

Новые источники энергии, энергетические технологии и системы: приоритет социальных, климатических и природоохранных факторов

Юрген-Фридрих Хаке

Профессор, j.-f.hake@fz-juelich.de

Институт исследований в области энергетики и климата Исследовательского центра Юлиха (Institute of Energy and Climate Research — IEK, Forschungszentrum Jülich), Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich, Germany

Лилиана Проскурякова

Директор Национального контактного центра по международной мобильности ученых, lproskuryakova@hse.ru

Институт статистических исследований и экономики знаний Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (ИСИЭЗ НИУ ВШЭ), 101000, Москва, ул. Мясницкая, 11

Аннотация

Вступительная статья к специальному выпуску «Будущее энергетики» посвящена перспективным направлениям развития мирового энергетического комплекса, оценке их вклада в преодоление глобальных вызовов и обеспечение устойчивого развития. Рассматриваемые тренды существенно различаются по скорости эволюции. Перспективные траек-

тории развития представляют как возможности, так и риски, специфичные для топливно-энергетического комплекса той или иной страны. Успехи в использовании возникающих преимуществ и нивелировании угроз зависят от совокупности внутренних и внешних факторов, в том числе от выбора мер государственной политики и эффективности их реализации.

Ключевые слова: новые источники энергии; эволюция технологий; глобальные вызовы; тренды; устойчивое развитие; государственная энергетическая политика

Цитирование: Hake J.-F., Proskuryakova L. (2018) New Energy Sources, Technologies, and Systems: The Priority of Social, Climate, and Environmental Issues. *Foresight and STI Governance*, vol. 12, no 4, pp. 6–9. DOI: 10.17323/2500-2597.2018.4.5.8

Рост энергопотребления в контексте социальных, климатических и природоохранных ограничений требует новых источников энергии. Перспективы развития энергетических систем определяются целым рядом разноплановых факторов, включая волатильность цен на энергоносители, стремительный технологический прогресс и геополитические сдвиги. Эти факторы, отличающиеся высокой степенью неопределенности, побуждают политиков и ученых анализировать будущее, прогнозировать и предвосхищать изменения, определять тенденции, готовиться к освоению новых рынков.

Среди разрабатываемых технологических направлений наивысшим потенциалом обладает **термоядерный синтез**, несмотря на отложенную коммерциализацию (ожидается в средне- или долгосрочной перспективе) и высокую стоимость. Запуск Международного экспериментального термоядерного реактора (International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER) позволит оценить надежность и экономическую эффективность соответствующих технологий, которые одновременно апробируются и на других подобных реакторах. В случае успеха их можно будет применять на атомных электростанциях нового поколения [Rosanvallon et al., 2018]. Еще одно направление перспективных разработок в атомной энергетике — реакторы четвертого поколения с замкнутым ядерным топливным циклом, появление которых ожидается после 2030 г. Энергетические системы на их основе предусматривают утилизацию и повторное использование отработанного ядерного топлива, что обеспечивает более высокую надежность и безопасность [Lake, 2002; Grape et al., 2014]. Новые многоцелевые атомные энергетические системы способны генерировать одновременно тепло и электричество. Вместе с тем пока еще сохраняется неопределенность в отношении производственных затрат, от которых зависит конкурентоспособность с другими энергетическими технологиями. Международное сотрудничество и междисциплинарный подход играют решающую роль в развитии обоих направлений.

Не менее перспективная область — **водородная энергетика**. Ранее водород практически не применялся в качестве энергоносителя ввиду низкого уровня рентабельности, повышенной взрывоопасности и отсутствия экономически эффективных систем хранения и распределения. Эти проблемы решаются с применением водородных топливных элементов. Благодаря высокой энергетической плотности водород можно безопасно использовать в смеси с жидкостями, что позволяет транспортировать его по существующим трубопроводным сетям, используемым для ископаемого топлива. Способность аккумулировать значительный объем электроэнергии открывает возможность применения водородных топливных элементов пользователями, не подключенными к энергосетям.

Несмотря на обозначенные преимущества, масштабному использованию водорода по-прежнему препятствует ряд факторов. Среди них — недостаточные безопасность и долговечность топливных элементов и систем хранения водорода, отсутствие децентрализованной инфраструктуры, которая обеспечила бы привлекательность водородных автомобилей для пользователей, и высокая стоимость электролизеров для производства водорода. Сколько времени может потребоваться для их преодоления, пока неизвестно [Haseli, 2018].

