

А.А. Бойко

ПЕРСПЕКТИВЫ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В XXI ВЕКЕ

Аннотация. С момента зарождения ядерной энергетической отрасли на нее возлагались большие надежды. Однако несмотря на ожидания и периоды интенсивного развития, ядерной энергетике в XX в. так и не удалось занять преимущественное положение в глобальном энергетическом балансе, что было обусловлено совокупностью факторов, включая высокие технологические барьеры в ядерной отрасли, аварию на ЧАЭС, низкую стоимость ископаемого топлива в 80–90-х годах, освоение развитыми странами новых месторождений Северного и Норвежского морей, развитие технологий энергосбережения и энергоэффективности и др. В 2000-х годах на фоне повышения цен на углеводороды, представители энергетических компаний активно заговорили об амбициозном плане «ядерного ренессанса», которому так и не суждено было сбыться. Проблема заключалась в длительном «простое» производственных мощностей французских и американских компаний, а также их неудачный опыт реализации проектов в США, Франции, Финляндии и КНР, изменившейся конъюнктуре рынка, в условиях которой бóльший интерес к атомной отрасли стали проявлять развивающиеся индустриальные страны, обладающие ограниченными финансовыми ресурсами, в глобальном экономическом кризисе, за которым последовало развитие и совершенствование новых способов добычи углеводородов. Свою роль сыграли и последствия аварии на АЭС «Фукусима». Современная ядерная отрасль всё больше опирается на государственный капитал. Параллельно начинает формироваться новое направление малых модульных реакторов, которые могут оживить интерес со стороны частных инвесторов и повлиять на расстановку сил в глобальной атомной энергетической отрасли.

Ключевые слова: атомная энергетика; «ядерный ренессанс»; малые модульные реакторы; Ядерный топливный центр (ЯТЦ); Фукусима; «Росатом»; МАГАТЭ; NuScale.

Бойко Александр Александрович – кандидат политических наук,
преподаватель факультета глобальных процессов
Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва.
E-mail: boyko@fgp.msu.ru
Web of Science Researcher ID: K-7923-2018

Boyko A.A. Prospects for nuclear energy in the 21st century

Abstract. *Since the birth of the nuclear power industry, high expectations have been pinned on it. However, despite expectations and periods of intensive development, nuclear power has not managed to gain a dominant position in the global energy balance in the 20th century. This fact was based on a combination of factors, including high technological barriers in the nuclear industry, the Chernobyl accident, low cost of fossil fuels in 80–90s, the development of new fields in the North and Norwegian Seas by developed countries, the expansion of energy-saving and energy efficiency technologies, etc. In the 2000s, against the backdrop of rising prices for hydrocarbons, representatives of major energy companies began to announce an ambitious plan for a «nuclear renaissance», which has would never come true. The problems were the long-term «idle time» of the production capacities of French and American companies, as well as their bad experience in the USA, France, Finland and China; the changed market conditions, in which the developing industrial countries with limited financial resources began to show more interest in the nuclear industry; the global economic crisis, followed by the development and improvement of new methods of hydrocarbon production and the diverse nature of the consequences of the accident at the Fukushima Nuclear Power Plant. The modern nuclear industry is increasingly reliant on government capital. Simultaneously, a new trend of small modular reactors is beginning to form. It might be of interest to private investors. The new technology might influence the balance of power in the global nuclear energy industry.*

Keywords: *nuclear power; «nuclear renaissance»; small modular reactors; nuclear fuel cycle; Fukushima; «Rosatom»; IAEA; NuScale.*

Boyko Alexander Alexandrovich – Candidate of Political Sciences,
Lecturer, Faculty of Global Studies, Lomonosov Moscow State University,
Russia, Moscow. E-mail: boyko@fgp.msu.ru
Web of Science Researcher ID: K-7923-2018

