



Перспективы использования тепловых электростанций с малыми модульными атомными реакторами

Устойчивое движение предприятий нефтегазового комплекса России на Восток — в регионы с неразвитой энергетической инфраструктурой, а зачастую с полным её отсутствием в силу того, что там традиционно не велась хозяйственная деятельность, требует особого внимания к развитию локализованной автономной энергетической инфраструктуры, предназначенной для решения задач энергообеспечения предприятий нефтегазового комплекса (НГК) как минимум до начала промышленной добычи углеводородов [1]. Традиционно используемая для этих целей дизельная генерация электроэнергии и тепла обеспечивает очень дорогую энергию, что снижает экономическую эффективность проектов в целом [2]. Усилия по сокращению выбросов парниковых газов в основном сосредоточены на развитии «зелёной» энергетики на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а также технологий энергосбережения и энергоэффективности [1].

При этом некоторые страны заявили о сокращении или полном отказе от атомной энергетики, поскольку она не считается «зелёной» [3], хотя это не соответствует

действительности — с точки зрения выбросов парниковых газов атомная энергетика как раз является «безуглеродной».

Атомные электростанции при нормальной эксплуатации практически не загрязняют природную среду: современные АЭС имеют системы очистки газовых выбросов, которые улавливают почти все радиоактивные вещества. Проблемы обращения с радиоактивными отходами, такие как их хранение, переработка, транспортировка и захоронение, могут быть решены переходом к замкнутому ядерному топливному циклу, что позволит производить электроэнергию практически без отходов. Таким образом, ядерная энергетика является единственным способом многократно увеличить экологически безопасное производство энергии и связанных с ней ресурсов.

Современные АЭС имеют системы очистки газовых выбросов, которые улавливают почти все радиоактивные вещества, поэтому минимально загрязняют окружающую среду

Рецензия эксперта на статью получена 18.09.2024 [The expert review of the article was received on September 18, 2024]

УДК 620.92. Научная специальность: 2.4.5.

Перспективы использования тепловых электростанций с малыми модульными атомными реакторами

Н. Д. Синькевич, магистрант, кафедра проектирования систем транспорта газа; **Р. Ю. Фомин**, магистрант, кафедра возобновляемых источников энергии; **В. В. Бессель**, к.т.н., доцент, профессор кафедры термодинамики и тепловых двигателей, Российский государственный университет (РГУ) нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина (г. Москва)

Рассмотрены основные аспекты малой атомной энергетики, в том числе атомные станции малой мощности (АСММ) и малые модульные реакторы (ММР), включая категории и классификацию реакторов. При этом выделены основные преимущества применения ММР в энергетике и возможность интеграции атомных установок в энергосистемах, основываясь на технологических и экономических показателях. Устойчивое развитие нефтегазового комплекса России неразрывно связано с устойчивым продвижением на Восток страны и в Арктические зоны, где энергетическая инфраструктура недостаточно развита. Поэтому перспективы использования ММР и АСММ с целью энергообеспечения объектов нефтегазового комплекса страны в этих регионах представляются весьма перспективными.

Ключевые слова: малый модульный реактор, атомная станция малой мощности, плавучая атомная тепловая электростанция, атомная энергетика, тепловая энергетика, энергетический переход, низкоуглеродная энергетика, энергообеспечение удалённых объектов нефтегазового комплекса.

UDC 620.92. The number of scientific specialty: 2.4.5.

Prospects of using thermal power plants with small modular nuclear reactors

N. D. Sinkevich, undergraduate student, the Department of Design of Gas Transport Systems; **R. Y. Fomin**, undergraduate student, the Department of Renewable Energy Sources; **V. V. Bessel**, PhD, Associate Professor, the Department of Thermodynamics and Heat Engines, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NRU) (Moscow)

The article reviews the main aspects of small-scale nuclear power, including small nuclear power plants (SNPPs) and small modular reactors (SMRs), including categories and classification of reactors. The main advantages of SMRs in the energy sector and the possibility of integrating nuclear plants into power systems based on technological and economic indicators were highlighted. Sustainable development of Russia's oil and gas complex is inextricably linked to sustainable advancement to the East of the country and to the Arctic zones, where the energy infrastructure is underdeveloped. Therefore, the prospects of using SMR and SNPP for the purpose of energy supply of oil and gas facilities of the country in these regions seem to be very promising.

