и NO_x , генерация метанола, e-метанол.

Для цитирования: Афанасьев В.Я., Краев В.М., Тихонов А.И. Анализ источников выработки перспективного углеводородного топлива // Уголь. 2024. № 1. С. 37-42. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-1-37-42.

ВВЕДЕНИЕ

Современные экономические и политические внешние условия предъявляют новые требования к двигателям и другим энергоустановкам.

В некоторых европейских странах экологические проблемы используют как определенный инструмент экономической борьбы с внешним миром. Эта борьба приобрела статус государственной политики и получила одобрение на законодательном уровне.

Основная идея заключается в снижении выбросов CO_2 и NO_x и переходе к возобновляемым источникам энергии.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Согласно решению Евросоюза, новые автомобили должны достичь сокращения выбросов углекислого газа на 55% с 2030 по 2034 год по сравнению с 2021 г., а коммерческий транспорт должен сократить их на 50% [1]. Более того, с 2035 г. выброс CO_2 легковыми автомобилями и микроавтобусами, не только выпускаемыми, но и продаваемыми в Евросоюзе, должен быть равен нулю. То есть с 2035 г. вводится запрет в странах Европы на автомобили с двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

АФАНАСЬЕВ В.Я.

Доктор экон. наук, профессор,
заведующий кафедрой экономики
и управления в топливно-энергетическом комплексе
Государственного университета управления,
109542, г. Москва, Россия,
e-mail: vy_afanasyev@guu.ru

КРАЕВ В.М.

Доктор техн. наук, доцент,
профессор кафедры управления персоналом
Московского авиационного института,
125080, г. Москва, Россия,
e-mail: kraevvm@mail.ru

ТИХОНОВ А.И.

Канд. техн. наук, доцент,
заведующий кафедрой управления персоналом
Московского авиационного института,
125080, г. Москва, Россия,
e-mail: mai512hr@mail.ru

В современных условиях такое решение удивляет, поскольку ДВС предполагается заместить аккумуляторными электродвигателями или электродвигателями с водородными топливными ячейками (ТЯ). Оба эти решения нельзя назвать оптимальными, поскольку они предполагают как многократное преобразование энергии из природных источников так и высокую стоимость применения таких технологий. Многократное преобразование энергии из природных источников, связано с потерями энергии согласно второму закону термодинамики. Например, объем природного газа, израсходованного на получение электрической энергии для зарядки аккумуляторных батарей и привод электрических двигателей (ЭД) будет существенно выше, нежели сжигание этого же газа в ДВС.

Кроме того, применение аккумуляторных батарей большой емкости требует увеличения выработки компонентов для их производства в глобальном масштабе. Но не менее важным моментом является вес аккумуляторных батарей. Например, у всем известных автомобилей Tesla вес батареи приблизительно (в зависимости от модификации) равен 500 кг, что составляет около четверти снаряженной массы автомобиля [2]. Такой подход (соотношение массы топлива и полезной нагрузки) абсолютно неприемлем в городских условиях, когда режим движения автомобиля состоит из многочисленных циклов разгон-торможение. На процесс разгона тратится существенно большая часть энергии, чем на преодоление аэродинамического сопротивления при движении с постоянной скоростью, т.е. сама энергия с системой ее хранения должна иметь минимальную массу.

Более целесообразным выглядит применение топливных ячеек как системы преобразования химической энергии в электрическую, которые обладают существенно меньшей массой, чем аккумуляторные батареи. Существуют ТЯ, работающие на различных химических источниках. Наиболее популярны водородные ТЯ. Однако применение водорода в качестве топлива имеет ряд принципиальных недостатков. Например, низкий удельный вес водорода приводит к увеличению объема топливных баков [3], что является причиной снижения полезного объема транспортной системы и/или увеличения аэродинамического сопротивления [4]. Оба эти недостатка принципиальны для использования водорода в транспортных системах. Незначительное снижение объема водородных топливных баков возможно при повышении давления газа или хранении его в жидком состоянии. Однако повышение давления в топливном баке приведет к увеличению его массы, а хранение водорода в жидком состоянии (около -250°C) также требует специфической теплоизоляции топливного бака. Еще одним недостатком водорода является специфика его транспортировки, опять же ввиду его низкой плотности. Таким образом, применение водорода, несмотря на его экологичность и эффективность при окислении, связано с рядом проблем, причиной которых являются физические свойства водорода как химического элемента.

