

DOI: 10.19181/smtp.2022.4.1.6

ЭНЕРГОПЕРЕХОД: ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ПОВЕСТКИ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ РОССИЙСКОЙ НАУКИ

Шепелев Геннадий Васильевич¹

¹Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены подходы к формированию повестки научных исследований по переходу к низкоуглеродной энергетике в Российской Федерации. Проведён анализ технических, экономических, экологических и политических аспектов проблемы выбора приоритетов развития малоуглеродной энергетики и, соответственно, выбора приоритетов организации научных исследований по энергопереходу. Проведён анализ локальных дефицитов энергии как основы постановки задачи перехода к экологической повестке. Рассмотрена роль различных энергоносителей и их функции в цепочках генерации, транспортировки, накопления и потребления энергии. Сделан вывод о наибольшей перспективности для Российской Федерации разработки технологий улавливания, захоронения и переработки углекислого газа и других парниковых газов. Предложены основные направления по организации научно-технических исследований и экспертно-аналитического обеспечения политических дискуссий о направлениях развития низкоуглеродной энергетики.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

низкоуглеродная энергетика, энергопереход, цепочки производства транспортировки, накопления и потребления энергии, улавливание и переработка углекислого газа

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Шепелев Г. В. Энергопереход: подходы к формированию повестки исследований для российской науки // Управление наукой: теория и практика. 2022. Т. 4, № 1. С. 101–121.

DOI: 10.19181/sntp.2022.4.1.6

ВВЕДЕНИЕ

В последние несколько десятков лет происходит повышение температуры атмосферы – так называемое глобальное потепление. Считается, что причиной этого является увеличение концентрации CO_2 в атмосфере, которое происходит из-за увеличения потребления углеводородных энерго-ресурсов [1].

CO_2 является парниковым газом, и увеличение его концентрации приводит к дополнительному удержанию инфракрасного излучения, идущего от Земли в космическое пространство. Следствием глобального потепления может стать таяние ледников, повышение уровня океана и затопление части суши, в том числе на густонаселённых территориях Европы. Для предотвращения дальнейшего нагрева атмосферы предлагается ограничить использование углеводородов в энергетике, заменив их на возобновляемые источники энергии (ВИЭ), в первую очередь – энергию ветра и солнца.

Программы перехода на ВИЭ, реализованные в США и Европе, показали, что такая замена приводит к неустойчивости энергетических систем, локальным дефицитам энергии, росту цен на энергоносители. Как следствие, для предотвращения чрезвычайных ситуаций приходится частично возвращаться к использованию «грязных» источников энергии.

Несмотря на эти негативные явления, ясно, что переход на новые источники энергии стал необратимым процессом и возврата к прежней структуре энергоснабжения не будет. Как следствие такого подхода в последнее время в нашей стране принято несколько стратегических документов в области энергетики¹, ряд крупных компаний реализуют пилотные проекты в области водородной энергетики [2], в экспертном сообществе проходит обсуждение последствий для российской экономики при введении пошлин на «углеродный след» для различных видов продукции.

В то же время большинство российских экспертов считают, что для России с её климатом переход на ВИЭ может привести к достаточно серьёзным проблемам в экономике и социальной сфере². Россия является энергоизбыточной

¹ Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года»; Распоряжение Правительства РФ от 01.06.2021 № 1447-р «Об утверждении Плана мероприятий по реализации Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года»; Распоряжение Правительства РФ от 12.10.2020 № 2634-р «Об утверждении Плана мероприятий “Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года”»; Распоряжение Правительства РФ от 05.08.2021 № 2162-р «Об утверждении “Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации”»; Постановление Правительства РФ от 21.09.2021 № 1587 «Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зелёного) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации проектов устойчивого (в том числе зелёного) развития в Российской Федерации»; Распоряжение Правительства РФ от 14.07.2021 № 1912-р «Об утверждении целей и основных направлений устойчивого (в том числе зелёного) развития Российской Федерации».

² «Другого ответа на изменение климата человечество пока не придумало». Андрей Белоусов об общих подходах РФ к процессу декарбонизации экономики // Коммерсантъ : [сайт]. 2021. 18 октября. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5038967> (дата обращения: 15.02.2022).

страной и специализируется на производстве продукции, требующей больших удельных затрат энергии, – металлургии, алюминиевой промышленности и т. п. Введение трансграничных пошлин на выброс парниковых газов может привести к удорожанию продукции и снижению её конкурентоспособности. Очевидно, что страны, специализирующиеся на менее энергоёмких производствах, получают конкурентные преимущества, позволяющие им часть прибыли пустить на дорогостоящие альтернативные источники энергии и ещё более снизить конкурентоспособность энергоизбыточных стран и регионов.

Масштабный переход на новые источники энергии требует соответствующего научно-технического обеспечения. Поэтому вопрос формирования научно-технической политики в этой сфере становится весьма актуальным.

На этом фоне в России оживились научные дискуссии, проводятся совещания, создаются новые структуры – карбоновые полигоны, центры «превосходства» и т. п. При этом в основном принимаются повестка и подходы, предлагаемые за рубежом, – переход на ВИЭ, водородную энергетику, снижение «углеродного следа» в различных производственных процессах. С учётом того, что интересы зарубежных и российских бизнесменов зачастую противоположны, представляется полезным проанализировать интересы разных сторон и предлагаемых решений с точки зрения того, как они должны трансформироваться в повестку научных исследований именно российских научных организаций.

Даже на уровне постановки целей перехода на новые источники энергии наблюдаются разные взгляды – от максимально радикальных, когда «чистым» признаётся только ограниченный набор источников (энергия солнца и ветра), до умеренных, когда, например, природный газ считается допустимым источником, хотя бы на ограниченное время. Это сильно осложняет принятие решений о направлениях научных исследований не только для чиновников, но и для научных организаций. С учётом ограниченности ресурсов на научные исследования ошибка в выборе приоритетов может привести в обозримом будущем к потере конкурентных преимуществ России и, как следствие, к серьёзным экономическим потерям.