11 сентября 1933 г. газета «Нью-Йорк Таймс» опубликовала статью, в которой содержалась цитата «отца» ядерной физики лорда Эрнеста Резерфорда. Выступая на собрании Британской ассоциации содействия развитию науки, он заявил: «Любой, кто утверждает, что с помощью имеющихся в нашем распоряжении средств и нынешних знаний мы можем использовать атомную энергию, говорит чушь» [Kaempffert 1933]. Спустя пять лет немецким физикам удалось расщепить атомное ядро, таким образом подтвердив возможность получения энергии за счет реакции деления. Изначально эта энергия имела не мирное применение, а исключительно военно-научное, однако после Второй мировой войны были развернуты и попытки развития технологий «мирного атома». В 1950-е годы на атомную энергетику возлагались большие надежды, оптимисты говорили о почти бесплатной электроэнергии, об автомобилях и самолетах, работающих за счет энергии деления ядра. Однако вскоре выяснилось, что технологии «мирного атома» имеют массу недостат-

ков, а в экономике сильно проигрывают дешевой нефти, перенасытившей глобальный рынок в 1960-х годах. «Нефтяной шок» 1973 г. и стремительный рост нефтяных котировок ненадолго возродил интерес к отрасли, началось интенсивное строительство новых АЭС, но авария на Три-Майл-Айленд в 1979 г. и трагедия на ЧАЭС в 1986 г., совпавшая с кризисом перепроизводства нефти в 1980-х годах и освоением новых месторождений в Северном, а позже и Норвежском морях, привели к стагнации атомной отрасли и к ее упадку в конце 80–90-х годов. Западные компании перестали строить новые ядерные реакторы. На территории США строительство реакторов в XX в. не начиналось с 1978 г., когда было запущено сразу несколько крупных проектов – АЭС Блэк-фокс, АЭС Харрис и АЭС Йеллоу-крик. Из них, в итоге, частично осуществить удалось лишь один; от остальных пришлось отказаться вследствие их экономической несостоятельности и деятельности антиядерных активистов. Строительство последнего в прошлом веке энергетического реактора во Франции на АЭС Сиво развернулось в 1991 г. В 2000-х годах на фоне нового витка роста цен на ископаемое топливо интерес к атомной отрасли возобновился. Исследователи начали говорить о «ядерном ренессансе». Компании, предоставлявшие услуги в сфере ядерных энергетических технологий, преисполнились оптимизма. В 2006 г. руководство французской Areva NP заявляло о планах продать и установить 200 реакторов нового образца [Massemín 2017]. Однако «ядерный ренессанс» так и не состоялся. Неудачные проекты, реализуемые французскими и американскими компаниями в США, Франции, Финляндии и КНР [Бойко 2019], изменившаяся конъюнктура рынка, глобальный экономический кризис, за которым последовало развитие и совершенствование новых способов добычи углеводородов и авария на АЭС «Фукусима», негативно повлиявшая на общественное восприятие атомной энергетики, вынудили сторонников идеи «ядерного ренессанса» признать, что их прогнозам не суждено было сбыться, по крайней мере на глобальном уровне.

Основной причиной провала была экономика и специфика ядерного рынка. Мировой рынок технологий и оборудования ядерного топливного цикла (ЯТЦ) гораздо менее изменчив, чем рынок нефти и газа; он в гораздо большей степени характеризуется устоявшейся олигополией и меньшим числом ключевых игроков. Причиной такой особенности является крайне высокий барьер вхождения новых поставщиков на рынок, обусловленный особенностями технологического, экономического и политического характера. В отличие от углеводородной отрасли, для успешной конкуренции на ядерном рынке необходимо обладать продвинутыми технологиями, располагать гораздо более крупным капиталом для ее развития, поддержки и амортизации технически сложного и опасного оборудования. Поэтому в большинстве случаев развитие мирных ядерных технологий так или иначе связано с разработ-

кой военных ядерных программ, которые оправдывают необходимость более высоких затрат.