Среди положительных моментов современных тенденций стоит отметить необходимость применения ЭД

взамен ДВС. По сравнению с ДВС ЭД обладают рядом неоспоримых преимуществ, таких как низкая стоимость производства и ремонта, межремонтный ресурс, а также существенно меньшие затраты на техническое обслуживание.

Необходимо определиться с технологией хранения энергии и ее высокоэффективного преобразования в электрическую на борту транспортного средства или другой энергоустановки.

Впервые перспективы применения метанола в глобальных масштабах описал лауреат Нобелевской премии по химии Джорж Олах [5]. В этой работе обсуждается использование метанола в качестве реальной альтернативы сокращающимся ресурсам ископаемых топлив. Авторы отмечают сохраняющуюся потребность в углеводородах и продуктах их переработки. В этой работе также проведен анализ недостатков водородной экономики. В качестве альтернативы водородной энергетике авторы предлагают энергетику метанола, которая включает производство метанола из углекислого газа промышленных выбросов в удобный жидкий метанол для использования в качестве топлива и сырья.

Воодушевляет положительный опыт китайских ученых и инженеров, которые создали и испытали беспилотный летательный аппарат (БПЛА) на метанольных ТЯ [6]. БПЛА FY-36 массой около 15 кг провёл в воздухе 12 ч, что подтверждает целесообразность и эффективность технологии.

Стационарные электрогенераторы на базе метанольных ТЯ электрической мощностью до 15 кВт производит компания Blue World Technologies в Дании [7]. Примеров реализации технологии таких метанольных ТЯ довольно много.

По сравнению с водородом метанольные ТЯ хоть обладают пока чуть меньшим КПД (до 60%), чем их водородные аналоги, однако метанол как топливо можно считать идеальным [8].

Метанол в нормальных условиях – это жидкость, по своим физическим свойствам близкая к традиционным углеводородным топливам (плотность $0,7918\text{ г/см}^3$, динамическая вязкость $5,9 \times 10^{-4}\text{ Па}\cdot\text{с}$, температура плавления -97°C , температура кипения $64,7^{\circ}\text{C}$), что существенно упрощает ее хранение и транспортировку.

Стоимостный анализ, проведенный авторами [9], свидетельствует о целесообразности применения такой технологии – электроустановок на метанольных топливных ячейках.

Одной из актуальных задач современной транспортной энергетики является определение уже не столько оптимального вида топлива для ТЯ, сколько экономически оправданной технологии его производства в глобальном масштабе. Под глобальными масштабами мы понимаем годовые объемы для нужд России до 50 млн т и более. В настоящее время в РФ производится около 4 млн т метанола, и он служит в основном сырьем для других химико-технологических производств.

Как мы уже упомянули выше, задача сводится в определении максимально эффективной технологии производства метанола. Под эффективностью понимаем ком-

плексный параметр, который включает в себя не только финансовые затраты на его производство, но и минимальное негативное влияние на окружающую среду.

Существуют различные способы производства метанола. Проведем их сравнительный анализ по стоимости.

В настоящее время большая часть метанола вырабатывается по технологии паровой конверсии из природного газа (65%) и угля (35%). Сам технологический процесс является энергозатратным, т.к. проходит при высоких температуре и давлении.