Сроки энергоперехода в различных странах намечаются на 2050–2060-е годы. За это время должны смениться несколько научно-технических подходов к проблеме. Если первые – ближайшие изменения – будут приниматься на основании существующих заделов, то решения, которые будут реализовываться в 50–60-х годах, в настоящее время должны находиться в стадии поисковых разработок. Поэтому в данной работе будет проведён анализ возможных направлений научных исследований по зелёной энергетике в России исходя из самых общих соображений. Для этого будут приведены общеизвестные данные в популярном изложении. Для специалистов технической направленности это может показаться излишним, но для экономистов это поможет восполнить недостаток информации по обсуждаемому вопросу, поэтому для полноты представления эти данные будут приведены в приложении к статье.

АНАЛИЗ ПОСТАНОВКИ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОПЕРЕХОДА

ДЕФИЦИТ РЕСУРСОВ КАК ПОВОД ДЛЯ РАЗВИТИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В статье [3] были приведены данные в пользу того, что научно-технические революции происходили тогда, когда человечество сталкивалось с дефицитом тех или иных жизненно важных ресурсов. Именно такие дефициты приводили к тому, что научные знания (зачастую известные задолго до таких революций) и научно-технические решения, созданные на их основе, начинали активно использоваться в промышленности и приводили к быстрому росту производительности труда и, как следствие, развитию человеческого общества. В качестве общеизвестных примеров можно привести аграрную революцию, когда переход от собирательства и охоты к оседлому земледелию привёл к расширению производства продуктов питания и увеличению численности человечества. Промышленные революции XVIII – XIX века – за счёт использования пара и машин на основе паровых двигателей повысилась производительность труда, которая породила поступательное развитие по многим направлениям человеческой деятельности и т. д. В известной работе Медоу [4] рассмотрены ограничения по различным ресурсам в новейшее время. На основе анализа возникающих дефицитов была провозглашена экологическая революция, одно из проявлений которой мы, по-видимому, сейчас и наблюдаем.

Вся эволюция человека – это история вовлечения в хозяйственный оборот всё новых и новых ресурсов, отсутствие или дефицит которых сдерживает развитие. Например, дефицит физической силы человека привёл последовательно к использованию силы домашних животных, силы воды, ветра, пара, затем – к использованию двигателей внутреннего сгорания и электричества. Таким образом, одна из линий развития ресурсов связана с ростом энерговооружённости человека. Доступ к новому энергетическому ресурсу обеспечивал конкурентные преимущества их владельцам – можно проследить, как переход с одного вида энергии на другой приводил к упадку одних государств и выходу в лидеры других. Энерговооружённость чётко коррелирует с уровнем развития стран [4].

В настоящее время ряд развитых стран испытывают дефицит собственных энергетических ресурсов, то есть для них дефицит является реальностью уже сейчас. В целом пока общего дефицита нет, но экологическая повестка, требующая ограничения использования углеводородов в качестве источника энергии, может привести к созданию искусственного дефицита энергии уже в глобальных масштабах.

Такой безоглядный переход, естественно, не поддерживается энергоизбыточными странами, а также странами, которые не могут профинансировать переход на низкоуглеродную энергетику и в силу этого могут оказаться в зависимости от технологий и финансирования со стороны развитых стран.

Кроме того, переход на низкоуглеродную генерацию может привести к различного рода дефицитам в смежных отраслях – уже предсказываются

дефициты металлов, которые используются в аккумуляторах, катализаторах и других устройствах для водородной энергетики.

Из краткого анализа ситуации видно, что проблема перехода на низкоуглеродную энергетику (далее для простоты будем употреблять слово энергопереход) связана не только с техническими аспектами того или иного варианта генерации энергии, но и с экологическими, экономическими и политическими соображениями, которые используют сторонники и противники энергоперехода. Рассмотрим каждый из этих аспектов более детально.

ТЕХНИЧЕСКИЙ АСПЕКТ – ЦЕПочки ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Во все времена производство энергии в том или ином виде было основополагающим в производственной деятельности человека. В Приложении 1 приведены основные виды энергии, используемые человеком в своей деятельности. Перечисленные в таблице варианты применения не претендуют на исчерпывающую полноту и служат лишь для иллюстрации обсуждаемых подходов. Энергоресурсы, потребляемые человеком, редко используются непосредственно в первоначальном виде. На рис. 1 показано движение энергии от добычи энергоносителя к конечному потребителю. На этом пути первичный энергоресурс может транспортироваться, накапливаться, переводиться из одного вида энергии в другие. Для разных ресурсов и их применений длина цепочки может сильно различаться. В качестве иллюстрации рассмотрим несколько примеров.