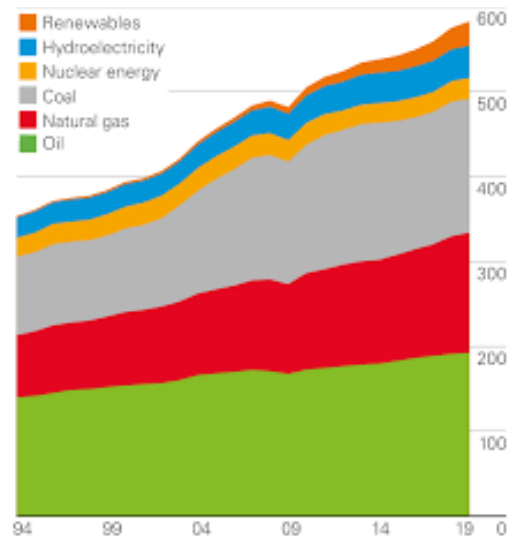


Рис. 1. Потребление первичной энергии

Источник: [BP Statistical Review of World Energy 2020].

Основу экономики АЭС составляют капитальные издержки, поэтому возможность максимально снизить объем капитальных инвестиций для заказчика, является крайне важным конкурентным преимуществом на глобальном рынке ядерного топливного цикла. Добиться этой цели можно путем упрощения конструкции реактора, развития серийного строительства и поддержки постоянных производственных отношений с субподрядчиками, предоставлением особых условий, таких как льготные займы или контракты по схеме Build-Own-Operate, подразумевающие инвестирование со стороны подрядчика. Выполнение этого условия стало еще более актуальным в условиях смещения эпицентра развития атомной отрасли из развитых стран в страны развивающиеся. Последние испытывают потребность в постоянном наращивании энергетического потенциала для ликвидации энергетической бедности и поддержки индустриального развития, тогда как постиндустриальные государства не страдают от «энергетического голода» и не нуждаются в серийном возведении мощных АЭС. Единичное строительство атомных станций создает бюрократические сложности, усложняет отношения как внутри компании-подрядчика, так и с субподрядчиками, делает сам процесс

строительства менее предсказуемым, что в реалиях развитых стран повышает стоимость ядерной энергетики и снижает ее конкурентоспособность по отношению к возобновляемым источникам энергии ВИЭ. Кроме того, курс на продвижение альтернативной энергетики, энергопроизводство которого при нынешнем уровне развития технологий эффективно контролировать невозможно, слабо совместимо с высокой долей атомной энергетики в энергетическом балансе. В силу ряда причин, наиболее критичной из которых является возможность попадания в так называемую йодную яму, ядерные реакторы обладают низким регулировочным диапазоном мощности в электроэнергетической системе. Именно поэтому, по крайней мере при текущем уровне развития технологий, они не способны подстроиться под ежедневные флуктуации объема электроэнергетической выработки, свойственные альтернативным источникам энергии.

Повышение спроса со стороны развивающихся стран приводит к еще одной проблеме – необходимости соблюдения хрупкого платежного баланса. Такие страны, как Бангладеш, Турция, Индия, могут столкнуться с проблемой при поиске инвесторов для развития атомной энергетической отрасли. В этом случае предпочтителен будет выбор в пользу подрядчика, который обеспечит реализацию проекта по максимально низкой стоимости и с самостоятельным привлечением инвестиций. Госкорпорация «Росатом» при работе с вышеназванными заказчиками прибегает к привлечению кредитов на льготных условиях либо использует модель ВОО (Build-Own-Operate) как конкурентное преимущество [Карнеев 2014]. Подразумевается, что инвестор (в лице проектной компании) берет на себя обязательства по сооружению и полному техническому циклу эксплуатации АЭС, сохраняя ее в собственности на весь период работы. Работа по такой модели в атомной энергетике имеет продолжительный период окупаемости инвестиций, на который может пойти государство. Частные компании не готовы придерживаться подобной политики. В отличие от правительственных акторов, они имеют «пределы существования» [Лебедева 2013, с. 40], поэтому стремятся получить прибыль в более короткие сроки. Кроме того, у такой модели есть существенные риски, так как сложно в достаточной мере спрогнозировать экономическую ситуацию и оценить рентабельность электростанции на перспективу в несколько десятилетий. Если частные компании заинтересованы лишь в получении прибыли, то госкомпании также являются проводниками политических интересов, поэтому в силу изменившейся конъюнктуры частным компаниям будет очень сложно конкурировать с государственными гигантами на глобальном рынке больших реакторов.