Keywords: small modular reactor, low-power nuclear power plant, floating nuclear thermal power plant, nuclear energy, thermal energy, energy transition, low-carbon energy, energy supply of remote facilities of the Russian oil and gas complex.

Одним из эффективных направлений уменьшения затрат на выработку электроэнергии может стать использование атомных станций малой мощности (АСММ) последнего поколения. Рациональным местом размещения АСММ являются труднодоступные населённые пункты со сложной схемой доставки топлива и со значительным перспективным ростом потребления электрической энергии [4].

Малый модульный реактор (ММР) или атомная станция малой мощности представляет собой ядерный реактор относительно небольших размеров и мощности (как правило, ММР имеют электрическую мощность менее 300 МВт или тепловую мощность менее 1000 МВт), состоящий из модулей, которые производятся на заводе, а затем перевозятся, собираются и вводятся в эксплуатацию на любой подготовленной площадке [5].

ММР более безопасны по сравнению с традиционными реакторами вследствие малой мощности и низкого внутреннего давления, а также из-за широкого применения в их конструкции пассивных систем безопасности. Кроме того, малым модульным реактором реже требуется перезарядка топлива.



Фото: АО «Атомэнергомаш», атом-групп.ру

❖❖ Водо-водяная реакторная установка «РИТМ-200» физической мощностью 200 МВт

Выделяют категории реакторов:

1. Одноблочные реакторы, которые могут заменить небольшие блоки на ископаемом топливе или быть развёрнуты в качестве распределённой генерации.

2. Многомодульные реакторы, которые могут эксплуатироваться либо в качестве замены мощности базовой нагрузки среднего размера или в распределённой генерации в зависимости от генерирующих мощностей.

3. Мобильные/переносные реакторы, которые в настоящее время предназначены для лёгкого перемещения с места на место, в эту категорию включены и плавающие реакторы.

4. Микромодульные реакторы, которые представляют собой конструкции мощностью менее 10 МВт, часто способные работать в полуавтономном режиме и обладающие улучшенной транспортабельностью по сравнению с более крупными реакторами. Микромодульные реакторы используют широкий спектр технологических подходов, включая технологии четвёртого поколения, и в основном предназначены для автономной работы в удалённых районах, где они, как ожидается, будут конкурентоспособны с про-

чими распространёнными источниками электроэнергии [5].

Реакторы четвёртого поколения можно разделить на два типа: тепловые реакторы (высокотемпературные реакторы, реакторы на расплавах солей, сверхкритические водяные реакторы) и реакторы на быстрых нейтронах (газовый реактор на быстрых нейтронах, реактор на быстрых нейтронах с натриевым охлаждением, свинцовый реактор на быстрых нейтронах) [6]. В табл. 1 приведена классификация реакторов АСММ.

В настоящее время в число стран, активно занимающихся разработкой реакторов четвёртого поколения, входят Австралия, Канада, Китай, Франция, Япония, Россия, Южная Африка, Южная Корея, Швейцария, Великобритания и США. По состоянию на 2023 год разрабатывается более 80 проектов модульных реакторов, а первые блоки ММР находятся в эксплуатации в России и Китае.

В России в настоящее время реализуются перспективные проекты для АМСС, использующие водо-водяные ядерные реакторы. Наиболее активно продвигаются такие разработки, как «РИТМ-200», КЛТ-40С и «Шельф-М».

❖❖ Классификация реакторов, используемых в атомных станциях малой мощности (МАГАТЭ)