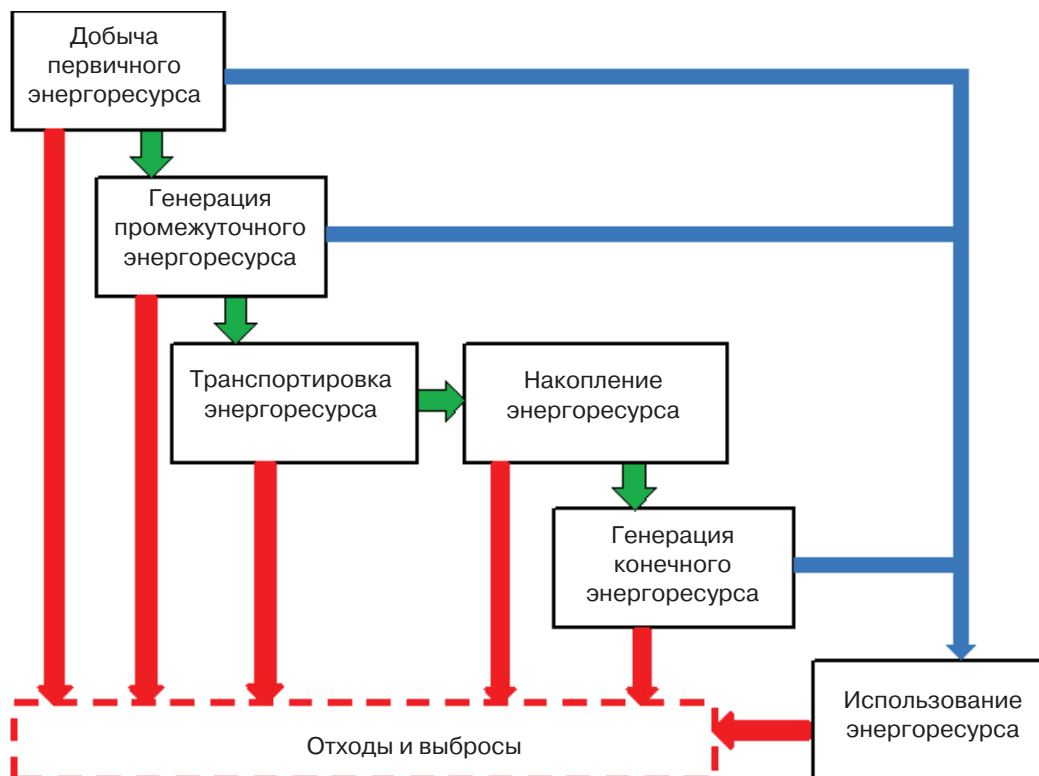


Рис. 1. Цепочка потребления энергии.

Дрова, например, – один из первых энергоносителей – после этапа добычи перевозились и складировались вблизи места использования. Потери при перевозке и хранении обычно не представляли значимой величины. По мере необходимости дрова использовались для обогрева жилища, приготовления пищи.

Один из современных источников энергии – солнечная генерация. В качестве первичного энергоресурса в этом примере примем электрическую энергию, вырабатываемую солнечной батареей. Эта энергия может быть либо использована сразу после генерации для освещения, питания двигателей и т. п. (это обозначает на рисунке синяя стрелка от верхнего левого прямоугольника к прямоугольнику в правом нижнем углу), либо использована для производства *промежуточного ресурса*, например, водорода (зелёная стрелка от верхнего левого прямоугольника, направленная вертикально вниз). При добыче и преобразовании первичного ресурса могут возникать потери за счёт неоптимальной работы устройств или за счёт потерь при преобразованиях из одного вида энергии в другой (красная стрелка от верхнего левого прямоугольника, направленная вертикально вниз к штриховому прямоугольнику внизу рисунка).

В первом случае потери энергии минимальны и определяются коэффициентом полезного действия двигателя. Во втором случае при использовании современных электролизеров в химическую энергию водорода перейдёт от 40 до 60% исходной электрической энергии. Водород может быть перевезён к месту потребления (это может быть трубопроводный транспорт, либо перевозка в газгольдерах) и запасён в ёмкостях, если его потребление планируется в более поздние сроки. При перевозке и хранении водорода возникают потери, которые в силу его высокой летучести могут достигать 20–30% на каждом этапе.

Если использование водорода предполагается в виде электрической энергии, то из устройств накопления водород поступает в генератор электричества. Это может быть, например, турбина или топливный элемент. КПД топливного элемента может составлять до 70% (обычно до 50%). Таким образом, если суммировать все потери по цепочке, до конечного потребителя дойдёт не более 15–20% энергии, произведённой солнечной батареей.

Для сравнения рассмотрим цепочку использования самого «грязного» энергоносителя – угля. Добыча первичного ресурса заключается в механическом извлечении угля из земли открытым или шахтным способом и в отдельных случаях – его обогащении. Этот продукт может непосредственно перевозиться и складироваться, то есть генерация промежуточного ресурса не требуется. При перевозке и хранении могут возникать потери, которые оцениваются для разных случаев (способа и дальности перевозки) в 10–20% от исходного объёма. В качестве конечного ресурса так же, как в предыдущем примере, рассмотрим электрическую энергию. КПД производства электроэнергии на современных станциях составляет 35% и выше. Если одновременно с этим использовать тепло, то суммарный КПД может достигать 60–70%. Таким образом, до конечного потребителя дойдёт от 30 (только электричество) до 60% (электричество и тепло) исходной энергии.

Самый очевидный вывод из рассмотренного примера – для перехода с угольной цепочки на водородную потребуется генерировать до 6 раз больше исходной энергии.

Это один из факторов (не единственный), которые следует учитывать при анализе экономических аспектов использования различных видов энергии.

Таблица 1

Типовые КПД при преобразовании энергии из одного вида в другой*1

	Механическая	Тепловая	Химическая	Электрическая	Электромагнитная	Атомная
Механическая	≈100	≈100	-	≈70	-*2	-
Тепловая	≈35	-	0 - ≈100	≈3	≈5	-
Химическая	-*3	0 - ≈100	0 - ≈100	≈70	0 - ≈100	-
Электрическая	≈70	≈100	0 - ≈100	≈100	0 - ≈100	-
Электромагнитная	-	0 - ≈100	-		≈20-25	-
Атомная	-	≈100	-	-*3	-	-

*1 Из вида, указанного в правой колонке, в вид, указанный в заголовке столбца.

*2 Черта в ячейке означает, что соответствующая трансформация либо невозможна, либо не имеет практического значения с точки зрения генерации энергии для бытовых и производственных нужд.

*3 Непрямое преобразование осуществляется через тепловую энергию.

Можно рассмотреть различные варианты использования энергии. В качестве иллюстрации в табл. 1 приведены данные по эффективности преобразования энергии из одного вида в другой.