Метанол является ключевым продуктом в химической промышленности. В основном он используется как сырье для других химических производств, таких как выработка формальдегида, уксусной кислоты, пластмасс и др. Ежегодно в мире производится около 100 млн т метанола, из которых почти весь метанол вырабатывается из ископаемого топлива (природного газа или угля). Выбросы за весь жизненный цикл при производстве и использовании метанола в настоящее время составляют около 0,3 гигатонн CO_2 в год (около 10% от общего объема выбросов). За последнее десятилетие производство метанола почти удвоилось, причем значительная доля этого роста приходится на Китай. При нынешних тенденциях производство может вырасти до 500 т в год к 2050 г., высвобождая 1,5 гигатонн CO_2 ежегодно, если получать его исключительно из ископаемого топлива [10]. Такие масштабы загрязнения окружающей среды не могут не вызывать опасения и требовать поиска более экологических технологий.

Наиболее привлекательным «зеленым» (возобновляемым) способом является каталитическая реакция диоксида углерода, взятого из атмосферы, с водородом, выработанным электролизом воды с помощью возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Ранее мы проводили анализ возможности применения гидроэнергетики как ВИЭ для производства водорода [11]. Полученный таким образом водород может быть использован для производства метанола. В таком случае производство метанола будет являться возобновляемым термохимическим процессом, основную роль которого играют солнечное воздействие на массы воды и их перемещение из крупных водоемов в горные регионы, выработка электроэнергии на гидроэлектростанциях и производство водорода и метанола. По сути, речь идет об имитации природного фотосинтеза.

Метанол, полученный по такой технологии – из углекислого газа и воды с использованием электричества, называется е-метанолом. Для этого обычно водород получают электролизом воды, который затем преобразуется с помощью углекислого газа в метанол. В настоящее время эффективность производства водорода электролизом воды из электричества составляет от 75 до 85% [12] с потенциалом увеличения до 93% до 2030 г. [13]. Таким образом, суммарная эффективность производства метанола из электричества и диоксида углерода составляет от 59 до 78%.

Для понимания оптимальной технологии производства метанола рассмотрим его стоимость в зависимости от источника углеводородного сырья.

Стоимость производства метанола на основе ископаемого топлива находится в диапазоне 100-250 дол. США за 1 т [14]. Возобновляемый метанол может быть произведен с использованием возобновляемой энергии и возобновляемого сырья двумя путями.

Биометанол производится из биомассы. Ключевое потенциальное устойчивое сырье из биомассы включает: лесные и сельскохозяйственные отходы и побочные продукты, биогаз со свалок, сточные воды, твердые бытовые отходы (ТБО) и черный щелок целлюлозно-бумажной промышленности. Зеленый е-метанол получают с использованием CO_2 , получаемого из возобновляемых источников и экологически чистого водорода, то есть водорода, производимого с помощью возобновляемой электроэнергии. Ежегодно производится менее 0,2 млн т возобновляемого метанола, в основном в виде биометанола. Метанол, полученный любым способом, химически идентичен метанолу, полученному из источников ископаемого топлива.

Интерес к возобновляемому метанолу обусловлен необходимостью смягчения последствий изменения климата путем существенного сокращения или исключения выбросов CO_2 , в частности, из-за растущего внимания к удержанию роста средней глобальной температуры не более чем на 1,5°C. Это подразумевает достижение чистых углеродно-нейтральных выбросов во всех секторах экономики к середине столетия. Метанол с низким уровнем выбросов мог бы играть большую роль в обезуглероживании определенных секторов, где возможности в настоящее время ограничены, особенно в качестве сырья в химической промышленности или в качестве топлива на автомобильном или морском транспорте.

Оценка стоимости производства метанола проведена в работе [15], где автор сравнивает различные технологии. По данным [15], в Европе средняя стоимость е-метанола 800-1100 евро за 1 т не может конкурировать с метанольной промышленностью на ископаемых источниках, таких как уголь, и текущей низкой ценой (300-400 евро за 1 т метанола). Обратим внимание на то, что в данной работе под е-метанолом автор понимает применение ВИЭ, таких как солнечная и ветроэнергетика.