табл. 1

Реактор	Хладагент	Температура, °C	Давление, бар	Топливо	Проект
Водо-водяной ядерный реактор (Pressurized Water Reactor, PWR)	вода	300	155	UO ₂	КЛТ-40С, «Шельф-М», «РИТМ-200»
Кипящий водо-водяной реактор (Boiling Water Reactor, BWR)	вода	300	70–75	UO ₂	БК-300
Реактор на быстрых нейтронах с натриевым охлаждением (Sodium-cooled Fast Reactor, SFR)	натрий	500–550	150	U–Zr	ARC-100
Реактор-размножитель (Fast Breeder Reactor, FBR) на основе SFR	натрий	500–550	150	U–Pu–Zr	PRISM
Высокотемпературный ядерный реактор (High-temperature Gas-cooled Reactor, HTGR)	гелий	900–1000	100	UO ₂	HTR-PM
Модульный гелиевый реактор (Gas Turbine Modular Helium Reactor, GT-MHR)	гелий	850	70–75	UO ₂	ГТ-МГР
Реактор на расплавах солей (Molten-salt Reactor, MSR)	фториды	700–800	75–150	U во фторидах	TMSR-LF1
Свинцово-висмутовые быстрые реакторы (Lead-Cooled Fast Reactor, LFR)	свинец или свинец-висмут	480–570	–	U–Pu в мононитриде (СНУП)	«БРЕСТ»

Две реакторные установки КЛТ-40С используются на плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС) «Академик Ломоносов». Вместе они способны обеспечивать в номинальном режиме выдачу в береговые сети 70 МВт электроэнергии и до 50 Гкал/ч тепловой энергии для нагрева теплофикационной воды. Электрическая мощность, выдаваемая в береговую сеть без потребления берегом тепловой энергии, составляет около 76 МВт. В режиме выдачи максимальной тепловой мощности около 146 Гкал/ч электрическая мощность, выдаваемая в береговую сеть, составляет порядка 44 МВт. Плавучий атомный энергоблок (ПЭБ) сможет обеспечивать электроэнергией населённый пункт с численностью населения около 100 тыс. человек [7].

Как и любой другой проект, ПАТЭС имеет шансы на осуществление только

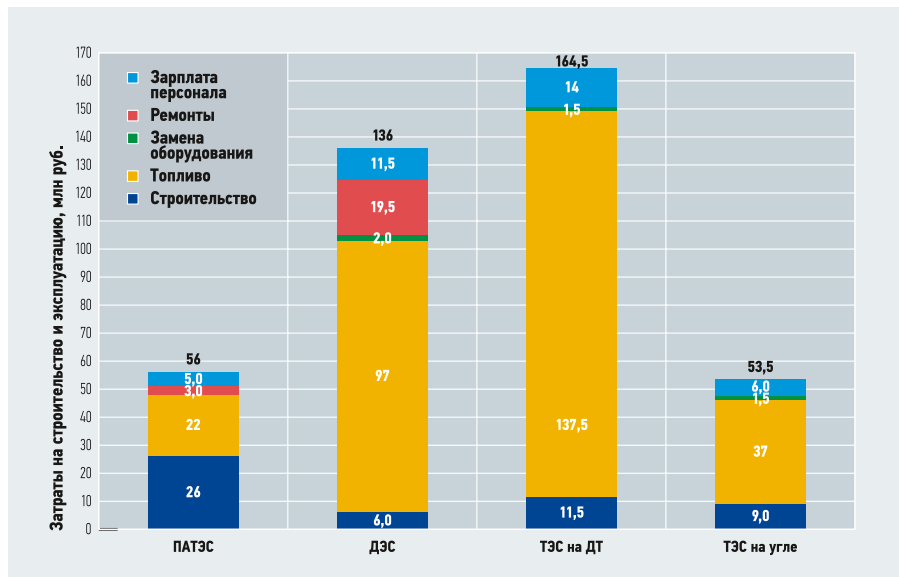


Рис. 1. Затраты на строительство и эксплуатацию в течение 40 лет электростанций различных типов (мощностью 70 МВт) в Чукотском автономном округе



К преимуществам использования ММР можно отнести:

1. Доступ к ядерной энергии в удалённых регионах позволяет снабжать автономные изолированные энергосистемы в удалённых районах, причём ММР разрабатываются с упором на адаптацию использования в различных условиях, учитывая ограничения местности.
2. Замена угольных, мазутных и дизельных электростанций, которые имеют высокую степень износа и низкую эффективность, кроме того, малые атомные станции успешно интегрируются в имеющиеся тепловые и электрические сети, при этом реакторные установки АСММ имеют малую долю выбросов в атмосферу, что способствует декарбонизации энергетической системы.

при наличии экономических преимуществ по сравнению с альтернативными решениями. На рис. 1 на примере выбора варианта электростанции для Чукотского автономного округа показаны капитальные затраты на сооружение станций различных типов (плавучей атомной теплоэлектростанции, дизельной электростанции, теплоэлектростанций на дизельном топливе и на угле) мощностью 70 МВт, а также эксплуатационные затраты за срок их службы (40 лет) [8].