В качестве резюме к разделу, описывающему технические аспекты использования энергии, подчеркнём, что при анализе тех или иных вариантов энергоснабжения следует учитывать не только запасённую энергию в первичном источнике, но и то, насколько просто можно реализовать перемещение, накопление и преобразование рассматриваемого вида энергии.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Техническая эффективность различных цепочек может достаточно сильно различаться. Это, как следствие, будет отражаться на стоимости используемой энергии для потребителя. Если первичные энергоресурсы – солнечный свет, ветер, энергия потоков воды, уголь, газ, нефть – практически бесплатны (созданы природой), то для того, чтобы сделать их доступными в нужном месте и в нужное время, необходимо вложить достаточно серьёзные финансовые ресурсы. Перечислим основные виды затрат.

1) Капитальные затраты:

- производство оборудования для добычи или генерации первичного ресурса;
- создание инфраструктуры для работы оборудования (здания, системы охлаждения, улавливание отходов и выбросов и т. п.);
- инфраструктура для транспортировки энергоносителей (трубопроводы, железные и автомобильные дороги, линии электропередачи и др.).

Капитальные затраты можно характеризовать удельными затратами на один киловатт или мегаватт установленной мощности. Однако такое сравнение следует проводить с учётом особенностей того или иного вида энергии. В частности, для адекватного сравнения целесообразно рассчитывать стоимость киловатта не на этапе генерации, а на уровне конечного потребления с учётом КПД передачи энергии или энергоносителя по всей цепочке.

Для возобновляемых источников необходимо также предусматривать запас по установленной мощности с учётом среднего времени их реальной работы в режиме генерации (например, солнце светит не весь день, ветры дуют не каждый день и не с максимальной интенсивностью и т. д.). Учёт этого фактора может кратно увеличивать объём требуемых мощностей по различным цепочкам на этапе генерации для обеспечения одного и того же уровня потребления [5].

Для примера приведём коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) электростанций ЕЭС России в 2020 году³:

Теплоэлектростанции	41,34%
Гидроэлектростанции	47,33%
Атомные электростанции	81,47%
Ветровые электростанции	27,47%
Солнечные электростанции	15,08%

Видно, что возобновляемые источники для обеспечения сравнимой генерации требуют в 2 – 3 раза большей установленной мощности, чем традиционные источники.

С учётом разных потерь при доставке энергии потребителям эти различия могут быть ещё больше.

2) Текущие затраты:

- на обслуживание оборудования и инфраструктуры,
- закупку сырья и материалов,
- экологические мероприятия и платежи и т. п.

Текущие затраты для сравнения различных источников также следует характеризовать удельными затратами на киловатт-час энергии. Обычно у

³ Коэффициент использования установленной мощности // Википедия : [сайт]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82_%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D1%89%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8#cite_note-%D0%9E%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%822020-15 (дата обращения: 15.02.2022).

потребителя поставщик суммирует все накопленные затраты, но в них могут быть объединены затраты на разные виды энергетических ресурсов, поэтому отдельный анализ для каждого ресурса может быть полезен для принятия решения в пользу того или иного источника.

3) Затраты на утилизацию оборудования и инфраструктуры

До последнего времени эти затраты редко рассматривались при принятии решений о строительстве объектов энергетики. Однако после завершения сроков эксплуатации оборудования или его частей, а также после завершения сроков службы инфраструктуры для генерации и передачи энергии и энергоносителей необходимо провести их демонтаж, утилизацию материалов. Например, элементы конструкций атомных станций могут быть загрязнены радиоактивными материалами и может потребоваться захоронение достаточно большого количества таких отходов. Соответственно, затраты на утилизацию объектов могут быть достаточно велики в сравнении с затратами на их строительство и эксплуатацию.

Этот вид расходов становится актуальным при увеличении масштабов производства энергии, особенно когда в оборудовании используются материалы, которые могут причинить вред человеку или окружающей среде. Наиболее очевидным и известным является вопрос захоронения отработанных ядерных отходов, но и новые варианты несут довольно серьёзные проблемы с захоронением отработавших свой срок лопастей ветрогенераторов, утилизации аккумуляторов и др.

4) Налоговые преференции

Для развития ВИЭ во многих странах вводились налоговые преференции и другие меры стимулирования. Например, повышалась стоимость закупки электроэнергии, генерируемой с использованием ВИЭ, или вводилось требование первоочередной закупки электроэнергии у таких поставщиков. Это не сильно влияло на общую ситуацию, пока доля ВИЭ в общем энергобалансе была небольшой, но с увеличением доли ВИЭ в общем балансе приводило к тому, что электростанции, использующие традиционные энергоносители, становились нерентабельными и закрывались. При этом технические вопросы (например, более высокий коэффициент использования установленной мощности традиционных электростанций) отходили на второй план.

Выводом для данного раздела является то, что при сравнении различных вариантов энергообеспечения, также как при анализе технических вопросов прохождения энергии по цепочке от генерации до потребителя, при анализе экономических показателей необходимо учитывать не только стоимость оборудования для генерации в начале цепочки, но с учётом КПД передачи энергии по цепочке общую приведённую стоимость затрат, обеспечивающих сравнимое по разным вариантам энергообеспечение конечных потребителей.

При этом необходимо учитывать и стоимость последующей утилизации соответствующей инфраструктуры в реальных объёмах. Для этого следует разумно оценивать потенциальный срок службы того или иного вида энергетической инфраструктуры и реальный объём электроэнергии, генерируе-

мый по каждому варианту за срок эксплуатации оборудования. Это кажется очевидным, однако достаточно посмотреть исследования аналитиков, чтобы убедиться, что в вопросах обоснования приемлемости различных вариантов политические соображения часто превалируют над объективностью.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Использование энергии, кроме положительного экономического эффекта, практически всегда приводит к ряду негативных последствий, например, негативному воздействию на окружающую среду. Пока масштабы использования энергии были невелики, последствия могли самоликвидироваться, но с ростом энерговооружённости проблемы начали выходить из-под контроля. В качестве исторического примера можно упомянуть известную проблему конского навоза на улицах крупных городов в конце XIX века. Использование силы лошадей сопровождалось завалами навоза на улицах больших городов. Масштаб проблемы даже обсуждался на международных конференциях [6].

