

## **Факторы роста конкурентоспособности и новые технологические платформы в отечественной энергетике**

© В.Г. Родионова, Т.В. Крупнова

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены аспекты роста конкурентоспособности российских компаний в энергетической отрасли. Отмечено, что рыночные условия придают традиционно монопольным компаниям отечественной электроэнергетики обновляемый статус монопольно-конкурентных структур. Приведены мнения аналитиков отрасли и представителей генерирующих компаний, участвующих в конкурентном процессе. Сделан вывод о том, что рост конкурентоспособности отраслевых компаний — закономерный и позитивный процесс, перспективы которого определяются преимуществами инновационных решений в рамках сформированных технико-технологических платформ и их внедрения в практику отрасли энергетики.*

**Ключевые слова:** базовая нагрузка, внешние эффекты, замкнутый топливный цикл, конкурентоспособность, монопольно-конкурентные структуры, сравнительные преимущества, утилизация от ходов, промышленные и радиоактивные отходы, энергобаланс

**Ресурсная специфика конкурентоспособности компаний электроэнергетики.** Конкурентоспособность — рыночная категория, а внутренние и мировые энергетические рынки для отраслевых генерирующих компаний — это реальная среда, где объективно проявляются и подтверждаются конкурентные преимущества, влияющие на показатели разности соотношений *результата* — киловатт-часа и *ресурсных затрат* на его получение в производственной выработке генерирующих компаний.

Факторы конкурентоспособности электроэнергетических компаний не во всем идентичны и не охватывают весь спектр нестандартных исходных условий их производительной деятельности. Внутриотраслевая специфика в этой сфере определяется прежде всего относительной ограниченностью природных ресурсов как первичных энергоносителей, при том что потребность в таких ресурсах по существу бесконечна и постоянно растет. Насколько влияют данные особенности на соотношение монополизма и конкурентных рыночных условий в энергетической сфере?

В классических и современных исследованиях недостаточно отражено влияние специфики природных ресурсов как первичных энергоносителей. Кроме того, ресурсные факторы, создающие проблемы или преимущества либо полностью исключены из системы

аргументов конкурентоспособности энергетики, либо сводятся к стоимостным рыночным категориям, которые уместны не для всех видов энергетических компаний.

Со стороны классической аргументации достаточно проблематично рассматривать применительно к сфере энергетики и ее компаниям конкуренцию такой силы, которая «была бы под самое основание существующих фирм настолько же эффективно, насколько... бомбардировка эффективнее усилий, затраченных на открывание двери». Конкуренция и по определению Й. Шумпетера, и в реальности «оказывает влияние не только тогда, когда она уже есть, но и тогда, когда она является всего лишь потенциальной угрозой... она дисциплинирует еще до своего наступления» [1].

Энергетические компании как структуры новой экономики все же оказались за пределами предмета классического анализа конкурентных сил, способствующих по меньшей мере дифференциации и специализации по столь существенному фактору, как природные ископаемые. Энергетика — сравнительно молодая отрасль экономики, регулируемая преимущественно не рыночными правилами, а законодательными нормами государства, которое определило монопольный статус ведущих компаний по факту использования ими ископаемых ресурсов-энергоносителей и основных капитальных активов, относящихся к государственной собственности.

Так, известный современный исследователь проблем технологий и конкуренции М. Портер доказал, например, что богатые природные запасы стран являются фактором, «мало способствующим росту конкурентоспособности» [2], правда, энергетические компании также не включены в предмет его исследований.

Доступность полезных ископаемых для энергетических компаний определяется природными запасами, общественными условиями распределения, а также видовыми особенностями (углеводороды, ядерные энергоресурсы — не возобновляемые источники окружающей среды; энергия воды, солнца, ветра — возобновляемые). Наличие природных ресурсов и их распределение среди компаний энергетической отрасли всегда выражено достаточно точным, фиксированным значением. Специалисты в области современной энергетики отмечают, что первичные энергоносители, способные гореть и превращаться в энергию, например нефть, газ, уголь и древесина, составляют лишь 3 % планетарных запасов энергии. Остальные 97 % энергетических запасов приходятся на два изотопа — уран-238 и торий-232. По официальным данным [3], отечественные запасы ядерного топлива в количественном выражении равны примерно 600 тыс. т. Их использование на АЭС и монопольный контроль со стороны государства как собственника предполагают регулирование добычи и не допускают данные ресурсы в сферу свободного рыночного оборота.

Углеводороды задействованы во многих отраслях экономики, что объясняет возможность применения смешанных, рыночно-регулируемых методов для стимулирования добычи и реализации углеводородов на коммерческих началах в системе конкурентных рынков. В то же время первичные энергоносители (уголь, газ, нефть и/или некоторые продукты их первичной переработки) потребляются преимущественно ТЭС.

Особой разновидностью являются *возобновляемые источники энергии* (ВИЭ). Они используются в традиционной энергетике, основу которой составляют *водные ресурсы* (применяемые на ГЭС), а также в альтернативной, с ее свободным доступом к ВИЭ, не имеющей *топливной составляющей*. К числу первичных ресурсов окружающей среды относятся солнечное тепло, ветровая энергия, теплота геотермальной воды и другие виды, пригодные к генерации энергии тепло- и электростанциями (ВИЭ-генерация).

Отечественные природные ресурсы редкого и дефицитного ядерного и/или углеродного топлива, а также ВИЭ-генерации служат абсолютным преимуществом (англ. *absolute advantage*), избирательно применяемым соответствующими энергетическими компаниями в общественно значимых целях гарантированного формирования совокупного энергобаланса страны. Параметры использования соответствующих энергоносителей примерно совпадают с дифференциацией их применения отечественными компаниями: доля ядерного топлива, потребляемого АЭС, — 17 %; ТЭС при генерации используют 38,1 % ресурсов угля, 17,1 % газа, 8,5 % нефти; ГЭС при генерации на водных ресурсах — 17,5 %; другие виды генерации — 1,6 %. Прикладные исследования последних лет показали, что в энергетике приоритеты роста конкурентоспособности смещаются от абсолютных преимуществ используемых ресурсов в сторону сравнительных преимуществ компаний [4].

*Сравнительные преимущества* (англ. *comparative advantage*) — это внутренние источники развития на основе факторов инновационных и технико-технологических преобразований производственной деятельности. В любой сфере, в том числе и в генерирующих компаниях энергетике, сравнительные преимущества отражают относительную разность условий при *идентичности* выпускаемого энергетического продукта как результата обособленной производственной деятельности.