Из рис. 1 видно, что наибольшие капитальные затраты нужны для сооружения ПАТЭС. В то же время атомная станция требует значительно меньших топливных затрат по сравнению со всеми станциями на органическом топливе.

Помимо ПАТЭС особое внимание уделяется использованию малых модульных реакторов в виде наземных станций.



Рис. 2. Реакторная установка КЛТ-40С на ПАТЭС «Академик Ломоносов»

3. Регулирование мощности в интегрированных системах с разными типами генерации, дополнение к переменной выработке от возобновляемых источников энергии, таких как солнечные и ветровые электростанции.

В России реализуются планы создания нескольких пилотных АСММ на различных реакторных технологиях. Первая российская наземная АСММ будет построена в Якутии на базе реакторной установки «РИТМ-200Н» мощностью 55 МВт. Её ввод в эксплуатацию запланирован на 2028 год.

К преимуществам «РИТМ-200» относятся следующие:

- интегральная компоновка основного оборудования — активная зона с парогенератором объединены в едином корпусе;
- первый контур выполнен герметичным с применением сварных соединений, герметичных насосов и арматуры, протяжённость трубопроводов контура сокращена до минимума;
- интегральная компоновка парогенерирующего блока (ПГБ) обеспечивает практически неограниченный радиационный ресурс корпуса, значительно увеличенные резервы времени при возможных за проектных авариях с течью теплоносителя первого контура, в том числе при обессточивании;
- размеры интегрального ПГБ дают возможность транспортировки его корпуса в сборе (с приваренными гидрокамерами) железнодорожным транспортом.

За счёт сборки парогенерирующего блока непосредственно на машиностроительном заводе существенно сокращается время на проведение монтажных работ на заводе-строителе [9].

Основные технические характеристики установки приведены в табл. 2.

Использование ММР имеет огромную перспективу в энергообеспечении населения, как альтернативы котлам на органическом топливе, при наличии исправной сетевой инфраструктуры тепло- и электроснабжения, которая составляет часть затрат, превосходящую возведение отдельных блоков ТЭЦ.



❖ Паровые котлоагрегаты, используемые на ТЭЦ, представляют собой массивную конструкцию высотой более 33 м

В настоящее время в России выводится из эксплуатации большое количество тепловых электростанций, главной причиной вывода является невозможность обслуживания турбоагрегатов. Но вместе с тем часть теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) имеют низкоэффективное устаревшее оборудование паровых котлов. Как пример можно привести ситуацию с Хабаровской ТЭЦ-1, сооружения и оборудование которой устарели и достигли высокой степени износа. Модернизация станции признана нецелесообразной, планируется вывод её из эксплуатации со строительством на той же площадке замещающей Хабаровской ТЭЦ-4. К 2027 году планируется полный вывод из эксплуатации оборудования станции.

Площадка для строительства Хабаровской ТЭЦ-1 была выбрана ещё в 1936 году, но начатое строительство было остановлено в 1941-м. В 1949 году строительство

В настоящее время в РФ выводится из эксплуатации большое количество тепловых электростанций, главной причиной вывода является невозможность обслуживания турбоагрегатов

возобновляется, проект станции перерабатывался в сторону увеличения мощности — вместо исходных 24 МВт запланировали строительство ТЭЦ мощностью 125 МВт (пять агрегатов по 25 МВт). В дальнейшем станция постоянно расширялась, в итоге к 1972 году на ней было установлено девять турбин и 16 котлов разных марок, итого мощность Хабаровской ТЭЦ-1 достигла 485 МВт [10]. На данный момент станция имеет 15 котлов: три ТП-170-100, два БКЗ-160-100, два БКЗ-220-100 и восемь БКЗ-210-140.