Другой пример возникновения негативных экологических последствий – переход к использованию угля. Его сжигание в печах и каминах приводило к образованию смога, вызванного мельчайшими частицами несгоревшего угля в воздухе. Помимо тумана, который возникал при повышенной влажности воздуха, такие частички вызывали увеличение количества лёгочных заболеваний.

Упомянутые проблемы были решены с переходом на другие виды энергии – бензиновые двигатели (которые, решив проблему навоза, в свою очередь сгенерировали загрязнение воздуха продуктами сгорания бензина), а затем на электрический транспорт.

Следует отметить, что проблема выбросов с внедрением электрического транспорта не была решена радикально, как иногда утверждается в СМИ, просто выбросы от сжигания топлива были вынесены от того места, где проходило использование энергии и находились люди, в удалённую местность с меньшей плотностью населения, где осуществлялась генерация электроэнергии из углеводородов, которая затем подавалась в город для зарядки аккумуляторов «экологически чистых» электромобилей.

Такие методы локального улучшения экологической обстановки за счёт переноса вредных выбросов в другое место работали до тех пор, пока количество выбросов не стало оказывать глобального влияния на экологию всего мира. Дискуссии о степени влияния человеческой деятельности на температуру Земли показывают высокую вероятность того, что это является результатом деятельности человека [7]. Причиной такого потепления объявлена генерация парниковых газов. В качестве основной причины – генерация углекислого газа. В последнее время в качестве ещё одной причины начинают обсуждать метан, который составляет основу природного газа, генерируется животными, выделяется в болотах и при таянии вечной мерзлоты в северных регионах.

Следствием таких дискуссий является предложение перейти на чистые источники энергии – солнечную энергию и энергию ветра. Программы пе-

рехода на низкоуглеродную энергетику принимаются практически всеми странами, не только крупными. В поддержку этого пути развития введены квоты на выброс углекислого газа, которые стали предметом бизнеса, – на начало 2022 года стоимость тонны углекислого газа достигла 80 евро. Таким образом, вопросы экологии переплелись с вопросами экономики, при этом научный анализ проблемы стал предметом политических игр, когда аргументы против господствующей точки зрения просто блокируются в зарубежных средствах массовой информации.

Следует отметить, что основным парниковым газом на Земле является водяной пар, который генерируется во многих технологических процессах, однако пока борьбы за «безводные» технологии со стороны экологов не начато.

Если анализировать аргументы сторонников чистой энергии, к которой безоговорочно относят, например, электрическую, предлагая перевести городской транспорт на электрическую тягу, то можно отметить множество недоговорённостей и однобокого представления аргументов. Выше было показано, что выбросы при генерации электроэнергии при использовании традиционных источников энергии просто выносятся в другое место. Но даже «чистые» источники – солнце и ветер – не являются однозначно таковыми, если анализировать производство оборудования для генерации энергии на их основе и полный цикл использования такого оборудования, включая его утилизацию после завершения использования.

Конкретные оценки влияния на экологию сильно зависят от схемы использования энергии, однако если их провести более или менее аккуратно, то такой «грязный» источник, как атомная энергия, оказывается по степени негативного влияния на уровне чистых солнечных и ветровых технологий [8].

Вывод из сказанного заключается в том, что предлагаемые решения могут оказаться не такими уж оптимальными и, решив одну экологическую проблему, мы сгенерируем новые в других местах. Это следует учитывать при выборе повестки для организации научных исследований, которая будет обсуждаться в следующем разделе.

ПОЛИТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Локальность генерации негативных экологических эффектов позволяет поставить вопрос «Кто виноват?» и, как следствие, – «Кто заплатит за ущерб?». Именно борьба за выгодные для различных игроков ответы началась в этой области.

При анализе влияния политических соображений на вопросы энергоперехода было бы полезно рассмотреть конкурентные преимущества, которыми обладают те или иные страны. Среди основных игроков будут крупнейшие экономики мира, которые в данном вопросе могут выступать как нетто-экспортёры и нетто-импортёры энергии. В первую группу попадают, например, США и Россия, во вторую – Китай, страны Евросоюза, Япония, Индия.

Другой возможный срез для анализа – крупнейшие производственные экономики – генераторы выбросов парниковых газов. Здесь лидеры – США

и Китай. США оказываются в двойственной позиции: с одной стороны, они не могут остаться в стороне от экологической повестки, с другой – попадают под давление экологов, являясь одним из крупнейших производителей выбросов парниковых газов.

В этой статье мы не будем углубляться в анализ этих аспектов. Отметим, что вопрос развития собственных конкурентных преимуществ и попытки снизить конкурентные преимущества соперников – могут стать основой для проведения такого анализа. Частные вопросы, которые требуют анализа позиций: где генерируется энергия или добывается энергоноситель, где потребляется энергия и для чего – для бытовых и коммунальных нужд или для производства, сельского хозяйства и др.

Вопросы введения налога на генерацию парниковых газов следует рассматривать не только как борьбу за экологию (что, естественно, выступает идеологическим обоснованием такого налога), но и с точки зрения конкуренции стран-производителей и потребителей энергии. Важным становится вопрос о привязке платежей за экологический ущерб – к производству или потреблению энергии.

Страны нетто-импортёры энергии заинтересованы в привязке платежей к источнику энергии. Идеологически им выгодно свои возобновляемые источники объявить чистыми, при этом этапы производства и утилизации оборудования либо вынести в другие страны, либо не рассматривать с точки зрения экологического воздействия. Страны нетто-экспортёры энергии поставлены при этом в невыгодную идеологическую позицию – трудно выступать против призыва бороться за экологию всей планеты.

Политическая составляющая хорошо прослеживается в экспертно-аналитических материалах, которые выпускают те или иные участники процесса. Единственная страна, которая не скрывает своего нетолерантного поведения, – США. Разворот Д. Трампа от зелёной повестки в сторону зарабатывания денег на грязных технологиях и обратный разворот Дж. Байдена показывают, что бизнес в США можно делать и на том, и на другом.