Сравнительные преимущества инноваций и технико-технологических преобразований проявляются в *относительных параметрах* и *характеристиках* совокупности показателей конкурентоспособности. Общеизвестно, насколько неоднозначно и изменчиво влияние себестоимости добычи ископаемых ресурсов-энергоносителей и

их потребляемых объемов на производственную деятельность различных энергетических компаний (АЭС, ТЭС, ГЭС). Существенно отличаются показатели капиталоемкости, стоимости инфраструктуры и сроков ее возведения. Также несопоставимы внутрипроизводственные расходы на обслуживание основных и вспомогательных процессов традиционных и конкурирующих с ними новых видов альтернативной генерации. Наконец гарантии безопасности, показатели антропогенного влияния на окружающую среду сопряжены с весьма значительными дополнительными и постоянно растущими затратами финансов на АЭС, ТЭС, их минимизацией на ГЭС и появлением новых видов альтернативной генерации на основе ресурсов окружающей среды, не имеющих топливной составляющей (ВИЭ-генерации).

**Энергетические компании как монопольно-конкурентные структуры.** Рыночные условия, постепенно распространяющиеся на сферу энергетики, — это конкурентная среда внутриотраслевого и глобального противостояния экономических интересов генерирующих компаний. В соответствии с реформой отечественной энергетики генерирующие компании обретают свойства *монопольно-конкурентных структур*, а новые станции альтернативной генерации набирают конкурентные силы. Монопольный статус ведущих энергетических компаний все еще сглаживает непривычную для них жесткость рыночной конкуренции. Рыночная среда и конкуренция изменяют экономическое поведение компаний согласно тенденциям, свойственным общемировой практике.

Во-первых, монопольно-конкурентные структуры энергетической отрасли, как правило, представлены компаниями, относительно обособленными в зависимости от специфики используемых ресурсов природного происхождения (ядерного топлива, углеводородов, водных и других ресурсов, не имеющих топливной составляющей).

Во-вторых, выпускаемый монопольно-конкурентными компаниями конечный энергетический продукт предназначен для *дифференцированных* потребительских запросов: индивидуальных, социально-бытовых, промышленных, общегосударственных. *Идентичность* выпускаемого энергетического продукта — в его одинаковых по своей сути потребительских свойствах.

В-третьих, монопольно-конкурентная деятельность относительно обособленных энергетических компаний распространяется на различные сегменты рынков предложения и спроса: с одной стороны, на ресурсы ископаемого сырья и окружающей среды (без топливной составляющей), с другой — на дифференцированные и обособленные группы потребителей конечного продукта компаний энергетической отрасли. Направления дифференциации и идентичность энергетического продукта могут выглядеть формальными и различаться, напри-

мер по происхождению энергии и теплоты (от АЭС, ТЭС, ГЭС, ВИЭ-генерации), их себестоимости и цене, способу реализации потребителям и сопутствующему сервису, имиджу генерирующих компаний — производителей данного продукта. На мировых рынках конечный продукт генерирующих компаний в отрасли энергетики может отличаться также торговой маркой.

Отечественные аналитики отмечают, что реформирование российской отрасли энергетики не завершено, «современные рынки электроэнергии пока еще очень далеки от классических рынков совершенной конкуренции, что в значительной степени объясняется технологическими особенностями отрасли на данном этапе технического развития, а не конструкцией рыночных механизмов» [5, с. 4].

Формирование российских конкурентных рынков сдерживается значительной долей влияния участия государства в *тарифной* оценке результатов деятельности, основанной на так называемом методе «издержки плюс», т. е. данных о *средних издержках* (ресурсных затратах) с добавлением к ним некоторого фиксированного процентного значения надбавки, по возможности возмещающего эти издержки. Подобный метод считается приемлемым лишь как *метод ограниченной рациональности*, т. е. в той мере, насколько он обеспечивает экономию ограниченных ресурсов в условиях решения множества задач общественной значимости, не сводящихся лишь к поиску «наилучшей цены и прибыльности». Функцию метода ограниченной рациональности в отечественной практике выполняет *нерыночный* механизм — *договоры на поставку мощности* (ДПМ), помимо которых крупным генерирующим компаниям сложно возмещать издержки и привлекать инвестиции. В этих условиях потребители не являются участниками, способными реагировать на колебания цен в режиме реального времени. Механизм ДПМ если и гарантирует результат, то при высоких затратах и при условии, что все финансовые риски и ошибки в размещении объектов и их избыточность ложатся на потребителей [5, с. 24, 25, 27].

Создание *своих рынков* монопольно-конкурентными компаниями связано не столько с рыночным ценообразованием энергетического продукта, сколько с инновациями и коммерциализацией собственных технологических наработок как результатов научно-технических исследований с обоснованной доказанностью их позитивных эффектов. Такие рынки способны реализовать сравнительные преимущества компаний в энергетике, в том числе с инвестиционными вложениями бюджетных средств в НИОКР, ввод инноваций в основной технологический процесс, повышающий стоимость компании; ее эффективный маркетинг на внутреннем и мировом рынках. Инновационное и технологическое превосходство компаний — единственный фактор

их защиты от наступающей конкурентной демократии, способной «перерасти в практику общественного выбора» [1].

**Дискуссии о конкурентоспособности отечественных энергетических компаний и атомарном происхождении тарифов.** В электроэнергетике оценивание гарантированно вносимых долей вклада внутриотраслевых компаний в совокупный баланс энергопотребления служит важнейшим критерием их общественной значимости. Показатель суммарного КПД крупнейших энергетических компаний атомной и тепловой генерации составляет около 80 % энергетического баланса страны. В текущий момент, отмечает профессор Я.И. Штромбах, атомные и тепловые станции по показателю КПД сближаются, удельный вес этих компаний примерно соответствует 38–40 % [3].

Однако в меняющихся рыночных условиях участники дискуссии используют экономические аргументы, с помощью которых, в частности, оценивают себестоимость киловатт-часа, производимого компаниями различного типа и мерой его отражения в тарифной политике. При этом тарифный фактор зачастую переносится преимущественно на оценки генерации энергии АЭС и их «мощное влияние на макроэкономику и параметры инфляции» [6]. В частности, аргументом в пользу *атомарного происхождения тарифов* является снижающее влияние тарифов атомной электроэнергии на общий инфляционный уровень цен в стране.

Сомнения отечественных аналитиков касаются практически всех экономических данных атомной энергетики: стоимости добычи, переработки, обогащения и транспортировки ядерного топлива для АЭС, строительства инфраструктуры, утилизации отходов, зарплат, а также сведений о расходах на обслуживание безопасности хранения радиоактивных отходов (РАО) и др. Критические замечания сводятся к необходимости приводить стоимостные показатели ядерной энергетики в соответствии с их *реальной рыночной стоимостью* [7].

