

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2022.1.138-151>

УДК 620.92

## **Возобновляемые тепловые источники энергии как основа устойчивого развития глобальной энергетики будущего**

*Бессель В.В.*

*ООО «НьюТек Сервисез», Москва, Россия*

## **Renewable thermal energy sources as the basis for sustainable development of global energy sector of the future**

*V.V. Bessel*

*NewTech Services, Moscow, Russia*

**E-mail: [vbessel@nt-serv.com](mailto:vbessel@nt-serv.com)**

**Аннотация.** Развитие мировой экономики на существующем этапе технологического развития связано с растущим потреблением энергии. В работе проведен анализ изменения глобального потребления энергии в период с 1981 по 2019 гг., в результате которого показано, что потребление всех видов топлива и энергии устойчиво растет так как экономика наиболее развитых стран мира и глобальная экономика находятся в так называемой «индустриальной» фазе развития, что требует растущего потребления энергии для устойчивого развития. В результате анализа изменения потребления всех видов энергии показано, что, несмотря на то, что на сегодняшний момент в глобальной энергетике доминирует тепловая энергия (органическое топливо и атомная энергетика) (88,5% от мирового энергопотребления), в последние 40 лет сформировался устойчивый тренд опережающих темпов роста потребления энергии из возобновляемых источников (ВИЭ) (гидроэнергетика, солнечная и ветроэнергетика) по сравнению с потреблением тепловой энергии, что, прежде всего, является следствием существенных инвестиций в производство единицы энергии из ВИЭ.

Тем не менее, в связи с тем, что объемы производства энергии из традиционных ВИЭ (гидро, солнечная и ветроэнергетика) на сегодняшний день составляют только 11,5% от уровня мирового энергопотребления, удовлетворить постоянно растущие потребности человечества в энергии в будущем способны будут только тепловые возобновляемые источники энергии, прежде всего такие, как ядерная энергетика на МОКС-топливе и управляемый термоядерный синтез. В среднесрочной перспективе в системах энергообеспечения скорее всего будут доминировать «гибридные» технологии с применением традиционных источников (прежде всего, природного газа, как

наиболее эффективного, экологически чистого и распространенного вида органического топлива) и традиционной возобновляемой энергии.

**Ключевые слова:** *глобальное энергопотребление; динамика баланса энергопотребления; органическое топливо; природный газ; энергопереход; водородная энергетика; тепловая возобновляемая энергетика; гибридные технологии энергообеспечения*

**Для цитирования:** Бессель В.В. Возобновляемые тепловые источники энергии как основа устойчивого развития глобальной энергетике будущего//Нефтяная провинция.-2022.-№1(29).-С.138-151. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2022.1.138-151>

**Abstract.** Global economic growth at the current stage of technological progress is driven by increasing energy consumption. The paper considers the evolution of global energy consumption from 1981 to 2019. The analysis reveals a steady increase in the consumption of all types of fuel and energy sources attributed to the fact that the most developed countries' economies and the global economy are going through the so-called "industrial" stage of development, which requires increased energy consumption for sustainable development. It is demonstrated that over the past 40 years despite current prevalence of thermal energy in the global energy sector (particularly fossil fuels and nuclear power that make a total share of 88.5% in the global energy mix), consumption of renewable energy sources (hydropower, solar and wind energy) has grown at a blistering pace compared to thermal energy primarily due to substantial investments in renewable power generation.

However, given the fact that conventional renewables (hydropower, solar and wind energy) make up just 11.5% of global power generation, only thermal renewable energy sources, primarily MOX-fuel for nuclear power plants and controlled nuclear fusion, will be capable to meet the ever-growing energy demand in the future. In the mid-term perspective, "hybrid" technologies combining conventional energy sources (primarily natural gas, as the most efficient, environmentally friendly and widely available type of fossil fuel) and conventional renewable energy sources are likely to dominate energy supply sector.