ВОЗМОЖНЫЕ ПОСТАНОВКИ ЦЕЛЕЙ ЭНЕРГОПЕРЕХОДА

ГЛОБАЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА – БОРЬБА ЗА ЭКОЛОГИЮ

На рис. 2 представлены возможные направления исследований по снижению экологического воздействия энергетики: в первой колонке максимально широкая постановка проблемы – когда предметом изменений является анализ всех выбросов по сравниваемым энергетическим цепочкам. Во второй колонке – широкая повестка борьбы с парниковыми газами, и в третьей – текущая повестка, когда среди возможных направлений выделен только углекислый газ. В последнее время начинает обсуждаться борьба с выбросами метана, что ставит под давление страны, добывающие природный газ. В этом случае наибольшее давление будут испытывать страны с более затратными техно-

логиями добычи – в первую очередь сланцевыми. Возможно, из-за того, что под давлением окажутся в первую очередь США, вопрос борьбы с выбросами метана пока активно не обсуждается, хотя подготовка к этому ведётся.

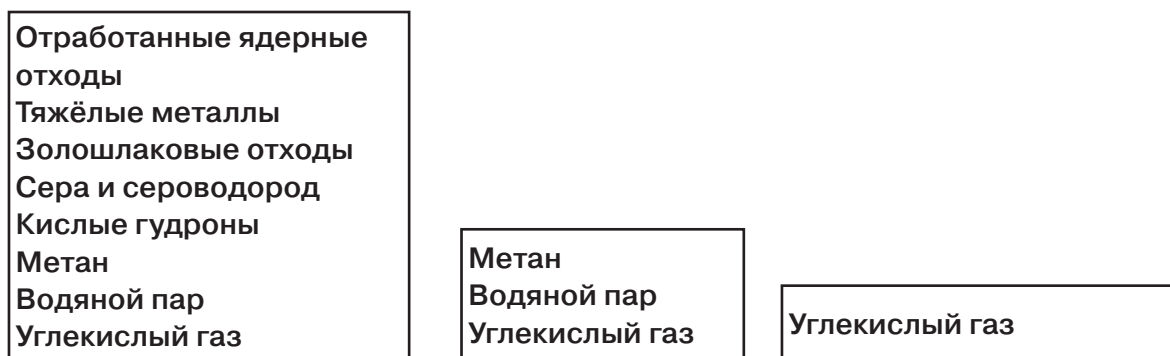


Рис. 2. Возможные направления исследований по снижению экологического воздействия энергетики.

Если принимать в расчёт политическую составляющую энергоперехода, для России важными являются расширение экологической повестки и учёт не только начальных переделов – добычи энергоресурсов и производства первичной электроэнергии, но и вопрос экологического следа от создания и эксплуатации инфраструктуры, связанной с использованием ВИЭ.

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Ещё один аспект проблемы, который начал активно обсуждаться у нас в последнее время, – это обеспечение устойчивого развития. Переход к новым источникам энергии в отдельных странах привёл к потере устойчивости энергосистем, которые не справляются с нестабильностью производства энергии на базе возобновляемых источников. Это ещё раз показывает сложность взаимодействия внутри экономики различных подсистем и риски, связанные с односторонними решениями, даже направленными на благие цели.

Сохранение устойчивости развития предполагает, по существу, учёт всех упомянутых выше аспектов проблемы перехода к низкоуглеродной энергетике.

ЗАДАЧИ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. ПОВЕСТКА ДЛЯ РОССИИ

Рассмотрим, какие из возможных направлений наиболее актуальны для России. С учётом ограничений по ресурсам (научный бюджет России составляет чуть более 2% мирового [9]) и важности энергетического сектора для экономики России выбор направлений исследований при намечающемся переделе рынков является стратегическим вопросом для страны.

С точки зрения сохранения стратегических позиций России как поставщика энергоресурсов основными направлениями, которые могут быть актуальны, являются:

- разработка технологий, позволяющих перевести углеводородные технологии в разряд экологически нейтральных – технологии улавливания и переработки углекислого газа в продукты, обеспечивающие рентабельную работу на внутреннем и международных рынках;
- разработки новых источников энергии, удовлетворяющих возможным перспективным требованиям с точки зрения экологичности;
- разработка технологий безопасной транспортировки и накопления традиционных углеводородных энергоносителей, а также разработка перспективных энергоносителей, обеспечивающих рентабельность, сравнимую с использованием углеводородов;
- разработка технологий, снижающих энергоёмкость крупномасштабных производств, а также минимизирующих негативное влияние на экологию и здоровье человека.

УЛАВЛИВАНИЕ УГЛЕРОДА

Наиболее перспективным направлением, обеспечивающим минимальные затраты на строительство новой инфраструктуры, является работа по переводу традиционных технологий в разряд экологически нейтральных. В первую очередь это технологии работы с выбросами углекислого газа, возникающими при сжигании угля и природного газа. Эти технологии могут достаточно просто встраиваться в действующие процессы, не нарушая целостности имеющейся для их использования инфраструктуры. Такие разработки обеспечивают мягкий переход к углеродной нейтральности экономики и, соответственно, обеспечивают устойчивость экономики при развитии новой инфраструктуры энергообеспечения.

Важное требование к постановке работ в этом направлении – разработка продуктов и процессов, обеспечивающих их рентабельную эксплуатацию, чтобы использование таких технологий не приводило к дополнительным нагрузкам на бизнес при их эксплуатации. По существу, такие технологии должны обеспечивать проектирование замкнутых циклов оборота углерода и углекислого газа, при которых доля газообразной формы будет оставаться в пределах, обеспечивающих снижение парниковых эффектов, связанных с углекислым газом.

Проблемы, связанные с поиском новых источников энергии и технологий работы с ними, включают обеспечение крупных энергопотребителей новыми разработками, обеспечивающими снижение углеродного и – шире – экологического следа за счёт снижения энергоёмкости производств, разработки технологий утилизации выбросов углекислого газа и других отходов, оказывающих негативное влияние на экологию.