В западных исследованиях [4] показано, что сведения о монопольном статусе функционирующих АЭС в зарубежных странах практически идентичны отечественным. Производимые изменения в иностранной атомной энергетике также не гарантируют искомой социально-экономической эффективности, вызывая «волны» острых критических оценок, соответствующих российским.

Отличительной особенностью отечественных дискуссий является обсуждение конкурентных альтернатив компаний тепловой и атомной электроэнергетики, а также ВИЭ-генерации. В материалах дискуссий зачастую звучат привычные для отечественной практики призывы к правительству осуществить, например, ядерное сдерживание генерирующих компаний «Росэнергоатома» [8].

В частности, крупная тепловая генерация — ООО «Газпром энергохолдинг», ОАО «Фортум», ПАО «Юнипро» и ООО «Сибирская ге-

нерирующая компания» на правительственный уровень вносят предложение лишить АЭС части предоставленных им преференций. Рост выработки АЭС рассматривается конкурентами от ТЭС в качестве фактора, вытесняющего газовые и угольные станции, а также общую добычу этих ресурсов. Например, ввод 20 ГВт атомных мощностей, по мнению конкурентов от ТЭС, сокращает потребление газа на 35–40 млрд м<sup>3</sup> в год. Это снижает стимулы развития когенерации, т. е. одновременной выработки электроэнергии и теплоты, что может привести к закрытию добывающих отраслей в европейской части России и на Урале, считают представители ТЭС. Выдвигаются также требования ревизии капитальных и операционных затрат АЭС. По ним рассчитывается платеж по ДПМ, уровень которого (по цене атомной выработки в Московском регионе) вдвое выше стоимости тепловой выработки. Этот аргумент используется также в качестве угрозы потенциально возможного роста зависимости от импортного уранового топлива, около половины которого «Росэнергоатом» получает из-за рубежа.

Конкуренты от ТЭС предложили Минэкономразвития, ФАС и Минэнерго РФ в первом квартале текущего 2016 г. пересчитать фактические затраты и выручку по ДПМ АЭС и разработать эталонные затраты для них, чтобы вернуть к текущему уровню показатели доли АЭС в структуре общей выработки, предусмотренной энергетической стратегией.

Атомщики высказывают иное мнение, например, о том, что в текущих стоимостных показателях и платежах по ДПМ ТЭС и АЭС различия незначительны, они соизмеримы с ценой в ДПМ тепловых станций, формирующейся на основании фактических, а не плановых затрат. Кроме того, в качестве аргументов представители АЭС приводят данные расчетов Международного энергетического агентства, в соответствии с которыми эксплуатация всех АЭС мира за 45 лет позволила сократить поступление CO<sub>2</sub> в атмосферу на 56 Гт. Это двухлетний мировой объем таких выбросов при нынешних темпах производства электроэнергии всеми источниками. В России за счет 17 % вырабатываемой электроэнергии на АЭС ежегодно купируется (не поступает в атмосферу) 711 млн т CO<sub>2</sub>.

В существующей ситуации генерирующим компаниям предстоит повышать конкурентоспособность «без противопоставления одних видов генерации — другим», на основе поиска между ними «разумного баланса, исходя из того, что конкуренция была, есть и дальше будет только усиливаться» [9].

Конкурентное противостояние набирает силу также со стороны компаний альтернативной (ветровой и солнечной) ВИЭ-генерации, хотя на отечественном рынке их удельный вес в общем балансе энер-

гетики еще незначителен. Аргументы конкурентов от ВИЭ-генерации также связаны преимущественно с тенденцией снижения стоимостных показателей единицы генерируемого ими киловатт-часа и экологической защитой окружающей среды регионов размещения их станций. В приводимых аргументах достаточно убедительны доказательства антропогенного влияния выбросов углекислого газа ТЭС от используемого угля, в том числе и в случае его замены сланцевым газом.

Российские представители ВИЭ-генерации приводят убедительные доводы в пользу того, что в условиях ряда российских регионов ветряная и солнечная энергетика могла бы применяться более эффективно, демонстрируя свою конкурентоспособность. В частности, в Восточной Сибири конкурентное противостояние нарастает по поводу строительства в этом регионе новых крупных ГЭС и АЭС, а также необходимости более активного вытеснения используемого угольного ресурса. В качестве примера приводятся города и регионы с запредельной концентрацией бензопирена, пыли, золы, где могла бы использоваться альтернативная (солнечная, ветровая или иная) генерация электричества и тепла.

**Конкуренция по факторам сравнительных преимуществ внутренних источников развития энергетических компаний.** Конкуренция на отечественном рынке энергетике будет повышаться еще и потому, что в текущий момент существует ее избыток, оцениваемый Сообществом потребителей электроэнергии в 17–20 ГВт, который сохранится в течение 5–6 лет, что со своей стороны усиливает конкуренцию компаний, стремящихся изменить доли их вклада в совокупный баланс энергопотребления [10].

Например, доводы сторонников ВИЭ-генерации, обращенные к правительству, сводятся к предложению «поставить крест на попытках строительства новых экспортно-ориентированных электростанций, будь то на угле, уране или воде» [11]. Высказываются также предположения, что Россия может потерять шанс занять достойное место на мировом рынке «зеленой» энергетике [12].

Отечественные компании, в том числе и экспортно-ориентированные электростанции на ресурсах угля, газа, урана и воды, традиционно формирующие основу гарантированного энергетического баланса в любом регионе государства, начинают сотрудничество и в области «зеленой» энергетике с зарубежными странами Восточно-Азиатского региона. В условиях сформировавшегося общего энергобаланса страны, где удельный вес компаний «на угле, уране или воде» превышает 80 %, предлагаемый конкурентами вариант приобретает вид сценария, подобного попыткам сделать, по словам Й. Шумпетера, «постановку «Гамлета» без принца Датского» [1].



Реально изменить позиции конкурентоспособности в отечественной энергетической отрасли можно с помощью **новых технологических платформ**, являющихся системой инновационных направлений роста конкурентоспособности на технологических преимуществах внутренних источников развития генерирующих компаний. Новые технологические платформы и содержащиеся в них инновационные обновления представлены взаимосвязанной системой мер, сгруппированных вокруг ключевого фактора — безопасности энергетики и используемых ее компаниями природных ресурсов-энергоносителей.

Ниже представлены основные направления технологического обновления ведущих ТЭС, АЭС, а также конкурирующих с ними компаний альтернативной энергетики.