По сравнению с фактической рыночной ценой метанола е-метанол стоит дороже, а его производство из водорода и углекислого газа как таковое не считается экономически целесообразным. Стоимость производства метанола из традиционного сырья, например угля или природного газа, варьируется в зависимости от географического расположения производства от 51 до 408 евро за 1 т [16]. Поэтому метанол, полученный из угля или природного газа, дешевле, чем любой процесс, основанный на ВИЭ.

В РФ стоимость метанола существенно ниже. Себестоимость производства одной тонны метанола из газа может составить 4670-6663 руб./1000 м³ без НДС [17].

Сравнение стоимости производства метанола из угля и природного газа проведено в [18]. По затратам производства для различных видов сырья наиболее благоприятное положение занимает процесс на основе природного газа. Метанол на основе каменного угля стоит

все-таки на 44% дороже, чем метанол из природного газа. Использование угля для производства метанола обосновано его региональной доступностью.

Как следует из работы [15], производство е-метанола с помощью ВИЭ на базе солнечной энергии и ветрогенерации экономически нецелесообразно. Однако существуют другие виды ВИЭ, которые не нашли широкого применения в Европе.

Ранее мы проводили сравнение выработки тепловой энергии в зависимости от природы ее источника [11]. Анализ показывает существенно низкую стоимость энергии, генерируемой на гидроэлектростанциях РФ. Поскольку сам технологический процесс производства метанола является энергозатратным, то стоимость энергии определяет себестоимость производимого метанола.

В настоящее время рынок е-метанола все еще находится в зачаточном состоянии, а цены относительно высоки по сравнению с традиционными ископаемыми видами топлива, такими как бензин и дизельное топливо. По состоянию на 2021 г. стоимость производства одного литра е-метанола колебалась от 1,50 до 2,00 дол. США [19], что существенно превышает рыночную стоимость метанола, полученного традиционным способом из угля или природного газа.

Учитывая низкую стоимость электроэнергии на ГЭС в РФ для процесса электролиза воды [11], можно предположить, что стоимость 1 литра метанола на базе ВИЭ-гидроэнергетики составит около 0,007-0,01 дол. США.

Как следует из табл. 2, ВИЭ (солнечная и ветроэнергетика), активно развиваемые в Европе и Северной Америке, не могут составить конкуренцию традиционным технологиям производства метанола из угля и природного газа.

Рисунок демонстрирует существенно низкие затраты на производство е-метанола по сравнению с другими технологиями.

Вторым важным фактором для перехода на е-метанол является его полная экологичность. С одной стороны, это принципиально важно, что перспективная техноло-

Таблица 1

Рыночная средняя стоимость метанола в разных регионах на 09.2023

The market average cost of methanol in different regions as of 09.2023

Регион	Цена за 1 т, евро
Европа	395
Северная Америка	516
Азиатско-Тихоокеанский регион	315
Китай	305

Источник: [16]

Таблица 2

Стоимость производства метанола в зависимости от источника сырья и энергии, руб./т

The cost of methanol production, depending on the source of raw materials and energy, rub./t

Источник сырья для производства метанола	Стоимость 1 т метанола, руб.
Уголь	7933
Природный газ	5666
ВИЭ (солнечная и ветроэнергетика)	15298
ВИЭ (гидроэнергетика)	226

гия будет поглощать углекислый газ из воздуха, с другой стороны, необходимо обеспечить постоянный приток CO₂. Сам технологический процесс будет поглощать из окружающей среды углекислый газ, необходимый для производства метанола.

Однако, и при производстве е-метанола есть определенные технологические препятствия. Например, таковым является крайне низкая концентрация диоксида углерода в атмосфере (0,67%) [20], который необходим для выработки метанола из водорода.

Полезное использование улавливаемого углекислого газа для получения ценных продуктов может снизить затраты на технологии, направленные на снижение выбросов и утилизацию CO₂. Подобные технологии могут



Стоимость производства метанола в зависимости от источника сырья и энергии, руб./т

The cost of methanol production, depending on the source of raw materials and energy, rub./t

рассматриваться как способ снижения затрат или увеличения прибыли компаний за счет сокращения выбросов или удаления CO₂ из атмосферы [21].