Системная проработка технологий утилизации CO₂ может дать кумулятивный эффект по всей производственной цепочке, снижая в будущем давление на производства, использующие продукцию первых переделов.

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

С учётом ожидаемого политического давления со стороны основных потребителей углеводородов необходимо организовать поиск новых масштабных источников энергии. Выбор вариантов здесь невелик и почти все они прорабатываются в России. Среди вариантов, актуальных в кратко- и среднесрочной перспективе, можно отметить атомные технологии.

При постановке таких исследований необходимо ориентироваться на конкурентоспособность предлагаемых решений с учётом природных, погодных, логистических факторов. Одним из ключевых факторов, которые должны приниматься во внимание, является требование экономической рентабельности разрабатываемых процессов генерации энергии.

СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ И НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ И ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

Наряду с поиском и развитием перспективных источников энергии необходимо обеспечить возможность транспортировки энергии или энергоносителей от места генерации к месту потребления. Сейчас эту функцию выполняют линии электропередачи для электрической энергии, система транспортировки нефти и газа для углеводородов.

Предлагаемые новые системы (транспортировка водорода, аммиака) являются более дорогими и несут риски, которые отсутствуют у традиционных систем.

Очевидно, что оптимальная система транспортировки энергии должна минимизировать риски техногенных аварий, оставаясь при этом в приемлемом диапазоне затрат на её создание и функционирование. Поэтому направление поиска энергоносителей, обеспечивающих безопасную и экономически рентабельную систему транспортировки и хранения энергии, является актуальным для России направлением.

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЁМКОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Это традиционные направления исследований, особенно в странах-импортёрах энергии. Дорогая энергия (а пока новые источники существенно дороже традиционной энергии) будет стимулировать повышение эффективности её использования по всем направлениям – в быту и производстве.

Новые системы генерации, транспортировки и хранения энергии, удовлетворяющие повышенным требованиям к экологичности, скорее всего будут дороже существующих как по капитальным, так и по текущим затратам. Как следствие, поиск вариантов снижения энергоёмкости производств останется актуальным и в перспективе.

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПО НАУЧНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭНЕРГОПЕРЕХОДА

Ещё одно важное направление научных исследований связано с обеспечением дискуссий по направлениям развития и правилам учёта выбросов с зарубежными партнёрами. Такая работа потребует консолидации усилий по объединению научных ресурсов различных коллективов, формирования общей постановки проблематики экспертно-аналитических исследований, организации кооперации между научными организациями, создания системы аналитической поддержки принятия решений.

В России довольно много научных коллективов занимаются проблематикой, связанной с энергопереходом, координация их работы позволит избежать дублирования и обеспечит комплексную проработку актуальных для России вопросов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведённый краткий анализ научного обеспечения энергоперехода, безусловно, не претендует на полноту охвата всех связанных с этим проблем. Однако с учётом ведущихся обсуждений о том, как российские предприятия будут встраиваться в будущую реальность, представляется полезным начать дискуссию о перспективных технологиях, которые будут использоваться в этой сфере через 10–20–30 лет. Как известно, в последние годы смена технологий происходит достаточно быстро – производственные технологии обновляются каждые 5–7 лет. Если вести планирование на горизонте 2050–2060-х годов, то к тому времени смена технологий может произойти несколько раз. Это в свою очередь означает, что, кроме воспроизводства современных имеющихся технологий, целесообразно начать поиск по перспективным направлениям, которые будут определять уровень производства в будущем.

Формирование такой перспективной повестки поисковых исследований имеет смысл организовать на базе академических и научно-образовательных организаций, обладающих компетенциями в рассматриваемой области.

Приложение 1

Виды энергии и примеры её использования

Виды энергии		Примеры использования
1	Механическая	
	Ветер	Ветряные мельницы Ветрогенераторы
	Водный поток	Водяные мельницы Турбины высоконапорные и низконапорные
	Волны	Приливные станции Волновые станции
	Потенциальная	Использование подъёма воды или грузов для создания запаса энергии

Виды энергии		Примеры использования
2	Тепловая	Производство (нагрев металлов, химические производства и др.)
	Термальная	Обогрев жилья, теплиц
3	Химическая	
	Биотопливо	
	ископаемые	Создание запасов и транспортировка топлива
	синтезированные	Создание запасов и транспортировка топлива
4	Электричество	Транспортировка энергии
		Электрические машины
		Электрохимия
5	Электромагнитное излучение	
	Солнечная энергия	Первичный источник энергии
	видимый спектр	Освещение
	ИК	Нагрев
	СВЧ-излучение	Нагрев, передача энергии
6	Атомная	
	распад ядер	Атомные станции
	синтез ядер	Термоядерные станции (исследования)

Исторически первыми видами энергии, которыми пользовался человек, были электромагнитное излучение (энергия солнца) и химическая энергия, запасённая в дровах. Эти виды использовались для обогрева и приготовления пищи. Химическая энергия, запасённая в пищевых продуктах, используется для поддержания жизнедеятельности человека.

Со временем стала использоваться кинетическая энергия ветра и потоков воды для преобразования сначала в механическую энергию механизмов, а потом и для выработки электроэнергии.

Одну из научно-технических революций связывают с преобразованием химической энергии топлива сначала в пар, а потом в механическое движение инструмента, машин, вагонов.

Изобретение генераторов тока и электродвигателей привело к расширению использования различных электроинструментов и повышению за счёт этого производительности труда. Это дало в свою очередь толчок к развитию экономики и росту качества жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глобальное потепление на 1,5 °С. Межправительственная группа экспертов по изменению климата, 2019 // IPCC : [сайт]. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_russian.pdf (дата обращения: 15.02.2022).

2. Корпоративные стратегии углеродной нейтральности. Обзор климатических обязательств мировых компаний // Министерство экономического развития Российской Федерации : [сайт]. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/f55d57f8dcbb8ec195b1575e857610dc/03062021.pdf> (дата обращения: 15.02.2022).