В технологической платформе «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности» [13] учитываются законодательные ограничения по токсичным выбросам и предусматривается внедрение технологий для снижения уровня внешних эффектов антропогенного влияния используемых углеводородов на окружающую среду.

По доступным официальным данным [13], в программе инноваций и технологий предусмотрено внедрение высокоэффективных модульных теплофикационных парогазовых установок с единичной мощностью 100 и 170 МВт для строительства новых и реконструкции действующих ТЭЦ. Их технологические комплексы основаны на применении перспективных теплонасосных установок, обеспечивающих коэффициент использования топлива, близкий к 95–98 %.

В технологическую платформу «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности» включены также:

- технологии с использованием отечественных газотурбинных (ГТУ) и парогазовых (ПГУ) установок с мощностью до 1000 МВт и КПД до 60 %, а также с применением топливных элементов, обеспечивающих КПД до 70 %;

- угольные энергоблоки на суперсверхкритические параметры пара с единичной мощностью 330–660–800 МВт и КПД 44–46 %, перспективные технологии на ультрасверхкритические параметры пара (35 МПа, 700/720 °С), обеспечивающие КПД 51–53 %, и угольные ТЭЦ нового поколения с единичной мощностью 100–200–300 МВт и использованием различных технологий сжигания топлива;

- производство электроэнергии и теплоты на основе использования ПГУ с внутрицикловой газификацией твердого топлива с единичной мощностью 200–400 МВт и КПД до 50 %, а также перспективных технологий с применением топливных элементов, обеспечивающих КПД до 60 %;

- технологии экологически чистого использования твердого топлива и газоочистки, обеспечивающие минимальные выбросы SO<sub>2</sub>,

NO<sub>x</sub>, золовых частиц и других ингредиентов, включая улавливание и последующее захоронение CO<sub>2</sub>;

- высокоэффективные модульные теплофикационные парогазовые установки с единичной мощностью 100 и 170 МВт предполагается использовать для строительства новых и реконструкции действующих ТЭЦ;

- перспективные технологические комплексы с применением тепло-насосных установок, обеспечивающих повышенный коэффициент использования теплоты топлива, а также источников низкопотенциальной теплоты.

Помимо этого предполагается внедрять турбогенераторы с мощностью 60–1000 МВт на базе современных электроизоляционных материалов и технологий, позволяющих увеличить сроки эксплуатации до 50 лет и обеспечить межремонтный срок до 7 лет.

Перечисленные выше экологически чистые технологии для ТЭС и ТЭЦ соответствуют мировому уровню развития науки и техники. К их числу относятся, например, угольный блок на ультракритические параметры пара, гибридные энергоустановки с топливными элементами, ПГУ с тепловыми насосами и использованием низкопотенциального тепла, комбинированный золоуловитель и установка очистки дымовых газов от NO<sub>x</sub> [13].

Новая технологическая платформа «Росэнергоатома» [14] по множеству параметров нарабатываемых технологий также ориентирована на обеспечение гарантий безопасности АЭС и приближение стандартов экологической чистоты ядерной энергетики к параметрам альтернативной ВИЭ-генерации. В этом заключается особо значимый фактор конкурентоспособности атомной энергетики, ее традиционная и достаточно сложная проблема, решению которой посвящены многолетние исследования ученых-атомщиков.

Безопасность АЭС рассматривают прежде всего с точки зрения первоочередной защиты населения в чрезвычайных ситуациях, нераспространения ядерных материалов, совершенствования технологий построения детерминированных аналогов для оптимального проектирования реакторных установок в условиях неопределенности сценариев развития аварийных ситуаций [15, 16]. Их результирующий эффект — многолетнее функционирование АЭС. В настоящее время суммарная мощность десяти АЭС (34 энергоблоков), измеренная их вкладом в общий энергобаланс страны, составляет 25,2 ГВт. Ежегодная выработка — около 180,5 млрд кВт·ч (17 %) при доле их установленной мощности среди других генераций 11 %.

В существующих реакторах с *открытым топливным циклом* применяется дорогостоящее и относительно ограниченное ядерное топливо на основе делящихся изотопов (уран-235 и плутоний-239).

Технологию его использования предполагается изменить в так называемых *быстрых реакторах с замкнутым топливным циклом*.

Инновации и разработки атомщиков технологической платформы *замыкания ядерного топливного цикла* в быстром реакторе заключаются в использовании урана-238, которого в природе значительно больше, чем урана-235, и конвертировании тория-232 в уран-233. Торий-232 также можно использовать в качестве резерва для получения делящегося изотопа, создавая критические массы и сжигая сравнительно большие запасы урана-238 и другие изотопы, захватывающие только быстрые нейтроны. Новой технологической платформой развития ядерной энергетики предусмотрена реализация замыкания ядерного топливного цикла на базе энергоблоков с реактором на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем БН-1200 и водородным энергетическим реактором ВВЭР-ТОИ со смешанным уран-плутониевым топливом. Соответствующие наработки осуществляют на основе специальной программы НИОКР [17], а также предполагаемого строительства энергоблоков АЭС с реакторами на быстрых нейтронах, работающих в ядерно-энергетической системе с замкнутым ядерным топливным циклом.

Повышение конкурентоспособности атомной энергетики предполагается за счет сооружения энергоблоков по технологии ВВЭР и новым проектам с улучшенными технико-экономическими показателями. Решение поставленных задач позволит:

- увеличить сроки службы основного оборудования, в том числе на базе разработки и внедрения новых материалов и технологий;
- создать новые технологии и продукты для энергетических рынков за счет разработки новых реакторных установок;
- обеспечить постепенную технологическую и продуктовую диверсификацию за счет трансфера собственных наработок в новые рынки для АО «Концерн Росэнергоатом» и госкорпорации «Росатом».

Замкнутый топливный цикл создает преимущества и для реакторов на тепловых нейтронах, так как способствует экономии примерно 30 % урана, а коэффициент воспроизводства ядерного топлива может быть доведен до 0,8. В категориях физики ядерного топлива и его использования в условиях замкнутого цикла это означает, что на 100 сгораемых делящихся ядер урана будет нарабатываться до 80 ядер плутония-239.

Данный перспективный проект предназначен прежде всего для отечественной энергетики, но его коммерческий вариант представляет значительный интерес и для мирового рынка. Для многих стран, где базовая энергетика основана на АЭС, замкнутый ядерный цикл в быстром реакторе позволяет удешевить имеющееся реакторное топливо и снизить затраты по обращению с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ), что важно для сравнительных конкурентных пре-

имущества будущих общемировых энергетических технологий. Разработанная топливная стратегия «Росэнергоатома» в перспективе ближайших десятилетий позволит решить также среднесрочную задачу сближения технологий работы существующих тепловых и новых реакторов на *быстрых нейтронах*.