**Key words:** *global energy consumption; energy consumption balance trends; fossil fuels; natural gas; energy transition; hydrogen economy; renewable thermal energy; hybrid energy generation technology*

**For citation:** V.V. Bessel *Vozobnovljaemye teplovyje istochniki jenerгии kak osnova ustojchivogo razvitija global'noj jenergetiki budushhego* [Renewable thermal energy sources as the basis for sustainable development of global energy sector of the future]. *Neftyanaya Provintsiya*, No. 1(29), 2022. pp. 138-151. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2022.1.138-151> (in Russian)

Анализ динамики роста энергопотребления за период с 1981 по 2020 годы показал, что рост глобального потребления энергии составил чуть более 100 %, или 2,5 % в год [1]. А если исключить 2020, так называемый «ковидный» год, связанный с огромным количеством ограничений,

приведшим к существенному, но не системному снижению энергопотребления, то в период с 1981 по 2019 годы рост глобального энергопотребления составил более 109 % за 39 лет, или 2,8 % в год [1]. В масштабах глобальной энергетики - это ежегодное увеличение энергопотребления более чем на 350 млн т н.э., что связано с постоянно растущим энергопотреблением на душу населения (с 1,51 т н.э. в 1980 году до 1,82 т н.э. в 2019 году) [2] и ростом численности населения Земли [3].

Анализ динамики энергопотребления по видам потребляемого с 1980 года топлива и энергии показывает устойчивый рост потребления всех видов топлива и энергии, но наиболее очевиден опережающий рост потребления энергии, вырабатываемой из энергии солнца и ветра – более чем в 48 раз в период с 1980 по 2019 годы [1], что является общемировым трендом развития глобальной энергетики [4]. Если в период с 1980 по 2019 год численность населения земли выросла в 1,73 раза [3], то энергопотребление за тот же период выросло почти в 2,1 раза [1], т.е. наблюдается опережающий рост энергопотребления над ростом численности населения планеты Земля примерно на 20% [4]. Это объясняется сменой технологических укладов в экономике большинства стран и ростом «энергетического» комфорта человека, и никаких значимых сигналов, свидетельствующих о том, что от этого тренда мы отойдем, нет. Таким образом, мы неизбежно столкнемся с проблемой опережающего роста энергопотребления, что и будет одним из главных вызовов перед Человечеством в 21 веке [4].

Анализ динамики структуры баланса энергопотребления за тот же период, показывает, что опережающим темпом снижается доля потребления нефти в общем балансе глобального энергопотребления (-12,9 %), что связано с тем, что нефть уходит из централизованной генерации тепла и электроэнергии и становится, главным образом, сырьем для получения нефтепродуктов для двигателей внутреннего сгорания и продуктов нефте-

химии. А наиболее быстрыми темпами (+5,9 %) растет доля потребления природного газа, так как природный газ, наибольшими запасами которого обладает Россия [1], имеет ряд преимуществ [4]:

- самый энергетически эффективный и экологически чистый вид органического топлива;
- добыча газа связана с наименьшими затратами на строительство скважин в связи с тем, что дебит газовой скважины в нефтяном эквиваленте кратно выше, чем дебит нефтяной скважины;
- даже при самых низких температурах, возможных в местах добычи газа, технологически правильно подготовленный к транспорту газ остается в газообразном состоянии (в отличие от жидкой в нормальных условиях нефти, которая при низких температурах становится вязкопластичной не текучей субстанцией), что позволяет практически без дополнительных затрат энергии на подогрев газа транспортировать его по системам магистрального транспорта газа;
- системы сжижения газа, используемые на севере России, требуют значительно меньше энергии, чем подобные системы, например, в Катаре или Техасе, что делает поставки СПГ из России значительно более экономически эффективными.

В балансе глобального производства энергии доля углеводородного сырья в 2019 году составила ~56,8%, органического топлива ~84,2%, тепловой энергии, включающей в себя органическое топливо и атомную энергетику ~88,5% и только ~11,5% составляет доля традиционно понимаемых ВИЭ, включающих в себя солнечную, ветровую и гидроэнергетику [1].