При низкой естественной концентрации CO₂ вблизи производства е-метанола, требуется обеспечить его наличие. Логичным будет формирование кластера производств около источника генерации ВИЭ на базе гидроэлектростанций: одна группа предприятий – с выделением CO₂, другая группа предприятий – производство е-метанола с поглощением CO₂.

ВЫВОДЫ

В научно-исследовательской работе проведен анализ перспективных источников энергии и углеводородного топлива для воздушных и наземных транспортных систем и стационарных энергоустановок. Отмечено, что современные технологии, основанные на выработке электроэнергии посредством топливных ячеек, представляют значительный интерес как эффективный источник энергии. Применение топливных ячеек для питания электродвигателя позволяет существенно снизить массу топливной системы. Показано, что метанол является наиболее эффективным видом топлива для массового применения. Проведен анализ стоимости выработки метанола на базе различных источников сырья/энергии. Показано преимущество генерации метанола с помощью ВИЭ – гидроэлектростанций – е-метанола. Выявлена особенность производства е-метанола, позволяющая утилизировать вредные выбросы углекислого газа от других технологических процессов.

Список литературы

- Scholz und Macron brachten Verbrenner-Kompromiss auf den Weg. Spiegel. 25.03.2023. Verbrenner-Aus: Bundesregierung und EU-Kommission haben sich geeinigt. DER SPIEGEL.
- 2022 Tesla Model 3 Long Range AWD. Specification. URL: [evspecifications.com](https://www.evspecifications.com) (дата обращения: 15.12.2023).
- Краев В.М. Перспективы водородной энергетики в России // Московский экономический журнал. 2021. № 10.
- Kraev V.M., Tikhonov A.I. Drone Propulsion System for Arctic Use // Russian Engineering Research. 2023. No 43(2). P. 211-214. DOI: 10.3103/S1068798X23030176.
- George A. Olah, Alain Goepfert, G.K. Surya Prakash. Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy. Wiley. 2006. 290 p.
- Стивен Чен. Китайские ученые создали метанольную батарею, которая удерживает дрон в воздухе в течение 12 часов. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3042818/chinese-scientists-create-game-changer-methanol-battery-keeps> (дата обращения: 15.12.2023).
- This is where we start, one generator at a time. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.blue.world/products/stationary-system/> (дата обращения: 15.12.2023).
- A Technological, Economical and Efficiency Review of Direct Methanol Fuel Cell. 2018 / International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies – iCoMET 2018At / A. Aftab, A.F. Yasir, N.-U. Muhammad et al. Sukkur IBA University. March 2018. DOI: 10.1109/ICOMET.2018.8346445.
- Cost Analysis of Direct Methanol Fuel Cell Stacks for Mass Production / F.S. Mauro, Z. Furio, B Orazio et al. // Energies. November 2016. No 9(12). DOI: 10.3390/en9121008.
- Innovation. renewable methanol. Irena. [Электронный ресурс]. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jan/IRENA_Innovation_Renewable_Methanol_2021.pdf (дата обращения: 15.12.2023).
- Kraev V.M., Tikhonov A.I. (2023). Prospects for Hydrogen Power in Europe // Russian Engineering Research. 2023, Vol. 43, No 5. P. 618–620. DOI: 10.3103/S1068798X23050374.
- Krayev V.M., Tikhonov A.I., Kuzmina-Merlino I. Perspectives for the Use of Hydrogen Energy in European Countries. Nature Environment and Pollution Technology. 2022. No 21(3). P. 1439–1444.
- Report. Metaanalyse: Die Rolle erneuerbarer Gase in der Energiewende/ Agentur für Erneuerbare Energien. [Электронный ресурс]. URL: https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/3991.Metaanalyse_Erneuerbare_Gase_Kurzfassung_mr18.pdf (дата обращения: 15.12.2023).
- Афанасьев В.Я., Краев В.М., Тихонов А.И. Перспективы углеводородной энергетики в России в условиях санкционного давления // Уголь. 2023. № 6. С. 43-47. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-6-43-47.
- Christoph Hank. Techno-economic and environmental assessment of Power-to-Liquid processes Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr.-Ing. vorgelegt dem Rat der Technischen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 2020. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/356616759_Techno-economic_and_environmental_assessment_of_Power-to-Liquid_processes (дата обращения: 15.12.2023).
- About Methanol. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.methanex.com/about-methanol/pricing/> (дата обращения: 15.12.2023).
- Войко Д.В., Берг А.Г. Оценка инвестиционной привлекательности реализации проекта по производству метанола в России // Вестник университета «Экономика и бизнес». 2020. № 6. С. 129-135.
- Мокриенко П.В. Комплексная оценка экономической эффективности переработки бурых углей Приморского края в метанол // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 10-1. С. 55-59.
- E-Methanol price. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.indexbox.io/search/e-methanol-price/> (дата обращения: 15.12.2023).
- Борисов М.Г. Роль и место метанола в энергетическом переходе // Восточная аналитика. 2022. № 13(4). С.113–125.
- Оценка себестоимости потенциальной технологии утилизации CO₂ с генерацией экологически чистых энергоносителей в сравнении с существующими технологиями утилизации / Ч.А. Гарифуллина, И.М. Индрупский, И.И. Ибрагимов и др. // Socar Proceedings Special Issue. 2022. No 2. P. 001-012.

