



RITM-200 turidagi yadroiy energetik uskuna samaradorligini avtonom energetik tizimlar uchun neytron-fizik va issiqlik-gidravlik modellashtan foydalangan holda tahlil qilish

Asalkhon Z. Mirzayeva¹, Sherzod S. Djumanov^{1,a}

^{1,a)} DSc, Toshkent davlat texnika universiteti, 100095, O'zbekiston; djumanov.sherzod1984@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-5694-5755>

¹ Magistratura talabasi, Toshkent davlat texnika universiteti, 100095, O'zbekiston; asalkhonorkhujaeva@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-5694-5755>

Dolzarbli: energiya tanqisligi kuzatiladigan olis hududlarda ishonchli avtonom energiya manbalari zarur. Kichik modulli reaktorlar (KMR) uzoq muddatli yoqilg'i kampaniyasi va yuqori xavfsizlik darajasi bilan uzluksiz energiya ta'minotini ta'minlay oladi.

Maqsad: RITM-200 turidagi yadroiy energetik uskunaning samaradorligini avtonom energetik tizimlar uchun neytron-fizik va issiqlik-gidravlik modellashtan foydalangan holda tahlil qilish.

Usullari: tadqiqotda yoqilg'i tarkibi, boyitish va yutib oluvchilar hisobga olingan holda reaktor aktiv zonasining neytron-fizik modellashtirilishi hamda temperatura rejimlari, issiqlik almashinuvi va Rankin siklini qamrab olgan issiqlik-gidravlik hisoblar qo'llanildi.

Natijalar: silumin va erbiy dioksididan foydalanish yoqilg'i chuqur yonishini va kampaniya davomiyligini oshirishi hamda ekspluatatsiya xavfsizligini kuchaytirishi isbotlandi. Hisoblashlar qiyin yetib boriladigan hududlarda ushbu uskuna qo'llanilishi mumkinligini tasdiqladi.

Kalit so'zlar: kichik modulli reaktor, olis hududlar, aktiv zona, ko'paytirish koeffitsiyenti, yoqilg'i chuqur yonishi, erbiy oksidi, issiqlik-gidravlik hisob, reaktorda issiqlik almashinuvi, Rankin sikli, yadroiy uskuna samaradorligi, neytron-fizik modellashtirish, temperatura rejimi.

For citation: Mirzayeva A.Z., Djumanov Sh.S., Analysis of the Efficiency of the RITM-200 Nuclear Power Installation Using Neutron-Physical and Thermo-Hydraulic Modeling for Autonomus Energy Systems. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2026, no. 1, pp. 78-85.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19941459>

Received: 10.10.2025

Revised: 2.11.2025

Accepted: 21.02.2026

Published: 26.03.2026

Copyright: © Asalkhon Z. Mirzayeva, Sherzod S. Djumanov, 2026. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Анализ эффективности ЯЭУ типа РИТМ-200 с применением нейтронно-физического и тепло-гидравлического моделирования для автономных энергетических систем

Асалхон З. Мирзаева¹, Шерзод С. Джуманов^{1, а)}

^{1a)} DSc, Ташкентский Государственный Технический Университет, 100095, Узбекистан; djumanov.sherzod1984@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-5694-5755>

¹ Студентка магистратуры, Ташкентский Государственный Технический Университет 100095, Узбекистан; asalkhonorkhujaeva@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-5694-5755>

Актуальность: в условиях энергетического дефицита в удалённых регионах необходимы надёжные автономные источники энергии. Малые модульные реакторы (ММР) позволяют обеспечить бесперебойное энергоснабжение при высокой степени безопасности и длительной топливной кампании.

Цель: провести анализ эффективности ядерной энергетической установки (ЯЭУ) типа РИТМ-200 на основе нейтронно-физического и тепло-гидравлического моделирования для автономных энергетических систем.

Методы: в работе использованы нейтронно-физическое моделирование активной зоны реактора с учётом состава топлива, обогащения и поглотителей, а также тепло-гидравлические расчёты температурных режимов, теплообмена и цикла Ренкина.