Габаритные размеры атомной станции малой мощности «РИТМ-200» сопоставимы с котлом БКЗ-220-100 (диаметр в основании котла около 16 м, высота 33,1 м) и котлами модели ТП-170 (диаметр основания 9,3 м, высота 30,5 м). При этом котлы — морально устаревшие, имеют конструктивные недостатки. Котлы БКЗ-220-100 проектировались в 1960–1970-е годы, когда вопрос о выбросах оксидов азота не был ещё актуален для энергетиков. Именно этим объясняется то обстоятельство, что эти котлы не отвечают современным, постоянно повышающимся требованиям по охране окружающей среды. В принципе, наряду с работами по демонтажу турбин имеет смысл производить замену паровых котлов [11].

Что касается топливной составляющей «РИТМ-200», то интервал между перегрузками топлива составляет восемь лет, межремонтный период (эксплуатационный цикл) — около 20 лет. Полный проектный срок службы реакторной установки находится в районе 40 лет.

В России в основном рассматривается применение ММР в арктической зоне с населёнными пунктами, которые обеспечиваются энергетическими ресурсами за счёт «северного завоза», где ежегодного открывают новые месторождения полезных ископаемых, развивается Северный морской путь, диктующий развитие портов на побережье Северного Ледовитого океана. Со временем экономическая актуальность применения атомной энергетики будет расти, если учитывать климатическое регулирование сектора энергетики и тенденцию на постепенное снижение использования углеводородов как топлива.

Для северных и восточных территорий России можно выделить два диапазона требуемой единичной мощности атомных блоков: 6–12 МВт для электроснабжения изолированных потребителей с уровнем нагрузки 6–30 МВт и 50–100 МВт для организации снабжения электрической энергией крупных потребителей и/или для работы в энергосистеме.

❖ Характеристики реакторной установки «РИТМ-200»

табл. 2

Параметр	Значение
Тип реактора	Водо-водяной реактор
Тепловая мощность, МВт	190
Электрическая мощность, МВт	55
Диапазон изменения мощности, %	30–100
Диаметр основания, м	8,7
Высота реактора, м	21
Температура на выходе из активной зоны, °С	321

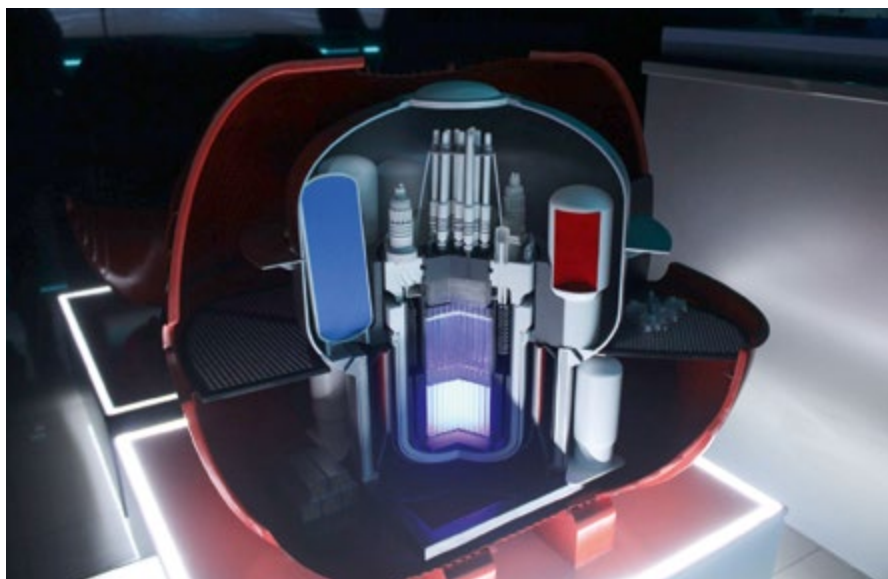
При этом атомные станции с блоками 6–12 МВт («Шельф-М») будут конкурировать с автономными дизельными электростанциями, цена топлива для которых в отдалённых районах с учётом доставки оценивается в 40–50 тыс. руб. за одну тонну. В качестве альтернативного варианта для АСММ с блоками 50–100 МВт («РИТМ-200») при их включении в локальные энергосистемы следует рассматривать новые ТЭС на угле, цена которого в восточных регионах составляет 5000–8000 руб. за тонну [12].

Стоит отметить, что в последние годы атомная энергетика возвращает свою востребованность из-за низких выбросов парниковых газов в процессе эксплуатации. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC), выбросы парниковых газов от атомной энергетики на всём жизненном цикле АЭС равны 12 тоннам CO₂-эквивалента на произведённый 1 ГВт/ч.