Таким образом, тепловая энергетика, основанная на сжигании органического топлива и энергии расщепления ядер тяжелых изотопов урана 235 и плутония 239, доминирует и еще очень долгое время будет доминировать в мировом балансе производства энергии [4].

Вопросы диверсификации энергоресурсов стали ключевыми в развитии национальных энергетических рынков, практически все крупные нефтегазовые компании участвуют в реализации проектов генерации электрической энергии на основе возобновляемых источников, активно наращивают мощности ВИЭ в структуре своих активов и стремятся достичь в своей деятельности углеродной нейтральности. Реализация проектов возобновляемой энергетики нефтегазовыми компаниями России позволяет решить два комплекса проблем [5]:

- Локальные проблемы:
  - энергообеспечение удаленных и автономных объектов НГК в регионах страны, где нет энергетической инфраструктуры, либо она там недостаточно развита;
  - повышение энергетической эффективности объектов НГК за счет максимального сбережения товарных углеводородов, используемых на технологические цели.
- Глобальные проблемы:
  - НГК России является важнейшей частью ТЭК страны, поэтому развитие проектов альтернативных источников энергии позволит компенсировать в системе энергообеспечения страны ожидаемое снижение добычи углеводородов в долгосрочной перспективе;
  - недавно вышедшая на первый план во всем мире проблема декарбонизации глобальной мировой энергетики.

Существующая энергетическая инфраструктура России традиционно развивалась на территориях, где проживает и работает большинство населения. Есть огромные по размеру территории с автономной энергетической инфраструктурой, которая, как правило, создавалась в регионах, где подключение к объектам централизованного энергоснабжения технически и экономически не эффективно. А большая часть территории страны на севере и северо-востоке страны не электрифицирована в силу того, что там

практически не велась хозяйственная деятельность. Именно туда направлен вектор развития нефтегазового комплекса страны с целью устойчивого обеспечения добычи нефти и газа на долгосрочную перспективу. Выбор потенциальных ресурсов энергии и топлива для надежного энергообеспечения производственной деятельности компаний в этих регионах основан на оценке инвестиционной привлекательности реализации проектов автономного энергообеспечения, прежде всего с применением ВИЭ, а также выборе оптимальных с точки зрения эффективности энергетических ресурсов [5].

Общепринятого понятия «энергопереход» в настоящее время не существует. Эксперты, работающие над этой тематикой, формулируют собственные взгляды на это понятие:

- по определению Мирового энергетического совета (World Energy Council), энергетический переход представляет собой «фундаментальные структурные изменения энергетического комплекса отдельных стран мира» [6];
- международное агентство по возобновляемым источникам энергии (International Renewable Energy Agency – IRENA) трактует энергопереход как «изменение характера глобальной энергетики от базирования на ископаемых топливах к «нулевой эмиссии» к концу текущего столетия» [7];
- компания BP (British Petroleum) подходит к понятию «энергетический переход» с точки зрения «структурных изменений в процессах формирования мирового спроса на энергию, формирования потребностей в новых, более экологичных способах производства энергии» [8], где ставится акцент на то, что источники энергии не противопоставляются друг другу, речь идет о применении всех видов энергии с постепенным переходом на возобновляемые традиционные и тепловые, экологически более чистые источники энергии в будущем.

Анализ структуры баланса мирового энергопотребления с 1800 года [9] с наложенными на определенные временные периоды «энергопереходами» [10], представлен на рис. 1.