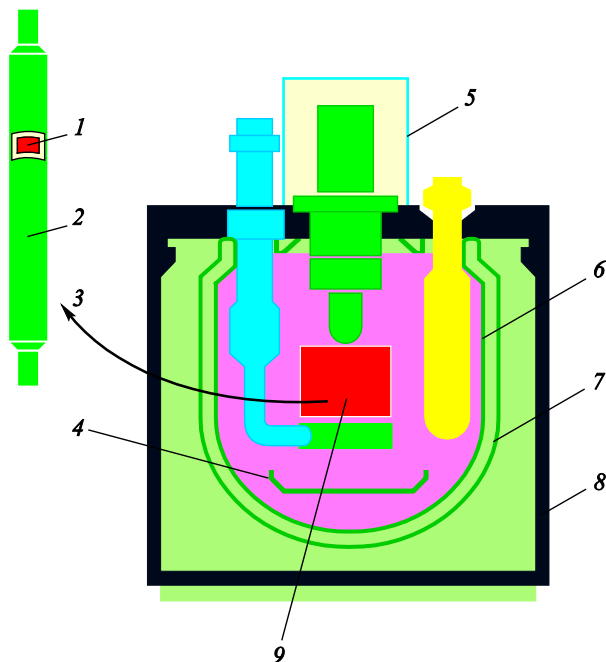
В настоящее время большинство достигнутых конструкционных и технологических решений воплощены в работающей модели реактора БН–600 на Белоярской АЭС, а также при строительстве энергоблока № 4 мощностью 880 МВт и реактором на быстрых нейтронах БН–800. Целью отработки проблемных вопросов замыкания ядерного топливного цикла (ЯТЦ) является создание промышленных технологий производства смешанного уран-плутониевого топлива (МОКС-топлива) ко времени пуска энергоблока и переработка облученного топлива, а также изготовление на его основе новых тепловыделяющих элементов (технология рециклинга). Применение замкнутого ЯТЦ увеличит эффективность использования топлива в десятки раз и во столько же уменьшит количество радиоактивных отходов. Решение данных проблем позволит утилизировать отработанное топливо реакторов на тепловых нейтронах в темпе, определяемом скоростью ввода в эксплуатацию реакторов на быстрых нейтронах.

Руководитель Научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники имени Н.А. Доллежала (НИКИЭТ) профессор Е.О. Адамов считает, что примерно с 2030 г. и до конца XXI столетия вклад АЭС в общий баланс энергоресурсов страны достигнет примерно 50 %, высвобождая для альтернативного использования добываемые нефть, газ и уголь [18].

Некоторые технологические предложения все еще обсуждаются, например применение в новых реакторах натриевого и/или жидкого свинцового охлаждения. Консенсус относительно использования реакторов на быстрых нейтронах достигнут на основе фундаментального обоснования и практического обеспечения глубокоэшелонированной защиты реактора нового типа.

В настоящее время, по словам профессора В.Г. Асмолова [19], постулировать аварию на АЭС, какой бы маловероятной она ни была, можно, лишь досконально изучив пути ее развития при работе быстрого реактора. На каждом этапе должна быть доказана вероятность того, что ситуация поддается контролю, а выброс радиоактивности можно остановить на одном из барьеров *защиты безопасности реактора*. По новым технологическим наработкам защита создается на нескольких барьерах-эшелонах, удерживающих опасность внутри реакторного блока.

На рисунке видно, что БН–800 имеет пять барьеров защиты реактора. Необходимы особые материалы как для внутренней, так и внешней защиты реактора. В частности, требуются теплоносители, способные на протяжении десятков лет противодействовать особо высоким температурам в реакторе и нарабатываемой радиоактивности.



БН-800 и его защитные барьеры:

1 — топливная таблетка (первый барьер); 2 — оболочка ТВЭЛ (второй барьер); 3 — ТВЭЛ; 4 — поддон для удержания фрагментов топлива в гипотетическом случае разрушения активной зоны; 5 — защитный колпак над поворотными пробками; 6 — корпус реактора (третий барьер); 7 — страховочный корпус (четвертый барьер); 8 — бетонная шахта, облицованная сталью (пятый барьер); 9 — активная зона

Барьеры защиты предусмотрены начиная с собственно топливной матрицы, оболочки *тепловыделяющего элемента* (ТВЭЛ), т. е. первого контура в корпусе реактора, а также для его гарантированной защиты на уровне внешней оболочки. Отрабатывают специальные технологии для обеспечения целостности всех барьеров. В системе защитных мер соблюден принцип, по которому каждый барьер рассматривается как последний рубеж гарантированной безопасности. Достижение критерия безопасности реактора и его функциональных частей дает возможность контролировать работу реактора, управляя протекающими в нем процессами в любой ситуации. «Если корпус реактора в случае плавления активной зоны удерживает расплав внутри барьера, ловушку активной зоны можно убрать, — отмечает профессор В.Г. Асмолов. — Но должно быть доказано, что расплав будет удержан» [19]. Таково условие естественной безопасности быстрого реактора (БРЕСТ), которое необходимо гарантировать с помощью разработанных современных технологий безопасности АЭС.

Экономическая эффективность и коммерческая выгода нового типа реактора и сопряженных с ним технологических наработок позволят изменить общую для многих стран проблему дорогостоящего

обращения с РАО ядерного топлива. Собственно, ОЯТ становится коммерчески значимым облученным ядерным топливом, запускаемым во вторичное использование в реакторе замкнутого цикла. Процесс обращения с ОЯТ изменяется и существенно удешевляется, поскольку оно подлежит вторичной загрузке в реактор. Полноценное топливо для нового цикла формируют добавлением к уже облученному ядерному топливу около 10 % обычного урана-238. Коммерческий эффект здесь возможен благодаря двойной экономической выгоде. Во-первых, топливный ресурс при замкнутом цикле может оказаться дешевле, чем уголь и газ. Во-вторых, повторное использование ОЯТ существенно снизит затраты на строительство хранилищ и их обслуживание, поскольку глубокому захоронению будут подлежать лишь высокоактивные отходы.

Анонсируемый бывшим генеральным директором «Росатома» С.В. Кириенко опережающий эффект технологий атомной энергетики, ее глобальная значимость заключается в двух событиях 2016 г. Во-первых, осуществлен энергетический пуск нового поколения «блока 3+» на Нововоронежской АЭС. Во-вторых, в Свердловской области вышел на 100%-ную мощность натриевый блок, быстрый реактор БН-800 с использованием урана-238, что создает возможность применения технологий дожигания отходов ядерного топлива [20].