Результаты: показано, что использование силумина и диоксида эрбия в составе ТВЭЛов позволяет увеличить глубину выгорания топлива и продолжительность кампании, а также повысить безопасность эксплуатации. Выполненные расчёты подтвердили применимость установки для энергоснабжения труднодоступных районов.

Ключевые слова: малый модульный реактор, удалённые регионы, активная зона, коэффициент размножения, глубина выгорания, оксид эрбия, тепло-гидравлический расчёт, теплообмен в реакторе, цикл Ренкина, КПД ядерной установки, нейтронно-физическое моделирование, температурный режим.



Analysis of the Efficiency of the RITM-200 Nuclear Power Installation Using Neutron-Physical and Thermo-Hydraulic Modeling for Autonomus Energy Systems

Asalkhon Z. Mirzayeva¹, Sherzod S. Djumanov^{1, a)}

^{1a)} DSc, Tashkent State Technical University, 100095, Uzbekistan; djumanov.sherzod1984@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-5694-5755>

¹ Master's degree student, Tashkent State Technical University, 100095, Uzbekistan; asalkhonorkhujajeva@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-5694-5755>

Relevance: in remote regions facing energy shortages, reliable autonomous energy sources are essential. Small modular reactors (SMRs) can provide continuous power supply with high safety standards and extended fuel cycles.

Aim: to analyze the efficiency of the RITM-200 nuclear power installation using neutron-physical and thermo-hydraulic modeling for autonomous energy systems.

Methods: the study applied neutron-physical modeling of the reactor core considering fuel composition, enrichment, and absorbers, as well as thermo-hydraulic calculations covering temperature regimes, heat transfer, and the Rankine cycle.

Results: the use of silumin and erbium dioxide in the fuel composition significantly increases fuel burnup depth and fuel cycle duration, while enhancing operational safety. The calculations confirm the applicability of the installation for energy supply in hard-to-reach regions.

Keywords: small modular reactor, remote regions, reactor core, multiplication factor, fuel burnup, erbium oxide, thermo-hydraulic calculation, heat transfer in reactor, Rankine cycle, nuclear plant efficiency, neutron-physical modeling, temperature regime.

1. Введение (Introduction)

В условиях энергетического дефицита в удалённых регионах возрастает потребность в надёжных и автономных источниках электроэнергии. Отсутствие развитой сети, высокий уровень износа старых электростанций и дороговизна линий электропередачи делают традиционные решения экономически нецелесообразными. На этом фоне атомные станции малой мощности (АСММ) на базе реакторных установок РИТМ-200 представляют собой оптимальное решение благодаря модульной конструкции, высокой заводской готовности и безопасности.

Несмотря на развитие возобновляемых источников энергии, их нестабильность не позволяет обеспечить надёжное электроснабжение. АСММ, в частности на базе ЯЭУ типа РИТМ-200, благодаря длительной без перегрузочной кампании, низкому энергопотреблению и высокой стойкости ТВЭЛов, представляют собой перспективное решение. Кроме того, их интегральная конструкция и пассивные системы безопасности делают их особенно устойчивыми к внешним воздействиям.

Целью данной работы является обоснование возможности применения ЯЭУ типа РИТМ-200 в сухопутном исполнении для автономных энергетических комплексов в удалённых местностях.

Работа представляет собой одну из первых попыток всестороннего моделирования данной установки с учётом специфики эксплуатации в труднодоступных регионах и модернизации установки с применением других поглотителей.

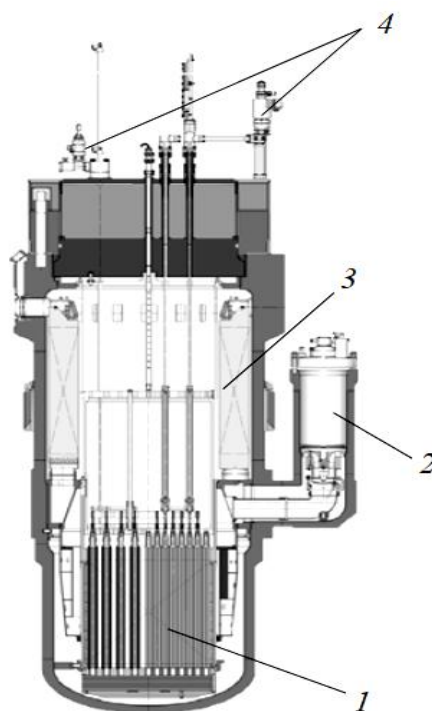
2. Методы и материалы (Methods and materials)

В рамках работы применялись методы расчёта тепло-гидравлических характеристик и нейтронно-физического анализа активной зоны реактора РИТМ-200. Расчёты проводились с использованием специализированного программного обеспечения, применяемого в проектировании ядерных энергетических установок.