Original Paper

UDC 662.6/8:662.66.04 © V.Ya. Afanasiev, V.M. Kraev, A.I. Tikhonov, 2024
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2024, № 1, pp. 37-42
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-37-42>

Title**ANALYSIS OF PROMISING HYDROCARBON FUEL PRODUCTION SOURCES****Authors**

Afanasiev V.Ya.¹, Kraev V.M.², Tikhonov A.I.²

¹ State University of Management, Moscow, 109542, Russian Federation

² Moscow Aviation Institute, Moscow, 125080, Russian Federation

Authors Information

Afanasiev V.Ya., Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Economics and Management in the Fuel and Energy Sector, e-mail: vy_afanasyev@guu.ru
Kraev V.M., Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor of the Human Resources Management Department, e-mail: kraevvm@mail.ru

Tikhonov A.I., PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Human Resources Management Department, e-mail: mai512hr@mail.ru

Abstract

The article discusses promising engines for systems of various purposes, e.g. aviation, ground transportation, stationary power systems. Hydrocarbon fuels are analyzed for such systems. It is shown that methanol has indisputable advantages. Various sources of methanol production are considered based on modern technologies of its production. It is revealed that methanol production from coal is the most reasonable option in modern economic conditions. At the same time, a promising technology of methanol production is its yield from hydrogen obtained by electrolysis using hydropower.

Keywords

Hydrocarbon fuels, Methanol, Hydropower-based electrolysis, CO₂ and NO_x emissions, Methanol generation, E-methanol.