В России в течение уже нескольких десятилетий ведутся работы по созданию технологии получения **геотермальной энергии** сухих горных пород (петротермальной энергетики). Выполнены необходимые исследования и разработки, готовится демонстрационный образец — экспериментальная электростанция. В основе этих решений лежат методы извлечения тепла, аккумулированного в сухих горных породах земной коры, что позволяет генерировать недорогую тепловую и электрическую энергию для бесперебойного снабжения регионов независимо от их удаленности. Существующие разработки полностью базируются на российском оборудовании и прошли промышленную апробацию. В создании геотермальных энергосистем участвовали научные центры, университеты и компании. Экспериментальные установки могут быть введены в эксплуатацию до 2020 г., а повсеместное их применение станет реальным технологически начиная с 2020–2025 гг. К их преимуществам относятся низкие производственные затраты, почти нулевые выбросы и возможность рекуперации избыточного тепла благодаря системе замкнутого цикла [Cui et al., 2017; Huang et al., 2018]. Кроме того, еще в 1940-е гг. начались работы над повышением эффективности **солнечной энергетики**, когда возникла идея запустить в космос автоматическую станцию для передачи на Землю энергии Солнца с помощью микроволн или лазерных лучей [Asimov, 1967].

В Индии, Китае, США и Японии разрабатываются роботизированные спутниковые солнечные электростанции для беспроводной передачи на Землю гигантских объемов чистой возобновляемой энергии. Главным препятствием, затрудняющим создание таких станций, является высокая стоимость вывода спутников на орбиту. По некоторым оценкам, затраты на построение пилотной станции могут составить до 20 млрд долл. Однако учитывая, что стоимость космических запусков снижается из-за конкуренции со стороны частных компаний, подобные оценки могут быть пересмотрены [Matsumoto, 2002; Potter et al., 2008].

Наименее изученным потенциальным источником энергии остается **темная материя**¹. Работы в данном направлении пока находятся на стадии фундаментальных исследований. Эксперименты по обнаружению темной материи проводятся на Большом адронном коллайдере в Европейской организации ядерных ис-

¹ Темная материя — одна из составляющих Вселенной. Ее нельзя обнаружить оптическими средствами, она не излучает световых или иных электромагнитных волн и не сжимается под действием гравитации. В соответствии с одной из гипотез на нее приходится примерно 25% общей массы Вселенной, тогда как на обычную материю — около 5%, а остальные 70% составляет «энергия вакуума» [Redd, 2017].

следований (European Organization for Nuclear Research, CERN, Швейцария). Обсуждаются возможности использования темной материи для энергообеспечения дальних полетов космических кораблей [Liu, 2009]. Предположительно темная материя способна выделять в 5 млрд раз больше энергии на единицу массы, чем динамит [Casalino et al., 2018].

Эти и другие аспекты технологического развития энергетики детально раскрываются в специальном выпуске журнала «Форсайт» «Будущее энергетики».

В статье **Дэниела и Дженифер Склэрью (Daniel and Jennifer Sklarew)** оценивается потенциальный вклад энергосистем будущего в достижение Целей устойчивого развития (ЦУР), утвержденных ООН в 2015 г. [UN, 2015]. Особое внимание уделяется социальным аспектам, вопросам безопасности, возможности гибкого реагирования [Schlör et al., 2018], ценовой доступности и сокращению воздействия на окружающую среду и климат, в частности, за счет комбинированных технологий использования водных, энергетических и сельскохозяйственных ресурсов [Märker et al., 2018]. Одна из этих целей непосредственно связана с поиском ответов на глобальные энергетические вызовы: обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным энергоносителям; увеличение доли возобновляемых источников в мировом энергобалансе, удвоение глобальных темпов роста энергоэффективности. Другие цели также прямо либо косвенно касаются актуальных проблем в этой сфере в разных регионах мира [AlQattan et al., 2018]. Помимо обеспечения общественных благ обозначенные цели оказывают значительное влияние на бизнес, формируя основы устойчивой энергетики [Muff et al., 2017].

Требования к энергетике кардинально менялись с наступлением очередной технологической революции. Этот процесс детально рассматривается в статье **Сергея Филиппова**. Форсайт-исследования тенденций и технологий в энергетике выполняются во многих регионах мира, в частности в Северной Америке, Европейском союзе (ЕС) и странах БРИКС. Нередко они интегрированы в комплексные системы стратегического планирования национального и международного уровня. Полученные результаты учитываются при разработке научно-технологической и инновационной политики [Proskuryakova, 2017].

Методология Форсайт-исследований за последние десять лет существенно продвинулась. Применяются новейшие методы, включая анализ больших данных с использованием элементов искусственного интеллекта, усовершенствованное сценарное планирование, дополненное Дельфи-обследованиями в режиме реального времени, и др. [UNESCO, 2015; Miles et al., 2016]. Данная тема развивается в статье **Гильберта Ахамера (Gilbert Ahamer)**, посвященной формированию базы данных глобальных изменений (Global Change Data Base) и ее применению в энергетическом Форсайте, а также в публикации **Нуркан Килинч Аты (Nurcan Kilinc Ata)**, в которой оцениваются перспективы использования возобновляемых энергетических ресурсов в ряде стран.