Для тепло-гидравлического анализа использовались уравнения теплопередачи, а также методика расчёта эффективности цикла Ренкина с регенерацией. Входными данными для расчётов служили проектные параметры реакторной установки: температура и давление теплоносителя на различных участках контура, площадь поверхности теплообмена и характеристики теплоносителя.

Нейтронно-физическое моделирование выполнено в среде OpenMC — современном коде Монте-Карло, позволяющем моделировать поведение нейтронов в трёхмерной геометрии активной зоны. В ходе моделирования учитывались состав топлива, обогащение урана, наличие

поглотителей (эрбия), геометрия ТВС и граничные условия. Моделировались как начальные, так и выгоревшие состояния топлива. Основными расчетными параметрами являлись коэффициент



размножения нейтронов, распределение потока и выгорание топлива в зависимости от времени.
Рис.1. Общий вид парогенерирующего блока реакторной установки РИТМ-200: 1 — активная зона; 2 — циркуляционный насос первого контура; 3 — парогенератор; 4 — приводы системы управления и защиты

Fig. 1. General view of the steam-generating unit of the RITM-200 reactor unit: 1 — reactor core; 2 — primary circuit circulation pump; 3 — steam generator; 4 — control and protection system drives

На рисунке представлен общий вид парогенерирующего блока реакторной установки типа РИТМ-200. Конструкция объединяет основные элементы первого контура в едином корпусе, что обеспечивает компактность и повышенную безопасность установки. В нижней части располагается активная зона реактора (1), в которой происходит процесс ядерного деления и выделение тепловой энергии. Теплоноситель циркулирует с помощью циркуляционного насоса первого контура (2), передавая тепло к встроенному парогенератору (3), где образуется пар для турбинного привода. В верхней части конструкции расположены приводы системы управления и защиты (4), обеспечивающие регулирование мощности и автоматическое заглушение реактора при необходимости.

3. Результаты (Results)

Результаты тепло-гидравлического анализа показали, что при проектных параметрах работы РИТМ-200 температура теплоносителя в первом контуре составляет от 280 до 312 °С, а в парогенераторе — 290 °С при давлении 6.8 МПа. Расчёт температурного напора позволил определить эффективную теплопередачу и подтвердил, что КПД установки достигает 31.1% при установленной электрической мощности 55 МВт.

Расчёт температур оболочек ТВЭЛов показал стабильность теплового режима и отсутствие критических зон перегрева: температура оболочки не превышала 420 °С. Число Рейнольдса и Нуссельта подтвердили развитие турбулентного режима течения в каналах активной зоны, что положительно влияет на теплообмен.

Нейтронно-физическое моделирование показало, что коэффициент размножения нейтронов в начале кампании составляет 1.07. При выгорании топлива в течение 1800 суток значение снижается до 1.02, что указывает на стабильную нейтронную экономику и возможность длительной эксплуатации без перегрузки.

Расчёт глубины выгорания дал значение 66.26 МВт·сут/кг, что позволяет отнести РИТМ-200 к реакторам с повышенным ресурсом. Состав отработанного топлива включает остатки ^{235}U , прирост изотопов ^{239}Pu и ^{241}Am в пределах допустимых значений, что делает возможной его дальнейшую переработку или безопасное хранение.