Для сравнения: ветроэлектростанции выбрасывают 11 тонн, гидроэлектростанции — 24 тонны, солнечные установки — 48 тонн, газ — 490 тонн и уголь — 820 тонн CO₂-эквивалента на 1 ГВт/ч. Атомные электростанции в России обеспечивают недопущение выбросов более 100 млн тонн CO₂-эквивалента ежегодно, что составляет порядка 7% от всех выбросов парниковых газов в стране. Если же оценивать планетарные масштабы, то работа всех АЭС в мире даёт экономию выбросов парниковых газов на уровне 2 млрд тонн CO₂-эквивалента в год, что соразмерно поглощающей способности всего лесного массива планеты [13].

Для того чтобы малые модульные реакторы были более привлекательными и конкурентоспособными, необходимо решить следующие задачи:

- создание в широком объёме демонстрационных моделей реакторов, использующих проверенные технологии;



■ Макет реакторной установки «Шельф-М» [электрическая мощность до 10 МВт, тепловая — 35 МВт], представленный специалистами Научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники (НИКИЭТ) имени Н. А. Доллежалея на выставке «Атомэкспо-2022»

- обеспечение сертифицированными материалами и развитие металлургии и машиностроения;

- достижение долговременной надёжности и удобство обслуживания ММР;

- развитие экономической жизнеспособности на всех стадиях реализации проекта;

- лицензирование и совершенствование нормативно-правовой базы.

Основной задачей для развития производства атомных станций является расширение производственной базы на основе имеющегося отечественного опыта производства компонентов атомных объектов. Конкурентный блок АСММ — массовый промышленный, платформенный продукт с высокой степенью модульности, адаптируемый под конкретный заказ. Причём если серийность крупных блоков АЭС сопоставима с серийностью космических ракет-носителей (единицы в год), то серийность блоков АСММ может быть сопоставима с серийностью авиалайнеров (десятки в год) или даже больше.

Заключение

В последнее десятилетие мировое сообщество снова стало обращать внимание на атомную энергетику как возможный способ достижения низкоуглеродной экономики. С учётом развития технологий, перехода на реакторы на быстрых нейтронах активную поддержку начинают получать малые модульные реакторы. Помимо применения на плавучих атомных теплоэлектростанциях, актуальным решением становится их установка в виде атомных станций малой мощности на различных территориях Российской Федерации, прежде всего удалённых и энергетически изолированных.

Особые перспективы наблюдается в установке малых реакторов вместо котлов на ТЭЦ, использующих в качестве топлива уголь, мазут или газ. При сохранении сетевой энергоинфраструктуры малые модульные реакторы могут быть эффективнее, а в некоторых случаях и экономически выгоднее традиционных решений на тепловых станциях. ●

- Бессель В.В., Кучеров В.Г., Лопатин А.С., Мартынов В.Г., Мингалеева Р.Д. Повышение эффективности и надёжности энергообеспечения удалённых и автономных объектов нефтегазового комплекса России // Нефтяное хозяйство, 2018. №9. С. 144–147.
- Фомин Р.Ю., Мингалеева Р.Д., Бессель В.В. К вопросу оценки территориального коэффициента удорожания стоимости топлива для автономных систем генерации электроэнергии на базе дизельной электростанции // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом, 2023. №7. С. 32–36.
- Соловьёв С.Л., Зарюгин Д.Г., Калякин С.Г., Лескин С.Т. Определение основных направлений развития атомных станций малой мощности // Известия вузов. Ядерная энергетика, 2022. №1. С. 22–34.
- Гамагин М.В., Голубева Л.В. Перспективы развития АСММ в России / В сб.: Энергия-2020. Т. 6. Экономические и социальные аспекты развития энергетики: Мат. XV Межд. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных (г. Иваново, 07–10.04.2020). — Иваново: ИГЭУ, 2020.