Использование ВИЭ окружающей среды актуально как для общего повышения конкурентоспособности отечественной энергетики, так и для ее *распределительного развития* применительно к условиям отечественных регионов и их климатическим особенностям. В настоящее время совершенствованию этого направления генерации энергии и теплоты способствуют соответствующие научные наработки: классификация потенциально возможных источников генерации энергии из окружающей среды, исследование потенциала мощностей различных видов ВИЭ-генерации, создание приемлемых по сравнительной эффективности типов моделей генерирующих установок [21].

По классификационным группам источников доказаны перспективы эффективного использования энергии Солнца, Земли, орбитального движения, гравитации, геотермальной энергии. По этим видам источников генерации и расчетам их мощности существуют наработки и обоснования:

- оптимальных типов их инфраструктуры для электрических и тепловых установок;
- преобразователей тепловой энергии Солнца и океана;
- гидроэнергетических, ветровых и волновых установок;
- установок для переработки биомассы;
- геотермальных электрических и тепловых установок, а также приливных станций.

Известным достоинством ВИЭ-генерации является возможность ее территориально рассредоточенного распространения в регионах с соответствующими климатическими условиями, где крупномасштабное строительство генерирующих мощностей неэффективно. Очевидно также, что экономическая эффективность ВИЭ-генерации обусловлена отсутствием топливной составляющей в виде ископаемых энергоресурсов, аргументирована относительная безопасность и экологическая чистота генерирующих станций и установок.

Проблема заключается в том, что практически все виды ВИЭ-генерации требуют значительных площадей для размещения их инфраструктуры, что обуславливает высокую финансовую составляющую ее создания; начальные затраты на обслуживание генерирующих станций и установок до момента их окупаемости также значительны.

К недостаткам могут быть отнесены естественные факторы погодных условий и периодическая загруженность установок и станций. Зависимость их мощности и постоянной генерации связана с погодной и/или сезонной плотностью потока источника и вида энергии в различных географических, климатических условиях, их изменчивостью по регионам. Вместе с тем применение приведенных ниже инновационных разработок для ВИЭ-генерации может сопутствовать росту эффективности их технологий и увеличению конкурентоспособности на отечественном и мировом рынках.

Одним из примеров новой и экологически более эффективной наработки для ветровой генерации является замена традиционных лопастей-крыльев ветровой установки *вращающимися цилиндрами*. Эта инновация основана на известном физикам эффекте Магнуса. Возможности его применения в ветровой генерации позволяют «снижать инфразвук и генерировать киловатты даже при слабом ветре» [22].

Другой пример — инновационные наработки для солнечной генерации в форме *гибких солнечных батарей-аккумуляторов*. Они в 3 раза дешевле аналога из кремния и пригодны к разворачиванию по типу рулона на любой, в том числе изогнутой поверхности. Каждый элемент-«сэндвич» гибкой солнечной батареи в 500 нм состоит из 8 слоев:

- 1) поверхности солнечного элемента;
- 2) подложки;
- 3) композитного слоя для «передачи» электронов;
- 4) слоя полупроводникового полимера для передачи положительных зарядов;
- 5) нанотрубок;
- 6) еще одного слоя полупроводникового полимера для передачи положительных зарядов;
- 7) слоя особого, сравнительно дешевого материала, именуемого перовскитом;
- 8) металла.

КПД такого элемента-«сэндвича» достигает 21,3 %, т. е. поглощается весь спектр видимого солнечного света, что превышает в 6–7 раз предел его поглощения дорогостоящими кремниевыми батареями [23].

Преимущества компаний, использующих ВИЭ-генерацию, заслуживают изучения и бюджетной поддержки для ее использования в форме так называемой распределенной энергетики, размещаемой по отдаленным территориям и регионам с подходящими погодными климатическими условиями.

Компании ВИЭ-генерации во многом опираются на собственный инвестиционный потенциал для создания инфраструктуры и приобретения современных технико-технологических усовершенствований. Начавшееся их сотрудничество, например, с «Росэнергоатомом» позволяет совмещать экономический потенциал технико-технологических преимуществ, бюджетную поддержку федеральных и региональных структур, а также привлекать инвестиционный потенциал частного бизнеса.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шумпетер Й. *Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия. Антология экономической мысли.* Москва, Эксмо, 2008, с. 462.
- [2] Портер М. *Конкурентное преимущество.* Москва, Альпина Бизнес Букс, 2008, с. 243, 712.
- [3] Атжанов Р. От революции к эволюции. *В мире науки.*  
URL: <http://www.sci-gu.org/> (дата обращения 21.09.2016).
- [4] Томас С. Экономика ядерной энергетики. *Ядерная энергия: миф и реальность*, 2005, № 5.  
URL: [http://ru.boell.org/sites/default/files/downloads/nuclear\\_myth5.pdf](http://ru.boell.org/sites/default/files/downloads/nuclear_myth5.pdf) (дата обращения 26.06.2016).
- [5] Баркин О.Г., Волков И.О., Ясин Е.Г. и др. Электроэнергетика России: проблемы выбора модели развития. *Аналитический доклад к XV Апрельской международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества. Москва, 1–4 апреля 2014 г.* Москва, Издательский дом Высшей школы экономики, 2014, 48 с.  
URL: <https://www.hse.ru/pubs/share/direct/document/119225305> (дата обращения 03.10.2016).
- [6] Кутузова М. Атомарное происхождение тарифа. *Коммерсант.* URL: <http://www.kommersant.ru/doc/2878490> (дата обращения 21.12.2015).
- [7] Ларин В.И. Цена атомного котлована. *Независимая газета.* URL: [http://www.ng.ru/ideas/2013-10-28/5\\_atom.html](http://www.ng.ru/ideas/2013-10-28/5_atom.html) (дата обращения 21.12.2015).
- [8] Скорлыгина Н., Фомичева А. Энергетики требуют ядерного сдерживания. Тепловая генерация выступила против АЭС. *Коммерсант.* URL: <http://www.kommersant.ru/doc/2883000> (дата обращения 24.12.2015).
- [9] Емельяненко А. Атом и солнце с ветром не спорят. Выступление С.В. Кириенко. *Российская газета.* URL: <http://vpk.name/news/156772/> (дата обращения 03.06.2016).