References

- Scholz and Macron brachten Verbrenner-Kompromiss auf den Weg. Spiegel. 25.03.2023. Verbrenner-Aus: Bundesregierung und EU-Kommission haben sich geeinigt. DER SPIEGEL.
- 2022 Tesla Model 3 Long Range AWD. Specification. Available at: evspecifications.com (accessed 15.12.2023).
- Kraev V.M. Prospects for hydrogen energy in Russia. *Moskovskij ekonomicheskij zhurnal*, 2021, (10).
- Kraev V.M. & Tikhonov A.I. Drone Propulsion System for Arctic Use. *Russian Engineering Research*, 2023, 43(2), pp. 211-214. DOI: 10.3103/S1068798X23030176.
- George A. Olah, Alain Goeppert & G.K. Surya Prakash. *Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy*. Wiley, 2006. 290 p.
- Stephen Chen. Chinese scientists create 'game-changer' methanol battery that keeps drone in the air for 12 hours. [Electronic resource]. Available at: <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3042818/chinese-scientists-create-game-changer-methanol-battery-keeps> (accessed 15.12.2023).
- This is where we start, one generator at a time. [Electronic resource]. Available at: <https://www.blue.world/products/stationary-system/> (accessed 15.12.2023).
- Aftab A., Yasir A.F., Muhammad N.-U. & Sikander Kh. A Technological, Economical and Efficiency Review of Direct Methanol Fuel Cell. 2018 International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies – iCoMET 2018At: Sukkur IBA University. March 2018. DOI: 10.1109/ICOMET.2018.8346445.
- Mauro F.S., Furio Z., Orazio B. & Schuster M. Cost Analysis of Direct Methanol Fuel Cell Stacks for Mass Production. *Energies*, November 2016, 9(12). DOI: 10.3390/en9121008.
- Innovation. renewable methanol. Irena. ISBN 978-92-9260-320-5. [Electronic resource]. Available at: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jan/IRENA_Innovation_Renewable_Methanol_2021.pdf (accessed 15.12.2023).
- Kraev, V.M. & Tikhonov, A.I. (2023). Prospects for Hydrogen Power in Europe. *Russian Engineering Research*, 2023, Vol. 43, (5), pp. 618-620. DOI: 10.3103/S1068798X23050374.
- Krayev V.M., Tikhonov A.I. & Kuzmina-Merlino I. Perspectives for the Use of Hydrogen Energy in European Countries. *Nature Environment and Pollution Technology*, 2022, 21(3), pp. 1439–1444.
- Report. Metaanalyse: Die Rolle erneuerbarer Gase in der Energiewende/ Agentur für Erneuerbare Energien. [Electronic resource]. Available at: https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/3991.Metaanalyse_Erneuerbare_Gase_Kurzfassung_mrz18.pdf (accessed 15.12.2023).
- Afanasiev V.Ya., Kraev V.M. & Tikhonov A.I. Prospects for hydrocarbon energy in Russia under sanctions ressure. *Ugol'*, 2023, (6), pp. 43-47. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-6-43-47.
- Christoph Hank. Techno-economic and environmental assessment of Power-to-Liquid processes Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr.-Ing. vorgelegt dem Rat der Technischen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 2020. [Electronic resource]. Available at: https://www.researchgate.net/publication/356616759_Techno-economic_and_environmental_assessment_of_Power-to-Liquid_processes (accessed 15.12.2023).
- About Methanol. [Electronic resource]. Available at: <https://www.methanex.com/about-methanol/pricing/> (accessed 15.12.2023).
- Voyko D.V. & Berg A.G. Valuation of investment attractiveness of the project for the production methanol in Russia. *Vestnik universiteta Ekonomika i biznes*, 2020, (6), pp. 129-135. (In Russ.).
- Mokrienko P.V. Complex assessment of economic efficiency of processing of brown coals of Primorsky Krai in methanol. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamenta'lynyh issledovanij*, 2013, (10-1), pp. 55-59. (In Russ.).
- E-Methanol price. [Electronic resource]. Available at: <https://www.indexbox.io/search/e-methanol-price/> (accessed 15.12.2023).
- Borisov M.G. The role and place of methanol in energy transition. *Vostochnaya analitika*, 2022, (4), pp. 113-125. (In Russ.).
- Garifullina Ch.A., Indrupsky I.M., Ibragimov I.I. & Drozdov A.N. Cost estimation of a potential CO₂ utilization technology with generation of environmentally clean energy carriers as compared to existing utilization technologies. *Socar Proceedings Special Issue*, 2022, (2), pp. 001-012. (In Russ.).

For citation

Afanasiev V.Ya., Kraev V.M. & Tikhonov A.I. Analysis of promising hydrocarbon fuel production sources. *Ugol'*, 2024, (1), pp. 37-42. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-1-37-42.

Paper info

Received October 31, 2023

Reviewed November 13, 2023

Accepted December 7, 2023