Новая ключевая тенденция заключается в росте числа рыночных акторов: потребители активно вовлекаются в генерацию, хранение и торговлю энергией [Zafar et al., 2018]. Домохозяйства и предприятия становятся «потребителями» (*prosumers*), создают пользовательские инновации в энергетике. Бытовые устройства и промышленное оборудование, подключенные к интернету, «общаются» друг с другом и с поставщиками электроэнергии. Таким образом, обеспечивается оптимизация энергопотребления без участия человека. Отмеченные тренды обусловили стремительное развитие децентрализованных энергосистем, «умных» электросетей разного масштаба и «интернета энергии» [Hong et al., 2018; Mahmud et al., 2018].

Во многих крупных городах, например Токио, Берлине, Лос-Анджелесе, появились станции зарядки электромобилей и автомобилей, работающих на водородном топливе [ICCT, 2017]. Во всех странах ЕС доля возобновляемых источников, включая биомассу, должна составить не менее 10% в общей структуре потребления топлива транспортным сектором. Европейские производители уже предлагают дизельное топливо с 7%-м содержанием метиловых эфиров жирных кислот (*Fatty Acid Methyl Esters, FAME*) (B7) и бензин, в котором содержится до 5% этанола (E5). В 2015 г. бензин с максимальным содержанием этанола (10%) применялся в Болгарии, Финляндии, Франции, Германии, Литве и Словении [European Commission, 2017]. Ведущими производителями биотоплива являются США и Бразилия [RFA, 2018]. Некоторые страны, в частности Россия, обладают гигантским, пока недоиспользованным потенциалом генерации и экспорта биотоплива [IRENA, 2017], и на этом фоне расширяется потребление газомоторного топлива. В статье **Вячеслава Кулагина** и его коллег оцениваются перспективы межтопливной конкуренции на внутреннем автомобильном рынке.

Расчеты неоткрытых запасов ископаемого топлива пока носят приблизительный характер, определить их реальный объем весьма сложно. В литературе приводятся различные оценки доступности того или иного энергоресурса. Независимо от характера они являются важным параметром для планирования развития энергетической отрасли [U.S. EIA, 2015]. Неопределенность в отношении совокупного объема неоткрытых запасов усугубляется проблемами с оценкой себестоимости и коммерческой привлекательности добычи. Производство нетрадиционных и трудноизвлекаемых углеводородов может оказаться нерентабельным. Технологии, необходимые для добычи, обогащения и переработки ископаемого топлива (и энергоемкость соответствующих процессов), также могут существенно варьировать. Эти факторы непосредственно влияют на энергобаланс. Возможности извлечения нетрадиционных видов нефти на примере сланцевой анализируются в статье **Александра Маланичева**.

Скорость развития рассматриваемых глобальных трендов неодинакова. Создание термоядерных реакторов, возможно, займет десятилетия, в то время как новые способы добычи нетрадиционных запасов нефти

и газа уже существенно изменили облик мировых энергетических рынков. Как только будет решена проблема стоимости энергетических технологий, которая определяет их конкурентоспособность, новые разработки смогут обеспечить прорыв в разных направлениях прикладных исследований — от хранения энергии до новых материалов. Вместе с тем перспективные траектории развития — это не только открывающиеся возможности, но и потенциальные угрозы, специфичные

для конкретной страны и ее топливно-энергетического комплекса. Успех в использовании возможностей и противодействии угрозам зависит от совокупности внутренних и внешних факторов, включая выбор действенных мер государственной политики и формирование механизмов их эффективной реализации.

Статья подготовлена по результатам проекта, выполненного при финансовой поддержке Минобрнауки России, уникальный идентификатор проекта RFMEFI60117X0014.