Тепло-гидравлический анализ представлял собой применение уравнений теплообмена, расчетов теплоносителя, геометрии активной зоны, температуры и критических параметров оболочки ТВЭЛов. Для оценки эффективности установки использован модифицированный цикл Ренкина с сепарацией и перегревом. Расчёт точек цикла позволил получить термический КПД 36,8% без регенерации. Важным критерием эффективности является термический КПД с 8-ю регенеративными отборами, который рассчитывался по формуле:

$$\eta_{t8} = \eta_{t0} + (\eta_{t\infty} - \eta_{t0}) \cdot \frac{8}{9}; \quad (1)$$

где η_{t0} - термический КПД без регенеративных отборов пара; $\eta_{t\infty}$ - термический КПД с идеальной регенерацией. Значение КПД с 8-ю регенеративными отборами составило 39.3%.

Особый акцент сделан на температурном анализе активной зоны: распределения температуры топлива, теплоносителя, оболочек ТВЭЛов рассмотрены по высоте канала, что позволило убедиться в соблюдении пределов тепловой безопасности. Максимальная температура топлива составила 955°C при предельном значении 2800°C, а температура оболочки — 344,68°C при допустимых 345,83°C. Кроме того, коэффициент запаса до кризиса теплообмена $k_{зап}$ равен 1,418, что подтверждает отсутствие условий для начального закипания и гарантирует эффективное отведение тепла.

Таблица 1. Сводная таблица результатов теплофизического расчета

Table 1. Summary table of the results of thermophysical calculations

Параметр	Полученное значение	Предельное значение
КПД АЭС, %	39,3	–
Тепловая мощность АЭС, МВт	176,949	–
Расход теплоносителя первого контура, кг/с	904,937	–
Максимальная температура теплоносителя, °С	327,4	345,83
Максимальная температура внешней поверхности оболочки твэла, °С	344,68	345,83
Максимальная температура внутренней поверхности оболочки твэла, °С	347,7	1370
Максимальная температура топлива, °С	955	2800
Коэффициент запаса до кризиса теплообмена	1,418	–
Мощность на прокачку теплоносителя, МВт	0,0386	–

В табл. 1 представлены результаты теплофизического расчёта реакторной установки типа РИТМ-200, отражающие основные эксплуатационные и теплотехнические характеристики установки. Коэффициент полезного действия (КПД) АЭС составляет 39,3 %, что соответствует высоким показателям эффективности для реакторных установок данного класса. Тепловая мощность составляет 176,949 МВт, при расходе теплоносителя первого контура 904,937 кг/с, что обеспечивает стабильное удаление тепла из активной зоны.

Максимальная температура теплоносителя достигает 327,4 °С, что ниже предельного значения (345,83 °С), подтверждая надёжность системы охлаждения. Температура внешней поверхности оболочки твэлов составляет 344,68 °С, а внутренней — 347,7 °С, что указывает на равномерное распределение тепловой нагрузки и отсутствие локальных перегревов. Максимальная температура топлива равна 955 °С при допустимом пределе 2800 °С, что демонстрирует значительный запас по тепловой прочности ТВЭЛов.

Коэффициент запаса до кризиса теплообмена равен 1,418, что свидетельствует о безопасном режиме работы без риска перехода в кризисный режим теплоотдачи. Мощность, затрачиваемая на прокачку теплоносителя, составляет 0,0386 МВт, что указывает на высокую гидравлическую эффективность системы. Таким образом, все рассчитанные параметры находятся в пределах допустимых норм, а результаты расчёта подтверждают надёжность, устойчивость и эффективность работы реакторной установки РИТМ-200 в штатных условиях эксплуатации.

4. Обсуждения (Discussion)

В качестве основного подхода к нейтронно-физическому анализу был выбран метод Монте-Карло, реализуемый через программный комплекс OpenMC. На основе экспериментальных данных и предположений о топливной композиции (диоксид урана в матрице силумина) была построена модель шестигранной твэл-ячейки с делящимся материалом, обогащённым по U-235 до 19%. Результирующий коэффициент размножения k_{∞} составил $1,49717 \pm 0,00086$, что



подтверждает надкритическое состояние активной зоны. Визуализация и пространственное распределение геометрии активной зоны позволили дополнительно подтвердить корректность допущений.