- [10] Лоссан А. Зарядка для экономики. *РБК+*. URL: <http://www.rbcplus.ru/news/57cf68e37a8aa91952066454> (дата обращения 08.09.2016).
- [11] Сидорович В. Как альтернативная энергетика становится выгодной. *Коммерсант*. URL: <http://www.rbc.ru/newspaper/2016/06/30/5773ab2d9a794727f46ccaff> (дата обращения 30.06.2016).
- [12] Соломин В. Какое место на «зеленом» рынке займет Россия. *РБК*. URL: <http://www.rbc.ru/newspaper/2016/07/11/577fa7209a79473f28c59e67> (дата обращения 12.07.2016).
- [13] Новая технологическая платформа «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности». Министерство энергетики РФ. URL: <http://tp-rusenergy.ru/> (дата обращения 03.10.2016).
- [14] Разработка проектов АЭС с реакторами нового поколения. Росэнергоатом. URL: [http://www.rosenergoatom.ru/development/innovative\\_development/project\\_development/](http://www.rosenergoatom.ru/development/innovative_development/project_development/) (дата обращения 03.10.2016).
- [15] Девясилов В.А., Александров А.А., Сушев С.П., Копытов Д.О., Калайдов А.Н. Технология обучения студентов по направлению «Техносферная безопасность» (профилю «Защита в чрезвычайных ситуациях») на кафедре «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э. Баумана. *Безопасность в техносфере*, 2014, № 3, с. 55–59.
- [16] Солонин В.И. *Безопасность и надежность реакторных установок*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996, с. 80.
- [17] Чумаков В. «Дело на ближайшее тысячелетие» — интервью Евгения Олеговича Адамова. *В мире науки*. URL: <http://progvv2020.ru/opinion/delona-blizhayshee-tysyacheletie-int/> (дата обращения 06.10.2016).
- [18] Зотиков О. Главное — исключить аварии, требующие эвакуации населения. *Коммерсант*. URL: <http://www.kommersant.ru/doc/3017833> (дата обращения 06.10.2016).
- [19] Чумаков В. Реакция безопасности. *В мире науки*. URL: <http://www.scientificrussia.ru/partners/rosatom/delo-na-blizhayshee-tysyacheletie> (дата обращения 18.09.2015).
- [20] Латухина К. Атом идет на Восток. *Российская газета*. URL: <https://rg.ru/2016/09/12/kirienko-dolozhil-putinu-o-planah-stroitelstva-aes-v-irane.html> (дата обращения 14.09.2016).
- [21] Захаров М.Н., Омельченко И.Н., Саркисов А.С. *Ситуации инженерно-экономического анализа*. Москва, Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, с. 385–425.
- [22] Емельяненко А. Цилиндры вместо крыльев. *Российская газета*. URL: <https://rg.ru/2016/09/13/reg-szfo/pod-sankt-peterburgom-nachali-ispytyvat-novyy-vetriaka.html> (дата обращения 14.09.2016).
- [23] Медведев Ю. Батареи просят солнца. *Российская газета*. URL: <https://rg.ru/2016/05/24/novye-solnechnye-elementy-ustroili-revoliuciiu-v-alternativnoj-energetike.html> (дата обращения 14.09.2016).

Статья поступила в редакцию 10.10.2016

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Родионова В.Г., Крупнова Т.В. Факторы роста конкурентоспособности и новые технологические платформы в отечественной энергетике. *Гуманитарный вестник*, 2016, вып. 12. <http://dx.doi.org/10.18698/2306-8477-2016-12-402>

**Родионова Валентина Георгиевна** окончила экономический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. Канд. экон. наук, доцент кафедры «Экономика и бизнес» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Лауреат премии Правительства Российской Федерации (2002). Автор 12 научных статей и 38 учебно-методических и научных работ: учебных пособий «Макроэкономика» (2013), «Микро- и макроэкономика» (2015), спецкурса «Управление государственной собственностью» (2001). Соавтор учебника «Экономика», издаваемого с 1990 г. по настоящее время кафедрой «Экономика и бизнес» МГТУ им. Н.Э. Баумана, а также учебника «Микроэкономика», издаваемого с 2004 г. по настоящее время Финансовой академией при Правительстве РФ. Область научных интересов — инновации, информационные технологии, общественная значимость космической сферы деятельности, экономика, промышленность и высокие технологии. e-mail: avtogo2@mail.ru

**Крупнова Татьяна Владимировна** — студентка 5-го курса факультета «Энергетическое машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана, исследователь энергетического машиностроения. Область научных интересов — инновации, информационно-коммуникативные технологии, факторы конкурентоспособности как основа технологического прогресса и развития российской энергетики. e-mail: krupnova2011@gmail.com

## Factors of competitiveness growth and new technology platforms in domestic power industry

© V.G. Rodionova, T.V. Krupnova

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

*The article discusses the aspects of increasing competitiveness of Russian companies in the energy sector. It is noted that due to the market conditions the traditional exclusive domestic electric power companies acquire the updated status of monopoly-competitive structures. The views of industry analysts and representatives of generating companies participating in the competitive process are considered. It is concluded that the increase in the competitiveness of industrial companies is a natural and positive process, which future prospects are determined by the benefits of innovative solutions in the framework of formed technical and technological platforms and their implementation in practice of the energy sector.*

**Keywords:** base load, externalities, closed fuel cycle, competitiveness, monopoly-competitive structures, comparative advantage, disposal of waste, industrial and radioactive waste, energy balance

### REFERENCES

- [1] Schumpeter J.A. *Capitalism, Socialism and Democracy*. London, George Allen & Unwin Publ., 1976. [In Russ.: Schumpeter J.A. Teoriya ekonomicheskogo razvitiya. Kapitalizm, sotsializm i demokratiya. Antologiya ekonomicheskoy mysli. Moscow, Eksmo Publ., 2008, 462 p.]
- [2] Porter M.E. *The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. NY, Free Press, 1998. [In Russ.: Porter M. Konkurentnoe preimushchestvo. Moscow, Alpina Biznes Buks Publ., 2008, pp. 243, 712].
- [3] Atzhanov R. *V mire nauki — In the world of science*, 2015, September 16. Available at: <http://www.sci-ru.org/> (accessed September 21, 2016).
- [4] Thomas S. The Economics of Nuclear Power. *Nuclear Power: Myths and Reality*. Nuclear Issues Paper No. 5, Heinrich Böll Foundation Publ., No. 2, December 2005. [In Russ.: Tomas S. Ekonomika yadernoy energetiki. Publikatsiya, posvyashchennaya yadernym problemam no. 5. Yadernaya energiya: mif i realnost. Moscow, Fond imeni Genrikha Bellya – Russian representative office Publ., 2005, dekabr, no. 5]. Available at: [http://ru.boell.org/sites/default/files/downloads/nuclear\\_myth5.pdf](http://ru.boell.org/sites/default/files/downloads/nuclear_myth5.pdf) (accessed June 26, 2016).
- [5] Barkin O.G., Wolkov I.O., Yasin E.G., et al. Electroenergetika Rossii: problemy vybora modeli razvitiya [Russian electric power industry: the problems of choosing the model of development]. *Analiticheskiy doklad k XV aprelyskoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva. Moscow, 1–4 aprelya 2014 g. Moskva* [Analytical report for April fifteenth international scientific conference on the development of economy and society. Moscow, April 1–4, 2014]. Moscow, Vysshaya shkola ekonomiki Publ., 2014, p. 48. Available at: <https://www.hse.ru/data/2014/03/25/1318951674/> (accessed October 6, 2016).
- [6] Kutuzova M. *Kommersant. Energetika. Prilozhenie — Kommersant. Power. Appendix* no. 233, 17.12.2015, p. 15. Available at: <http://www.kommersant.ru/doc/2878490> (accessed December 21, 2015).