Библиография

- AlQattan N., Acheampong M., Jaward F.M., Ertem F.C., Vijayakumar N., Bello T. (2018) Reviewing the potential of Waste-to-Energy (WTE) technologies for Sustainable Development Goal (SDG) numbers seven and eleven // *Renewable Energy Focus*. Vol. 27. P. 97–110.
- Asimov I. (1967) *Is Anyone There? Speculative Essays on the Known and Unknown*. New York: Doubleday.
- Casalino A., Rinaldi M., Sebastiani L., Vagnozzi S. (2018) Mimicking dark matter and dark energy in a mimetic model compatible with GW170817 // *Physics of the Dark Universe*. Vol. 22. P. 108–115.
- Cui G., Rena S., Zhang L., Ezekiel J., Enechukwu C., Wang Y., Zhang R. (2017) Geothermal exploitation from hot dry rocks via recycling heat transmission fluid in a horizontal well // *Energy*. Vol. 128. P. 366–377.
- European Commission (2017) Report from the Commission to the European Parliament and the Council in accordance with Article 9 of Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels. COM(2017) 284 final. Brussels: European Commission. Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52017DC0284>, дата обращения 23.10.2018.
- Grape S., Svärd S.J., Hellesen C., Jansson P., Lindell M.Å. (2014) New perspectives on nuclear power — Generation IV nuclear energy systems to strengthen nuclear non-proliferation and support nuclear disarmament // *Energy Policy*. Vol. 73. P. 815–819.
- Haseli Y. (2018) Maximum conversion efficiency of hydrogen fuel cells // *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 43. № 18. P. 9015–9021.
- Hong B., Zhang W., Zhou Y., Chen J., Xiang Y., Mu Y. (2018) Energy-Internet-oriented microgrid energy management system architecture and its application in China // *Applied Energy*. Vol. 228. P. 2153–2164.
- Huang W., Cao W., Jiang F. (2018) A novel single-well geothermal system for hot dry rock geothermal energy exploitation // *Energy*. Vol. 162. P. 630–644.
- ICCT (2017) Developing hydrogen fueling infrastructure for fuel cell vehicles: A status update. The International Council on Clean Transportation Briefing, October 2017. Режим доступа: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Hydrogen-infrastructure-status-update_ICCT-briefing_04102017_vF.pdf, дата обращения 25.10.2018.
- IRENA (2017) *Renewable Energy Prospects for the Russian Federation*. ReMap Working Paper. Abu Dhabi: IRENA.
- Lake J.A. (2002) The fourth generation of nuclear power // *Progress in Nuclear Energy*. Vol. 40. № 3–4. P. 301–307.
- Liu J. (2009) Dark Matter as a Possible New Energy Source for Future Rocket Technology. ArXiv Paper 0908.1429 [astro-ph. co]. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/0908.1429>, дата обращения 19.09.2018.
- Mahmud K., Town G.E., Morsalin S., Hossain M.J. (2018) Integration of electric vehicles and management in the internet of energy // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 82. Part 3. P. 4179–4203.
- Märker C., SandraVenghaus S., Hake J.-F. (2018) Integrated governance for the food – energy – water nexus — The scope of action for institutional change // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 97. P. 290–330.
- Matsumoto H. (2002) Research on solar power satellites and microwave power transmission in Japan // *IEEE Microwave Magazine*. Vol. 3. № 4. P. 36–45.
- Miles I., Saritas O., Sokolov A. (2016) *Foresight for Science, Technology and Innovation*. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer.
- Muff K., Kapalka A., Dyllick T. (2017) The Gap Frame — Translating the SDGs into relevant national grand challenges for strategic business opportunities // *The International Journal of Management Education*. Vol. 15. № 2. Part 2. P. 363–383.
- Potter S., Henley M., Davis D., Born A., Howell J., Mankins J. (2008) Wireless Power Transmission Options for Space Solar Power. Paper presented at the NASA International Space Development Conference, Washington, D.C., 29 May — 1 June 2008. Режим доступа: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20080036588.pdf>, дата обращения 23.04.2018.
- Proskuryakova L. (2017) Energy technology foresight in emerging economies // *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 119. P. 205–210.
- Redd N.T. (2017) What is Dark Matter? // *Space.Com*. 14.11.2017. Режим доступа: <https://www.space.com/20930-dark-matter.html>, дата обращения 04.12.2018.
- RFA (2018) Renewable Fuels Association Database. Режим доступа: <https://ethanolrfa.org/resources/industry/statistics/#1454098996479-8715d404-e546>, дата обращения 23.10.2018.
- Rosanvallon S., Elbez-Uzan J., Cortes P. (2018) Safety Provisions for the ITER Facility // *Fusion Engineering and Design*. Vol. 136. Part A. P. 540–544. Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2018.03.016>, дата обращения 14.10.2018.
- Schlör H., Venghaus S., Hake J.-F. (2018) The FEW-Nexus city index — Measuring urban resilience // *Applied Energy*. Vol. 210. P. 382–392. Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.026>, дата обращения 09.10.2018.
- UN (2015) Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015, A/RES/70/1. Geneva: United Nations. Режим доступа: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E, дата обращения 23.10.2018.
- UNESCO (2015) *World Water Scenarios to 2050*. World Water Assessment Programme (WWAP). Paris: UNESCO.
- U.S. EIA (2015) *Annual Energy Outlook 2015 with projections to 2040*. Washington, D.C.: U.S. Energy Information Administration.
- Zafar R., Mahmood A., Razaq S., Ali W., Naeema U., Shehzada K. (2018) Prosumer based energy management and sharing in smart grid // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 82. Part 1. P. 1675–1684.