Одним из наиболее содержательных участков работы является анализ выгорания топлива и модификаций активной зоны с целью увеличения топливной кампании. Изучены три варианта: исходная конфигурация с композицией оксидов гадолиния (КГНЦ), замена её на оксид эрбия и внедрение эрбия прямо в матрицу топливного стержня. Последний случай показал наилучшие результаты – топливная кампания возросла до 1800 суток, при этом выгорание составило 66,26 МВт·сут/кг, что превосходит стандартные значения для РИТМ-200. Энергетическая плотность, концентрация изотопов плутония и доля остаточного U-235 также были проанализированы для всех трёх случаев, что позволило прийти к выводу о высокой эффективности внедрения эрбия как единственного поглотителя.

Как важная составляющая нейтронных расчетов, были рассчитаны коэффициенты реактивности по плотности и температуре теплоносителя. Коэффициент по плотности оказался положительным (0,829), что свидетельствует о снижении реактивности при падении плотности – важном механизме внутренней безопасности. Коэффициент по температуре оказался отрицательным (-0,0422), что дополнительно подтверждает наличие самостабилизирующихся эффектов при росте температуры в первом контуре. Таким образом, реактор обладает как активными, так и пассивными механизмами управления безопасностью, что делает его пригодным для эксплуатации без постоянного вмешательства оператора.

Особое внимание уделено сравнению трёх вариантов конфигурации активной зоны. Первый вариант с применением оксида гадолиния (КГНЦ) обеспечил кампанию только в 500 суток. Во втором случае был использован оксид эрбия, что увеличило кампанию до 800 суток. Наиболее перспективным оказался третий случай — внедрение 0.64% оксида эрбия в топливные таблетки и замена СВП на ТВЭЛы, что позволило достичь кампании в 1800 суток (пять лет) без перегрузки, что критически важно для эксплуатации в труднодоступных регионах.

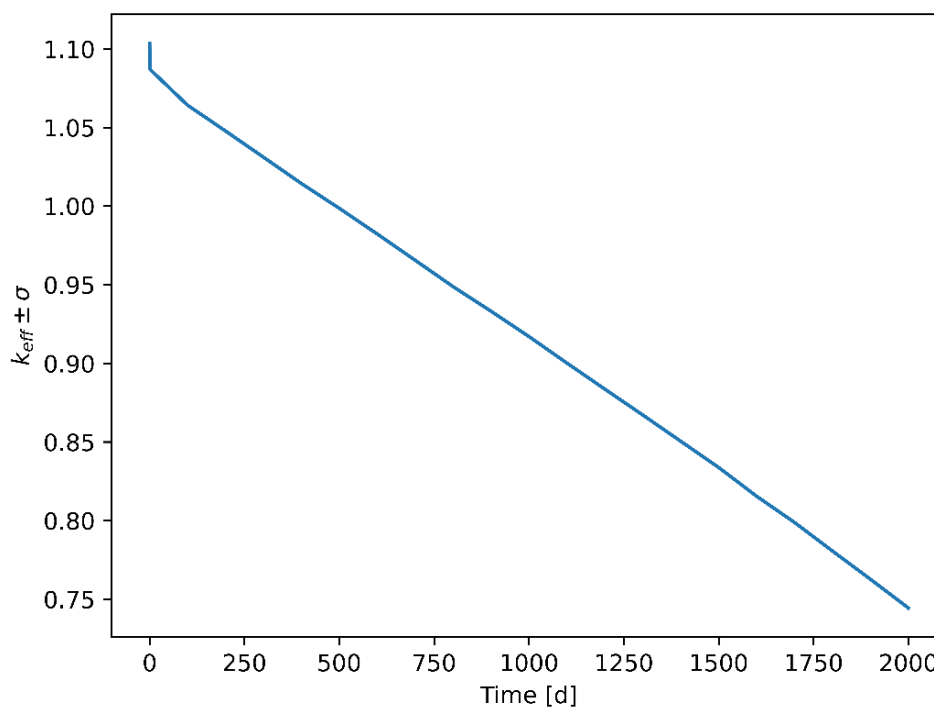


Рис.2. График зависимости коэффициента размножения от периода работы реактора (в сутках) с оксидом эрбия

Fig. 2. Graph showing the dependence of the multiplication coefficient on the reactor operating time (in days) with erbium oxide

Анализ выгорания топлива показал, что значения изменяются от 33,49 до 66,26 МВт·сут/кгU, в зависимости от состава топлива. В таблице также приведён изотопный состав выгоревшего топлива: доли изотопов ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu и ^{242}Pu , масса выгруженного топлива и доля ^{235}U в отработавшем топливе. Видно, что увеличение доли эрбия способствует уменьшению накопления плутония и повышению равномерности выгорания топлива.