- [7] Larin V.I. *Nezavisimaya gazeta — Independent newspaper*, October 28, 2013. Available at: [http://www.ng.ru/ideas/2013-10-28/5\\_atom.html](http://www.ng.ru/ideas/2013-10-28/5_atom.html) (accessed December 21, 2015).
- [8] Skorlygina N., Fomicheva A. *Kommersant — Kommersant*, December 24, 2015.) Available at: <http://www.kommersant.ru/doc/2883000> (accessed December 24, 2015).
- [9] Emelyanenko A. Atom i solntse s vetrom ne sporyat [Atom and the Sun do not argue with the wind]. Vystuplenie S.V. Kirienko [Speech of S.V. Kirienko]. *Rossiyskaya gazeta — Russian newspaper*. No. 120 (6988), June 3, 2016. p. 6. Available at: <http://vpk.name/news/156772/> (accessed June 3, 2016).
- [10] Lossan A. Zaryadka dlya ekonomiki. Elektroenergetika [Daily dozen for the economy. Electric power industry]. *RBC+*, 8.09.2016, no. 164 (2420), pp. 1–4. Available at: <http://www.rbc.ru/> (accessed September 08, 2016).
- [11] Sidorovich V. *Kommersant — Kommersant*, 30.06.2016, no. 114 (2370), p. 13. Available at: <http://www.kommersant.ru/> (accessed July 30, 2016).
- [12] Solomin V. Kakoe mesto na “zelenom” rynke займет Rossiya [Place which Russian will take in the “green” market]. *RBC*, July 11, 2016, no. 121 (2377), p. 7. Available at: <http://www.rbc.ru/> (accessed July 12, 2016).
- [13] *Novaya tekhnologicheskaya platforma “Ekologicheskii chistaya teplovaya energetika vysokoy effektivnosti”* [New technological platform “Environmentally friendly high efficient thermal power industry”]. *Ministry of energy of the Russian Federation*. Available at: <http://tp-rusenergy.ru/> (accessed October 03, 2016).
- [14] *Razrabotka proektov AES s reaktorami novogo pokoleniya* [The development of nuclear power projects with a new generation of reactors]. *Rosenergoatom*. Available at: [http://www.rosenergoatom.ru/development/innovative\\_development/project\\_development/](http://www.rosenergoatom.ru/development/innovative_development/project_development/) (дата обращения 03.10.2016).
- [15] Devyasilov V.A., Aleksandrov A.A., Sushchev S.P., Kopytov D.O., Kalaidov A.N. *Bezopasnost v tekhnosfere — Safety in Technosphere*, 2014, no. 3, pp. 55–59.
- [16] Solonin V.I. *Bezopasnost i nadezhnost reaktornykh ustanovok* [Safety and reliability of reactor facilities]. Moscow, BMSTU Publ., 1996, 80 p.
- [17] Chumakov V. *V mire nauki — In the world of science*. Available at: <http://proryv2020.ru/opinion/delo-na-blizhayshee-tsyacheletie-int/> (дата обращения 06.10.2016).
- [18] Zotikov O. Glavnoe — iskluchit аварии, trebuyushchie evakuatsii naseleniya [The main thing is to exclude accidents requiring evacuation]. *Kommersant — Kommersant*, Available at: <http://www.kommersant.ru/doc/3017833> (accessed October 06, 2016).
- [19] Chumakov V. *V mire nauki — In the world of science*. Available at: <http://www.scientificrussia.ru/partners/rosatom/delo-na-blizhayshee-tsyacheletie> (accessed September 18, 2015).
- [20] Latukhina K. Atom idet na Vostok [An atom goes to the East]. *Rossiyskaya gazeta — Russian newspaper*, 13.09.2016, no. 205 (7073), p. 2. Available at: <https://rg.ru/2016/09/12/kirienko-dolozhil-putinu-o-planah-stroitelstva-aes-v-irane.html> (accessed September 14, 2016.)
- [21] Zaxarov M.N., Omelchenko I.N., Sarkisov A.S. *Situatsii inzhenerno-ekonomicheskogo analiza* [Situations in engineering and economic analysis]. Moscow, BMSTU Publ., 2014, pp. 385–425.
- [22] Emelyanenko A. Tsilindry vmesto krylev [Cylinders instead of wings]. *Rossiyskaya gazeta — Russian newspaper*, Available at: <https://rg.ru/2016/09/13/reg-szfo/pod-sankt-peterburgom-nachali-ispytyvat-novyj-tip-vetriaka.html> (accessed September 14, 2016).

- [23] Medvedev Yu. Batarei prosyat solntsa [Batteries ask for sun]. *Rossiyskaya gazeta* — Russian newspaper, Available at: <https://rg.ru/2016/05/24/novye-solnechnye-elementy-ustroili-revoliuciiu-v-alternativnoj-energetike.html> (accessed September 14, 2016).

**Rodionova V.G.** graduated from Lomonosov Moscow State University. Cand. Sci. (Economics), Associate Professor, Department of Economics and Business, Bauman Moscow State Technical University. Winner of the Russian Federation Government Prize (2002). Author of 12 research papers and 38 courseware and scientific publications. Research interests — innovation, information technologies, the social significance of the cosmic sphere of activity, economy, industry and high technology. e-mail: avrora2@mail.ru

**Krupnova T.V.**, 5th year student, Department of Refrigeration, Cryogenics, Air Conditioning and Life Support Systems, Bauman Moscow State Technical University; power engineering researcher. Research interests — innovation, information and communication technologies, factors of competitiveness as the basis of technological progress and development of the Russian energy sector. e-mail: krupnova2011@gmail.com