3. Шепелев Г. В. О приоритетах научно-технологического развития // Управление наукой: теория и практика. 2020. Т. 2. № 3. С. 16–36. DOI: 10.19181/sntp.2020.2.3.1

4. The limits to growth. A report for the club of Rome's project on the predicament of mankind / D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers, W. W. Behrens III. New York : Universe Books, 1972.

5. Отчёт о функционировании ЕЭС России в 2020 году // Системный оператор Единой Энергетической Системы : [сайт]. URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2021/ups_rep2020.pdf (дата обращения: 15.02.2022).

6. *Morris E.* From Horse Power to Horsepower // ACCESS Magazine. 2007. Spring. № 30. URL: <https://www.accessmagazine.org/wp-content/uploads/sites/7/2016/07/Access-30-02-Horse-Power.pdf> (дата обращения: 15.02.2022).

7. Глобальная климатическая угроза и экономика России: в поисках особого пути // Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО : [сайт]. 2020. Май. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Climate_Primer_RU.pdf (дата обращения: 15.02.2022).

8. Technical assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU) 2020/852 ('Taxonomy Regulation') // European Commission. 2021. URL: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/210329-jrc-report-nuclear-energy-assessment_en.pdf (дата обращения: 15.02.2022).

9. *Шепелев Г. В.* О финансировании научного сектора (межстрановые сопоставления) // Управление наукой: теория и практика. 2021. Т. 3, № 1. С. 15–34. DOI: 10.19181/sntp.2021.3.1.1

Статья поступила в редакцию 11.02.2022.

Одобрена после рецензирования 10.03.2022. Принята к публикации 14.03.2022.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Шепелев Геннадий Васильевич *shepelev-2@mail.ru*

Кандидат физико-математических наук, советник генерального директора, НИИ Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, Москва, Россия

AuthorID РИНЦ: 567080

DOI: 10.19181/sntp.2022.4.1.6

ENERGY TRANSITION: APPROACHES TO THE FORMATION OF RESEARCH AGENDA FOR RUSSIAN SCIENCE

Gennady V. Shepelev¹

¹SRI Federal Research Centre for Projects Evaluation and Consulting Services, Moscow, Russia

Abstract. The approaches to the formation of the agenda of scientific research on the transition to low-carbohydrate energy in the Russian Federation are considered. The analysis of technical,

economic, environmental and political aspects of the problem of choosing priorities for the development of low-carbon energy and, accordingly, the choice of priorities for the organization of scientific research on energy transfer is carried out. The analysis of local energy deficits as the basis for setting the task of transition to the environmental agenda is carried out. The role of various energy carriers and their functions in the chains of generation, transportation, storage and consumption of energy is considered. It is concluded that the development of technologies for the capture, burial and processing of carbon dioxide and other greenhouse gases is the most promising for the Russian Federation. The main directions for the organization of scientific and technical research and expert-analytical support of political discussions on the directions of development of low-carbon energy are proposed.

Keywords: low-carbon energy, energy transfer, chains of production, transportation, storage and consumption of energy, carbon dioxide capture and utilization

For citation: Shepelev, G. V. (2022). Energy Transition: Approaches to the Formation of Research Agenda for Russian Science. *Science Management: Theory and Practice*. Vol. 4, no. 1. P. 101–121.

DOI: 10.19181/smtp.2022.4.1.6

REFERENCES

1. Global warming by 1.5 °C (2019). Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_russian.pdf (accessed 15.02.2022).
2. Korporativnye strategii uglerodnoi neutral'nosti. Obzor klimaticheskikh ob-yazatel'stv mirovykh kompanii [Corporate carbon neutrality strategies. Overview of global companies' climate commitments]. *Ministry of Economic Development of the Russian Federation*. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/f55d57f8dcb-b8ec195b1575e857610dc/03062021.pdf> (accessed 15.02.2022).
3. Shepelev, G. V. (2020). On priorities of scientific and technological develop-ment. *Science Management: Theory and Practice*. Vol. 2, no. 3. P. 16–36. DOI: <https://doi.org/10.19181/smtp.2020.2.3.1>.
4. Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. and Behrens III, W. W. (1972). *The limits to growth. A report for the club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York: Universe Books.
5. Otchet o funktsionirovanii EES Rossii v 2020 godu [Report on the functioning of the UES of Russia in 2020]. (2021). *System Operator of the Unified Energy System*. URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2021/ups_rep2020.pdf (accessed 15.02.2022).
6. Morris, E. (2007). From Horse Power to Horsepower. *ACCESS Magazine*. Spring. № 30. URL: <https://www.accessmagazine.org/wp-content/uploads/sites/7/2016/07/Access-30-02-Horse-Power.pdf> (accessed 15.02.2022).
7. Global'naya klimaticheskaya ugroza i ekonomika Rossii: v poiskakh osobogo puti [The global climate threat and the Russian economy: in search of a special way]. (2020). *Energy Center of the Moscow School of Management SKOLKOVO*. May. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Climate_Primer_RU.pdf (accessed 15.02.2022).

8. Technical assessment of nuclear energy with respect to the ‘do no significant harm’ criteria of Regulation (EU) 2020/852 (‘Taxonomy Regulation’) (2021). *European Commission*. URL: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/210329-jrc-report-nuclear-energy-assessment_en.pdf (accessed 15.02.2022).

9. Shepelev, G. V. (2021). Expenditures on scientific research (cross-country comparisons). *Science Management: Theory and Practice*. Vol. 3, no. 1. P. 15–34. DOI: <https://doi.org/10.19181/smtp.2021.3.1.1>.

The article was submitted on 11.02.2022.

Approved after reviewing 10.03.2022. Accepted for publication 14.03.2022.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Shepelev Gennady *shepelev-2@mail.ru*

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Advisor to Director General, SRI Federal Research Centre for Projects Evaluation and Consulting Services, Moscow, Russia

AuthorID RSCI: 567080