Еще одной причиной, которая значительным образом повлияла на востребованность атомной энергетики, является снижение стоимости углеводородного сырья вследствие совокупности обстоятельств, которые имели как

краткосрочный (экономический кризис 2008 г.), так и долгосрочный эффект (снижение стоимости шельфовой добычи в Арктике, сланцевая революция, прогресс в снижении себестоимости альтернативной энергетики) [Перспективы развития 2020, с. 38–43, 78–93], а также события 2011 г. на АЭС «Фукусима». Абсолютно все эти факторы имеют экономическую доминанту. Авария на АЭС «Фукусима» привела не только к изменению общественного восприятия ядерной энергетики, но и к необходимости срочного пересмотра и доработок уже существующих проектов, а также возросшей неопределенности по вопросу ответственности за ядерный ущерб [Heffron et al. 2016]. К тому же на развитие атомной энергетики оказал влияние и индийский закон о гражданской ответственности за ядерный ущерб 2010 г. Закон противоречит общепринятому в мире принципу туннелирования ответственности на оператора ядерной установки, практически без права регресса, что отпугивает от индийского рынка потенциальных подрядчиков или сильно затягивает переговоры. Этот билль смог оформиться в том числе и как одно из отдаленных последствий катастрофы на американском химическом комбинате в индийском городе Бхопал в 1984 г., компенсации жертвам которой выплачивались очень медленно и далеко не во всех случаях.

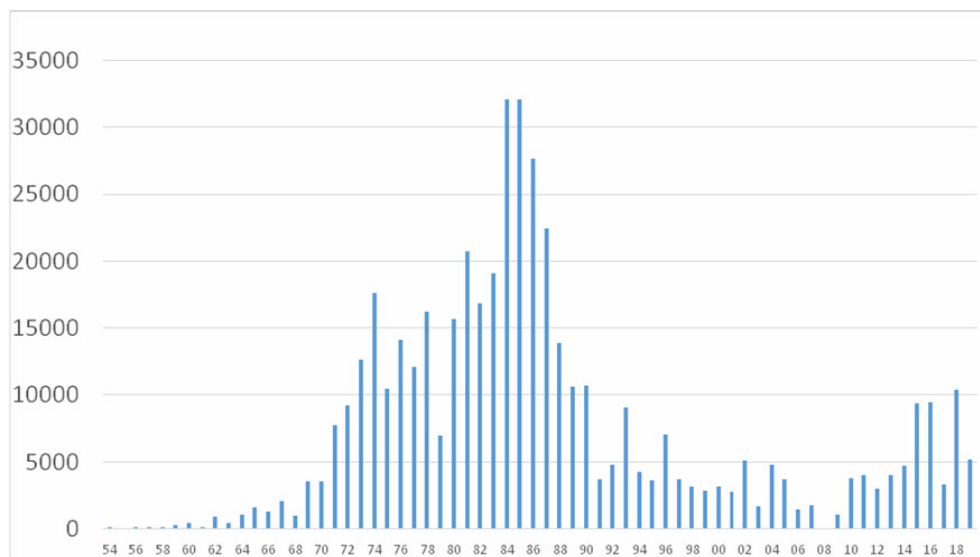
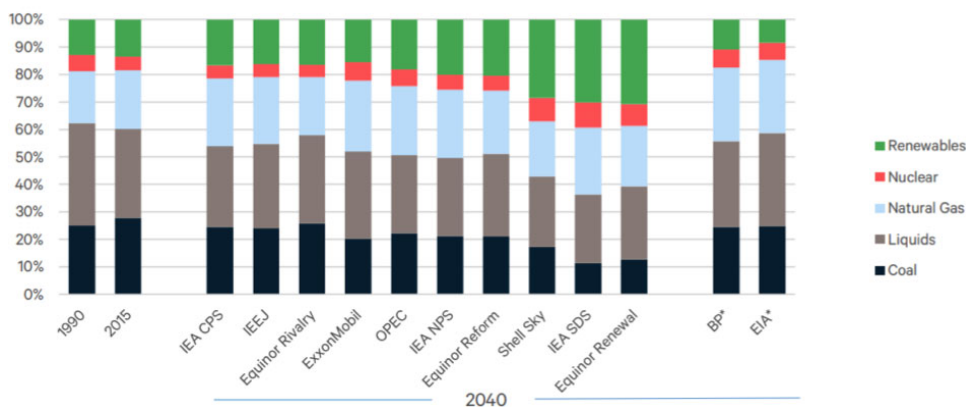