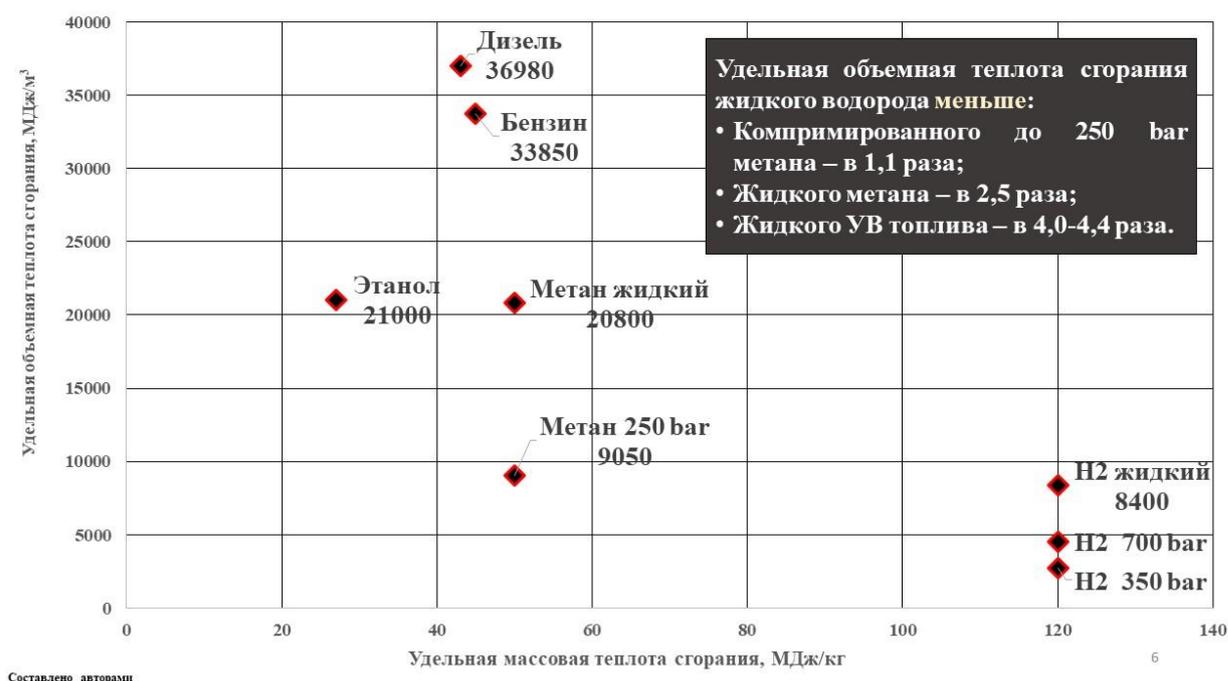
**Рис. 1. Структура мирового баланса потребления энергии с 1800 года.**

В зависимости от состояния развития технического прогресса, прежде всего, в энергетике, а также постоянно растущих потребностей в энергии [4], тот или иной вид топлива становился доминирующим в глобальной энергетике. В настоящее время мы живем в условиях «3-го энергоперехода» на природный газ и наступает время «4-го энергоперехода» на ВИЭ [10].

«Водородная» энергетика, основанная на использовании водорода в качестве энергоносителя, в последние годы приобрела большую популярность, прежде всего в связи с растущими эколого-климатическими проблемами современной глобальной энергетике, а также истощением доказанных извлекаемых запасов органического топлива и низкой эффективностью тепловой энергетике [5]. Использование водорода в качестве источника энергии в настоящий момент представляется проблемным. Даже не

затрагивая сложных технико-технологических проблем получения, хранения и транспортировки водорода, а рассматривая только энергетические его свойства, необходимо отметить, что удельная теплота сгорания водорода составляет  $\sim 120$  МДж/кг, что выше в 2,4 раза, чем у метана ( $\sim 50$  МДж/кг) или в 2,9 раза, чем у жидкого углеводородного топлива ( $\sim 42$  МДж/кг). Но использование водорода как источника энергии в реальных условиях напрямую зависит от объемной теплоты сгорания (МДж/литр), так как любое жидкое или газообразное топливо хранится, транспортируется и потребляется в объемном виде [11].

На диаграмме, приведенной на рис. 2, показаны значения массовой удельной теплоты сгорания (МДж/кг), а также объемной удельной теплоты сгорания (МДж/м<sup>3</sup>) различных видов топлива [4].