- Nuclear technology development and economics 2021. Small modular reactors (SMRs): Challenges and opportunities. An NEA monthly electronic bulletin No. 7560 is distributed free of charge to subscribers, providing updates of new results, events and publications. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD); Nuclear Energy Agency (NEA). Boulogne-Billancourt, France. 2021. 55 p.
- Updated status on global small modular reactors (SMRs) development (September 2014). International Atomic Energy Agency (IAEA). Vienna, Austria. 2014. 4 p.
- КЛТ-40С — реакторные установки для атомных станций малой мощности [Электр. текст]. АО «ОКБМ Африкантова». 2022. 32 с.
- Макеев Г.А. Создание плавучих энергетических блоков: современное состояние и варианты будущих проектов / В сб.: Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики. Т. 2; под ред. А.А. Саркисова. ИБРАЭ РАН. — М.: Академ-Принт, 2015. 388 с.

- Петрунин В.В., Фатеев С.А., Кураченков А.В., Шешкин Д.В. Научно-технические и экономические аспекты создания инновационных реакторных установок для атомных станций малой и средней мощности / XVI Забавихинские научные чтения: Мат. межд. конф. (г. Снежинск, 29.05.2023). — М.: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2023.
- Котёл БКЗ-220-100. Характеристики и испытания [Электр. текст]. «Стройстандарт». Режим доступа: stroystandart.info. Дата обрац.: 25.05.2024.
- Воропай Н.И., Санеев Б.Г., Иванова А.К., Ижбулдин А.К. Сравнительная эффективность использования атомных станций малой мощности в локальных энергосистемах на востоке России / В сб.: Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики. Т. 2; под ред. А.А. Саркисова. ИБРАЭ РАН. — М.: Академ-Принт, 2015. 388 с.
- Развитие атомной энергетики — необходимое условие глобальной климатической повестки [Электр. текст]. «Энергетическая политика» от 08.09.2021. Режим доступа: energypolicy.ru. Дата обрац.: 25.05.2024.

References — see page 80.

Prospects of using thermal power plants with small modular nuclear reactors. Pp. 68–72.

Nadezhda D. Sinkevich, undergraduate student, the Department of Design of Gas Transport Systems; **Roman Y. Fomin**, undergraduate student, the Department of Renewable Energy Sources; **Valery V. Bessel**, PhD, Associate Professor, the Department of Thermodynamics and Heat Engines, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NRU) (Moscow)