Рис. 2. Мощностей введено в эксплуатацию (МВт)

Источник: составлено автором по материалам IAEA PRIS



**Рис. 3. Прогнозы глобального потребления
первичной энергии по видам топлива**

Источник: [Newell et al. 2019]

Таким образом, маловероятно, что большая атомная энергетика сможет когда-либо повысить свою долю в общем энергетическом балансе, «ядерный ренессанс» в этом сегменте по имеющимся прогнозам не состоится, как минимум, на глобальном уровне. Однако перспектива поддержать развитие ядерной энергетике существует у технологии малых модульных реакторов (ММР). ММР – это реакторы небольшой мощности (до 300 МВт), которые возможно производить сериями на заводах и которые должны быть просты в установке и транспортировке. Поэтому такие установки могут оказаться относительно дешевыми и конкурентоспособными. Фактически они представляют из себя реакторы-модули. На одной площадке возможно компактное размещение нескольких модулей и строительство на их основе достаточно мощной электростанции. ММР в обозримой перспективе не смогут заменить рынок «больших» реакторов, но им наверняка удастся «перетянуть» на себя некоторые заказы.

В каталог *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments 2020* (МАГАТЭ обновляет его раз в два года) внесено 69 проектов, 17 из них – российские [Advances in Small 2020]. МАГАТЭ в своем каталоге принимает во внимание любые проекты, если заявители показывают заинтересованность и подтверждают существование минимальной активности по его реализации. Например, предоставляют свидетельства хотя бы о наличии официального сайта и зарегистрированного под разработку юридического лица. Поэтому подавляющее большинство из указанных моделей находятся на стадии «концептуального» или «предконцептуального дизайна» и скорее всего никогда не будут реализованы.

В коммерчески наиболее перспективных наземных проектах пока что быстрее всех продвигается молодая американская компания NuScale Power, созданная в 2007 г. Номинальная электрическая мощность одного реактора компании Nuscale Power составляет 60 МВт. По плану, электростанция на базе модулей NuScale может вмещать до 12 ММР общей совокупной мощностью до 720 МВт. 16 октября 2020 г. Министерство энергетики США утвердило для компании NuScale Power грант в размере 1,4 млрд долл. в качестве компенсации затрат на апробирование новой технологии [DOE Approves 2020]. Строительство первой подобной АЭС планируется развернуть в 2024 г. и закончить уже через три года. Компания NuScale Power утверждает, что ориентировочная стоимость возведения первой станции мощностью 684 МВт составляет около 3 млрд долл., что является относительно небольшой суммой для референтного проекта [A Cost Competitive].

Помимо NuScale Power, в этом же направлении работает компания Westinghouse, разрабатывая ММР на основе технологий AP1000. Наиболее перспективным и интересным проектом представляется АСММ eVincy, который сама компания называет микрореактором. Заправка и загрузка топливом производится на заводе, а топливная кампания одной установки, согласно утверждениям производителя, составляет от трех до десяти лет. Комбинированная тепловая и электрическая мощность колеблется от 1 до 5 МВт на один микрореактор. Westinghouse рассчитывает построить первый eVinci в 2024 г. Представляется, что на данный момент США имеют больше всего реальных проектов на стадии активной разработки и лидируют в сфере ММР, но ни одна такая установка еще не была построена, поэтому их реальные перспективы оценивать сложно. В действительности, их стоимость может оказаться гораздо дороже, что уже случилось с «большим» AP1000 [Бойко 2019].

Помимо США, в этом направлении продвинулась Аргентина. Страна уже строит первый модульный реактор CAREM (Central Argentina de Elementos Modulares), который имеет шансы стать одним из первых или даже первым построенным ММР, а 4 июля 2012 г. Корейская комиссия по ядерной безопасности (NSSC) одобрила отечественный проект SMART [Kim et al. 2014, p. 94].