**Рис. 2. Зависимость массовой (МДж/кг) и объемной (МДж/м<sup>3</sup>) удельной теплоты сгорания различных видов топлива**

При том, что массовая удельная теплота сгорания водорода наивысшая из всех видов топлива (120 МДж/кг), за счет ничтожной плотности даже сжиженный водород имеет объемную удельную теплоту сгора-

ния (~8,4Мдж/литр) ниже, чем газообразный метан, компримированный до 250 атмосфер (~9,05МДж/литр), что является главной проблемой водорода, как источника энергии.

Образно говоря, количество заправляемой энергии при заправке бака в 1000 литров различными видами топлива можно представить в виде диаграммы, показанной на рис. 3.



*Рис. 3. Количество энергии в баке 1000 литров, заправленном различными видами топлива*

Каждый из нас должен сам себе честно ответить на вопрос, какой бы вид топлива мы бы купили для заправки своего автомобиля? И вряд ли бы сегодня это был бы водород.

Существенно меньшая, чем у углеводородных аналогов объемная удельная теплота сгорания водорода делает в настоящий момент проблемным его применение как источника энергии в реальных энергетических проектах. Тем не менее, все ведущие энергетические компании мира прилагают огромные усилия на развитие проектов «водородной» энергетики в силу жестких эколого-климатических требований к современной глобальной энергетике.

Для целей устойчивого развития энергетики на долгосрочную перспективу должны рассматриваться все виды доступной нам энергии - органическое топливо, атомная энергия, возобновляемая энергия, причем в перспективе под понятие ВИЭ мы сможем понимать [12]:

- традиционно понимаемые источники ВИЭ – солнце, ветер, гидроэнергетику;
- ядерную энергетику на «mixed oxide fuel» (МОКС) топливе, нарабатывать которое возможно на реакторах на быстрых нейтронах из отработанного ядерного топлива, запасы которого в мире огромны. Эта технология предложена советскими/российскими специалистами по ядерной энергетике и на настоящий момент в России на Белоярской АЭС работают 2 промышленных реактора на быстрых нейтронах – БН-600 и БН-800, строятся реакторы БН-1200 и БРЕСТ. Россия является абсолютным мировым лидером по применению этой технологии, что позволит использовать традиционные водо-водяные ядерные реакторы более 1000 лет. А существующие технологии производства абсолютно надежных судовых реакторов небольшой мощности в 100-250 МВт позволит в перспективе использовать их как источники высокоэнергетического тепла в системах традиционной тепло генерации, которые сейчас работают на органическом топливе;
- водородную энергетику, над проблемами которой сейчас идет активная работа во всем мире и в России;
- управляемый термоядерный синтез, использующий в качестве источников энергии изотопы водорода – дейтерий и тритий.

Одно очевидно - устойчивое развитие глобальной энергетики требует постоянного вовлечения в баланс глобального энергопотребления всех известных на сегодняшний момент видов топлива и энергии и огромных усилий по поискам все новых видов энергии, способных удовлетворить

глобальные потребности Человечества на долгосрочную перспективу. В частности, огромная роль в будущем, скорее всего, будет принадлежать тепловым возобновляемым источникам энергии, промышленное применение которых потребует колоссальных научных и технико-технологических усилий по их развитию. Вполне вероятно, что в результате научного и технологического развития энергетики будущего будут найдены принципиально новые, доселе неизвестные источники энергии, что отражено на диаграмме на рис. 4.