1. V.V. Bessel, V.G. Kuchеров, A.S. Lopatin, V.G. Martynov, R.D. Mingaleeva. *Povyshenie jeffektivnosti i nadezhnosti jenergoobespechenija udalennykh i avtonomnykh ob#ektov neftegazovogo kompleksa Rossii* [Improving the efficiency and reliability of energy supply to remote and autonomous facilities of the oil and gas complex of Russia]. *Neftjanoe khozjajstvo* ["Oil industry" Magazine]. 2018. No. 9. Pp. 144–147. [In Russian]
2. R.Ju. Fomin, R.D. Mingaleeva, V.V. Bessel. *K voprosu otsenki territorial'nogo ko#effitsienta udorozhaniya stoimosti topliva dlja avtonomnykh sistem generatsii jelektroenergii na baze dizel'noj jelektrostantsii* [On the issue of assessing the territorial coefficient of increase in the cost of fuel for autonomous electricity generation systems based on a diesel power plant]. *Problemy jekonomiki i upravlenija neftegazovym kompleksom* ["Problems of Economics and Management of the Oil and Gas Complex" Magazine]. 2023. No. 7. Pp. 32–36. [In Russian]
3. S.L. Solov'ev, D.G. Zarjugin, S.G. Kaljakin, S.T. Leskin. *Opreделение osnovnykh napravlenij razvitiya atomnykh stantsij maloj moshnosti* [Definition of the main directions of development of low-power nuclear power plants]. *Izvestija vuzov. Jadernaja jenergetika* [News of Higher Educational Institutions. Series: Nuclear Power]. 2022. No. 1. Pp. 22–34. [In Russian]
4. M.V. Gamagin, L.V. Golubeva. *Perspektivy razvitiya ASMM v Rossii* [Prospects for the development of low-capacity nuclear power plants in Russia]. *V sb.: Jenergija-2020. T. 6. Jekonomicheskie i sotsial'nye aspekty razvitiya jenergetiki: Mat. XV Mezhd. nauch.-tekhn. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchjonykh (g. Ivanovo, 07–10.04.2020)* [In the coll.: Energy-2020. Vol. 6. Economic and social aspects of energy development: Proc. of the XV International Scientific and Technical Conference of students, postgraduates and young scientists]. Ivanovo. IGJeU [Ivanovo State Power Engineering University]. 2020. [In Russian]
5. Development and economics of nuclear technologies. Small modular reactors: problems and prospects. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD); Nuclear Energy Agency (NEA). Boulogne-Billancourt, France. 2021. 55 p.
6. Updated status on global SMR development (September 2014). International Atomic Energy Agency (IAEA). Vienna, Austria. 2014. 4 p.
7. *KLT-40S — reaktornye ustanovki dlja atomnykh stantsij maloj moshnosti* [The KLT-40S reactor units for low-power nuclear power plants]. AO "OKBM Afrikantova" ["Experimental Design Bureau of Mechanical Engineering named after I.I. Afrikantov", JSC]. 2022. 32 p. [In Russian]
8. G.A. Makeev. *Sozdanie plavuchikh jenergeticheskikh blokov: sovremennoe sostojanie i varianty budushikh proektov* [Creation of floating power units: current status and options for future projects]. *V sb.: Atomnye stantsii maloj moshnosti: novoe napravlenie razvitiya jenergetiki. T. 2* [In the coll.: Low-power nuclear power plants: A new direction for energy development. Vol. 2]. Edited by A.A. Sarkisov. IBRAJe RAN [Institute for Problems of Safe Development of Nuclear Energy of the Russian Academy of Sciences]. Moscow. Akadem-Print ["Academ-Print" Publishers]. 2015. 387 p. [In Russian]
9. V.V. Petrunin, S.A. Fateev, A.V. Kurachenkov, D.V. Shekin. *Nauchno-tekhnicheskie i jekonomicheskie aspekty sozdaniya innovatsionnykh reaktornykh ustanovok dlja atomnykh stantsij maloj i srednej moshnosti* [Scientific, technical and economic aspects of the creation of innovative reactor plants for low- and medium-power nuclear power plants]. *XVI Zababakhinskie nauchnye chtenija: Mat. mezhd. konf. (g. Snezhinsk, 29.05.2023)* [XVI Zababakhin Scientific Readings: Proc. of the International Conference (Snezhinsk city, May 29, 2023)]. Moscow. RFJaC-VNIITF [Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Research Institute of Technical Physics named after Academician E.I. Zababakhin]. 2023. [In Russian]
10. *Habarovskaja TJeC-1* [Khabarovsk Thermal Power Plant No. 1]. *Muzej razvitiya jenergetiki DVFO* [Museum of energy development of the Far Eastern federal district of Russia]; RAO "Jenergeticheskie Sistemy Vostoka" ["RAO Energy Systems of the East", PJSC]. Web-source: museum.rao-esv.ru. Access date: May 25, 2024. [In Russian]
11. *Kotel BKZ-220-100. Harakteristiki i ispytaniya* [BKZ-220-100 boiler. Characteristics and tests]. "Strojstandart" ["Building Standard" construction engineering project]. Web-source: strojstandart.info. Access date: May 25, 2024. [In Russian]
12. N.I. Voropaj, B.G. Saneev, A.K. Ivanova, A.K. Izhbuldin. *Sravnitel'naja jeffektivnost' ispol'zovaniya atomnykh stantsij maloj moshnosti v lokal'nykh jenergosistemakh na vostoce Rossii* [Comparative efficiency of using low-power nuclear power plants in local energy systems in the east of Russia]. *V sb.: Atomnye stantsii maloj moshnosti: novoe napravlenie razvitiya jenergetiki. T. 2* [In the coll.: Low-power nuclear power plants: A new direction for energy development. Vol. 2]. Edited by A.A. Sarkisov. IBRAJe RAN [Institute for Problems of Safe Development of Nuclear Energy of the Russian Academy of Sciences]. Moscow. Akadem-Print ["Academ-Print" Publishers]. 2015. 387 p. [In Russian]
13. *Razvitie atomnoj jenergetiki — neobhodimoe uslovie global'noj klimaticheskoy povestki* [Development of nuclear energy as a necessary condition of the global climate agenda]. "Jenergeticheskaja politika" ["Energy policy" Magazine] of September 8, 2021. Web-source: energypolitsy.ru. Access date: May 25, 2024. [In Russian]