Существуют и российские разработки. Один из самых многообещающих проектов – АЭС на базе реактора РИТМ-200 мощностью от 50 МВт. Первую станцию планируется построить к 2027 г. Кроме этого, примечательными являются и другие потенциальные мини-АЭС, такие как ММР с реакторной установкой «Шельф» и АБВ6Э мощностью 6–10 МВт и др., которые планируют размещать на удаленных и труднодоступных территориях: в Якутии или на Крайнем Севере. Существуют также проекты мобильных ядерных реакторов, такие как транспортабельная модульная установка АТГОР мощностью 1,2 МВт и недавно реализованные ПАТЭС «Академик Ломоносов». Впрочем, разработка последних обусловлена, в первую очередь, стратегическими интереса-

ми России за Северным полярным кругом, а не коммерческими соображениями. Создание и внедрение энергоустановок и сопутствующего оборудования и технологий для использования в Арктике и на Дальнем Востоке является одним из ключевых направлений деятельности ГК «Росатом».

Таким образом, несмотря на несостоявшийся «ядерный ренессанс», будущее у атомной энергетики остается. В условиях меняющегося климата развивающиеся страны стремятся, с одной стороны, нарастить энергетические мощности, а с другой – развивать экологически более чистые источники энергии. Ядерная энергетика, несмотря на все свои недостатки, может оказать большое влияние на сдерживание потепления и способствовать успешному осуществлению четвертого энергетического перехода.

Библиография

Бойко А.А. Перспективные направления сотрудничества ЕАЭС на региональном и глобальном рынке технологий и оборудования ядерного топливного цикла // Геоэкономика энергетики. 2019. № 4. С. 75–90. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnye-napravleniya-sotrudnichestva-eaes-na-regionalnom-i-globalnom-rynke-tehnologiy-i-oborudovaniya-yadernogo-toplivnogo> (дата обращения: 23.10.2020).

Карнеев А.А. Финансовое обеспечение проектов по строительству АЭС как фактор конкурентоспособности российской атомной отрасли на мировом рынке // Финансы и кредит. 2014. № 28 (604). С. 48–55.

Лебедева М.М. Акторы современной мировой политики: тренды развития // Вестник МГИМО Университета. 2013. № 1 (28). С. 38–42.

Перспективы развития мировой энергетики с учетом влияния технологического прогресса / Под ред. В.А. Кулагина. М.: ИНЭИ РАН. 2020. 320 с.

Advances in small modular reactor technology developments // IAEA. 2020. 343 p. URL: https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf (дата обращения: 23.10.2020).

BP statistical review of world energy 2020 // BP. 2020. 65 p. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf> (дата обращения: 23.10.2020).

A Cost Competitive Nuclear Power Solution // NuScale Power. URL: <https://www.nuscalepower.com/benefits/cost-competitive> (дата обращения: 23.10.2020).

DOE Approves Award for Carbon Free Power Project // Energy.gov. Office of Nuclear Energy of US Department of Energy. 2020.16.10. URL: <https://www.energy.gov/ne/articles/doe-approves-award-carbon-free-power-project> (дата обращения: 23.10.2020).

Heffron R.J., Ashley S.F., Nuttall W.J. The global nuclear liability regime post Fukushima Daiichi // Progress in Nuclear Energy. 2016. Т. 90. P. 1–10.

Каемпфферт В. Рутерфорд Cools Atom Energy Hope // New York Times. 1933. 12 Sept. p. 1.

Kim K.K. et al. SMART: The First Licensed Advanced Integral Reactor // Journal of Energy and Power Engineering. 2014. Т. 8. N 1. P. 94–102. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/fe6c/e65972df2ae149b0e974ee95b6a61fe1a2d4.pdf> (дата обращения: 23.10.2020).

Massemin É. Dans l'usine du Creusot, Trois décennies de Gestion Défaillante // Reporterre. 2017.04.10. URL: <https://reporterre.net/3-Dans-l-usine-du-Creusot-trois-decennies-de-gestion-defaillante> (дата обращения: 23.10.2020).