*Рис. 4. Устойчивое развитие энергетики потребует вовлечения всех известных и новых источников энергии*

Однако на современном этапе, с учетом доминирования органического топлива в глобальной энергетике [1], именно природный газ будет основным видом топлива на стыке 3-го и 4-го «энергопереходов», как минимум, до конца XXI века [4]:

- природный газ - энергетически самый эффективный вид органического топлива, развитая инфраструктура транспортировки которого как по магистральным газопроводам, так и в сжиженном состоянии, а также постоянно развивающаяся инфраструктура для его потреб-

ления делают его самым эффективным и доступным видом органического топлива;

- современные технологии использования природного газа позволяют минимизировать вредные выбросы, что делает его самым экологически чистым видом органического топлива;
- повышение эффективности и надежности энергообеспечения, особенно регионов с необустроенной энергетической инфраструктурой, возможно за счет «гибридизации» энергетики - совместного использования объектов тепловой генерации, работающих на органическом топливе и, прежде всего, на природном газе, и комбинированных энергетических установок с использованием ВИЭ и накопителей энергии.

#### Список литературы

1. BP Statistical Review of World Energy, July 2021. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html/> (Дата обращения: 25 января 2022 года).
2. Современные тенденции развития мировой энергетики с применением «гибридных» технологий в системах энергообеспечения/ В. В. Бессель, В. Г. Кучеров, А. С. Лопатин, В. Г. Мартынов, Р. Д. Мингалеева// Нефтяное хозяйство. – 2020. – № 3. – С. 31-35.
3. Население Земли. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://countrymeters.info/ru/World#historical\\_population/](https://countrymeters.info/ru/World#historical_population/) (Дата обращения: 25 января 2022 г.)
4. Природный газ – основа устойчивого развития мировой энергетики: Монография / В.Г. Мартынов, В.В. Бессель, В.Г. Кучеров, А.С. Лопатин, Р.Д. Мингалеева. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2021. – 173 с.
5. Бессель В.В. О перспективах развития глобальной энергетики и ее влиянии на энергетическую безопасность России. Бурение и нефть. 2021. № 5. С. 44-53.
6. 2014 World Energy Issues Monitor. World Energy Council, 2014. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World-Energy-Issues-Monitor-2014.pdf> (Дата обращения: 25 января 2022 года).
7. Perspectives for the energy transition: Investment needs for a low-carbon energy system. Chapter 3: Global Energy Transition Prospects and the Role of Renewables. IRENA, March 2017. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Mar/Perspectives\\_for\\_the\\_Energy\\_Transition\\_2017.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Mar/Perspectives_for_the_Energy_Transition_2017.pdf) (Дата обращения: 25 января 2022 года).
8. Advancing the energy transition. BP, 2018. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business->

sites/en/global/corporate/pdfs/sustainability/group-reports/bp-advancing-the-energy-transition.pdf (Дата обращения: 25 января 2022 года).

9. Бессель В.В., Кучеров В.Г., Лопатин А.С., Мартынов В.Г. Смена парадигмы на мировом энергетическом рынке. Газовая промышленность. 2017. № 4 (751). С. 28-33.
10. Смил В. Энергия и цивилизация. От первобытности до наших дней (пер. Д.Л. Казаков). - М: Бомбора, 2020. – 480 с.
11. Бессель В.В. Водородная энергетика - Чистые технологии для устойчивого будущего Евразии. Под ред. Е. Винокурова. Москва: Евразийский банк развития, Ассоциация «Глобальная энергия», 2021. С. 8-18.
12. Бессель В.В. Тепловая возобновляемая энергетика как основа грядущего 4-го энергоперехода - Сжиженный природный газ: проблемы и перспективы: тезисы докладов. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2021.С. 30-38.