Newell R., Raimi D., Aldana G. Global Energy Outlook 2019: The Next Generation of Energy // Resources for the Future. Report 19–06. 2019. July. 38 p. URL: <http://www.econ2.jhu.edu/courses/101/GlobalEnergyOutlook2019.pdf> (дата обращения: 23.10.2020).

The Power Reactor Information System (PRIS) // IAEA.PRIS. URL: <https://pris.iaea.org/> (дата обращения: 23.10.2020).

References

Advances in small modular reactor technology developments. IAEA. 2020. 343 p. URL: https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf (date of access: 23.10.2020).

Boyko A.A. Perspektivny'e napravleniya sotrudnichestva EAE'S na regional'nom i global'nom ry'nke tekhnologii i oborudovaniya yadernogo toplivnogo cikla [Boyko A.A. Prospective directions of cooperation within the EAEU in the regional and global market of technologies and equipment for the nuclear fuel cycle]. Geo'konomika e'nergetiki. 2019. N 4. P. 75–90. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnye-napravleniya-sotrudnichestva-eaes-na-regionalnom-i-globalnom-rynke-tehnologiy-i-oborudovaniya-yadernogo-toplivnogo> (date of access: 23.10.2020). (In Russ.)

BP statistical review of world energy 2020. BP. 2020. 65 p. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf> (date of access: 23.10.2020).

A Cost Competitive Nuclear Power Solution. NuScale Power. URL: <https://www.nuscalepower.com/benefits/cost-competitive> (date of access: 23.10.2020).

DOE Approves Award for Carbon Free Power Project. Energy.gov. Office of Nuclear Energy of US Department of Energy. 2020.16.10. URL: <https://www.energy.gov/ne/articles/doe-approves-award-carbon-free-power-project> (date of access: 23.10.2020).

Heffron R.J., Ashley S.F., Nuttall W.J. The global nuclear liability regime post Fukushima Daiichi. Progress in Nuclear Energy. 2016. T. 90. P. 1–10.

Kaempffert W. Rutherford Cools Atom Energy Hope. New York Times, 12.09.1933. P. 1.

Karneev A.A. Finansovoe obespechenie proektov po stroitel'stvu AE'S kak faktor konkurentosposobnosti rossijskoj atomnoj otrasli na mirovom ry'nke [Karneev A.A. Financial support of NPP construction projects as a factor in the competitiveness of the Russian nuclear industry in the world market]. Finansy' i kredit. 2014. N 28 (604). P. 48–55. (In Russ.)

Kim K.K. et al. SMART: The First Licensed Advanced Integral Reactor. Journal of Energy and Power Engineering. 2014. T. 8. N 1. P. 94–102. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/fe6c/e65972df2ae149b0e974ee95b6a61fe1a2d4.pdf> (date of access: 23.10.2020).

Lebedeva M.M. Aktory' sovremennoj mirovoj politiki: trendy' razvitiya [Actors of modern world politics: development trends]. Moscow: Vestnik MGIMO-Universiteta, 2013. P. 38–42. (In Russ.)

Massemin É. Dans l'usine du Creusot, Trois décennies de Gestion Défaillante. Reporterre. 2017.04.10. URL: <https://reporterre.net/3-Dans-l-usine-du-Creusot-trois-decennies-de-gestion-defaillante> (date of access: 23.10.2020).

Newell R., Raimi D., Aldana G. Global Energy Outlook 2019: The Next Generation of Energy. Resources for the Future. Report 19–06, 2019 July. 38 p. URL: <http://www.econ2.jhu.edu/courses/101/GlobalEnergyOutlook2019.pdf> (date of access: 23.10.2020).

Perspektivy' razvitiya mirovoj e'nergetiki s uchetom vliyaniya tekhnologicheskogo progressa. [Prospects For the Development of World Energy Taking Into Account the Impact of Technological Progress] ed. V.A. Kulagin. Moscow: INE'I RAN, 2020. 320 p. (In Russ.)

The Power Reactor Information System (PRIS). IAEA.PRIS. URL: <https://pris.iaea.org/> (дата обращения: 23.10.2020).