### References

1. BP Statistical Review of World Energy, July 2021. Available at <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html/> (accessed: 25.01.2022). (in English)
2. Bessel V.V., Kucherov V.G., Lopatin A. S., Martynov V. G., Mingaleeva R. D. *Sovremennye tendentsii razvitiya mirovoy energetiki s primeneniem «gibridnykh» tekhnologiy v sistemakh energoobespecheniya* [Current trends in global energy sector development with the use of hybrid technologies in energy supply systems]. *Neftyanoe Khozaistvo* [Oil Industry], 2020, No. 3, pp. 31-35. (in Russian)
3. *Naseleniye zemli* [Population of the Earth]. available at: [https://countrysmeters.info/ru/World#historical\\_population](https://countrysmeters.info/ru/World#historical_population) (accessed: 25.01.2022 г.) (in Russian)
4. Martynov V.G., Bessel V.V., Kucherov V.G., Lopatin A.S., Mingaleeva R.D. *Prirodnyy gaz – osnova ustoychivogo razvitiya mirovoy energetiki* [Natural gas – the basis for sustainable development of global energy sector]. Moscow: Publ. Center of Gubkin Russian State Oil and Gas University, 2021, 173 p. (in Russian)
5. Bessel V.V. *O perspektivakh razvitiya global'noy energetiki i ee vliyaniy na energeticheskuyu bezopasnost' Rossii* [On prospects for global energy development and its effects on Russian energy security]. *Burenie i Neft'* [Drilling and Oil], 2021, No. 5, pp. 44-53. (in Russian)
6. 2014 World Energy Issues Monitor. World Energy Council, 2014. Available at: <https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World-Energy-Issues-Monitor-2014.pdf> (accessed: 25.01.2022) (in English)
7. Perspectives for the energy transition: Investment needs for a low-carbon energy system. Chapter 3: Global Energy Transition Prospects and the Role of Renewables. IRENA, March 2017. Available at: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Mar/Perspectives\\_for\\_the\\_Energy\\_Transition\\_2017.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Mar/Perspectives_for_the_Energy_Transition_2017.pdf) (accessed: 25.01.2022). (in English)
8. Advancing the energy transition. BP, 2018. Available at: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/sustainability/group-reports/bp-advancing-the-energy-transition.pdf> (in English).
9. Bessel V.V., Kucherov V.G., Lopatin A.S., Martynov V.G. *Smena paradigmy na mirovom energeticheskom rynke* [Shift of paradigm in global energy market]. *Gazovaya Promyshlennost'* [Gas Industry], 2017, No. 4 (751), pp. 28-33. (in Russian)

10. Smil V. Energy and civilization. A history. Moscow: Bombora Publ., 2020. 480 p. (translated from English)
11. Bessel V.V. *Vodorodnaya energetika - Chistye tekhnologii dlya ustoychivogo budushchego evrazii* [Hydrogen economy - Clean technologies for sustainable future of Eurasia]. Moscow: Eurasian Development Bank, Global Energy Association, 2021, pp. 8-18. (in Russian)
12. Bessel' V.V. *Teplovaya vozobnovlyаемая energetika kak osnova gryadushchego 4-go energoperekhoda - Szhizhennyu prirodnyu gaz: problemy i perspektivy* [Thermal renewable energy as the basis of the 4<sup>th</sup> upcoming energy transition - Liquefied natural gas: Challenges and prospects:]. Moscow: Publ. Center of Gubkin Russian State Oil and Gas University, 2021, pp. 30-38. (in Russian)
13. Uspenski B.V., Borovski M.Ya. *A.S. Yakimov kak sozdatel' metodologii dorazvedki neftyanykh mestorozhdeniy* [A.S. Yakimov as the creator of additional oil field exploration method]. Proceedings of the Conference: New Paradigm of Petroleum Geology Development. Kazan: Ikhlas Publ., 2020, pp. 513-518. (in Russian)

### Сведения об авторах

*Бессель Валерий Владимирович*, к.т.н., доцент, исполнительный вице-президент ООО «НьюТек Сервисез», профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина  
Россия, 115162, Москва, ул. Шаболовка, 31Г  
E-mail: vbessel@nt-serv.com

### Authors

*V.V. Bessel*, PhD, Associate Professor, Executive Vice President, NewTech Services LLC, Professor, Gubkin Russian State Oil and Gas University  
31G, Shabolovka st., Moscow, 115162, Russian Federation  
E-mail: vbessel@nt-serv.com

*Статья поступила в редакцию 09.02.2022  
Принята к публикации 19.03.2022  
Опубликована 30.03.2022*