Таким образом, результаты нейтронных расчётов позволяют сделать вывод, что третий вариант топлива с добавлением диоксида эрбия обладает наиболее сбалансированными характеристиками по эффективности выгорания, воспроизводству делящихся изотопов и долговечности



топливной кампании, что делает его предпочтительным для эксплуатации реакторной установки РИТМ-200.

Таблица 2. Сводная таблица результатов нейтронного расчета

Table 2. Summary table of the results of neutronic calculations

Наименование	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	
Топливо	Диоксид урана в матрице из силумина в объёмном соотношении 0,5:0,5	Диоксид урана в матрице из силумина в объёмном соотношении 0,5:0,5	Диоксид урана в матрице из силумина с добавлением диоксида эрбия в объёмном соотношении 0,5:0,4936:0,0064	
Поглотитель	Композиция оксидов гадолиния, ниобия и циркония	Композиция оксидов эрбия, ниобия и циркония	Диоксид эрбия	
Обогащение топлива по дел. нуклиду	19%			
Загрузка активной зоны, ТВС	199			
Загрузка ^{235}U , кг	562,3			
Содержание дел. нуклида, кг/ТВС	2,83			
Кампания топлива, циклов	3	1	1	
Длительность одного цикла, суток	500	800	1800	
Кампания топлива, суток	1500	800	1800	
Выгорание топлива, МВт*сут/кг	62,79	33,49	66,26	
Изотопный состав выгружаемого топлива по плутониевому ряду, %	^{238}Pu	0,28	0,73	4,27
	^{239}Pu	87,83	80,24	58,44
	^{240}Pu	8,01	11,04	17,48
	^{241}Pu	3,72	7,38	15,37
	^{242}Pu	0,16	0,62	4,43
Масса выгружаемого топлива на конец одного цикла, кг	^{239}Pu	2,30	3,10	3,66
	^{241}Pu	0,10	0,29	0,97
	^{235}U	68,95	58,75	31,16
	^{238}U	352,07	349,74	341,35
Доля U^{235} в ОЯТ, %	16,28	14,26	8,26	

5. Выводы (Conclusion)

В рамках данной работы был проведён комплексный анализ возможностей применения малых модульных реакторов (ММР) для энергоснабжения удалённых регионов. В качестве исследуемого объекта была выбрана ядерная энергетическая установка типа РИТМ-200, обладающая рядом существенных преимуществ по сравнению с аналогами, включая интегральную конструкцию, длительную кампанию и адаптированность к автономной эксплуатации.

Проведённые тепло-гидравлические расчёты позволили определить основные параметры установки, включая распределение температуры теплоносителя, оболочки твэлов и топлива по высоте активной зоны. Полученные значения температур подтвердили их соответствие эксплуатационным ограничениям, а также были рассчитаны тепловая мощность реактора, КПД установки и коэффициент запаса до кризиса теплообмена. Также определены потери на прокачку теплоносителя.

Нейтронно-физические расчёты позволили определить коэффициент размножения нейтронов, глубину выгорания топлива для активной зоны, изотопный состав отработанного топлива, включая плутониевый ряд, и массу выгружаемого топлива на конец кампании. Проведено обоснование безопасности путём расчёта реактивных коэффициентов.

Особое внимание было уделено продлению топливной кампании: в рамках трёх



модификаций активной зоны рассмотрено влияние замены оксида гадолиния на оксид эрбия. Наиболее эффективной оказалась конфигурация с добавлением 0.64% оксида эрбия в топливную таблетку, что позволило обеспечить топливную кампанию длительностью до 1800 суток, эквивалентную пяти годам эксплуатации без перегрузки.

Практическая значимость данной установки подтверждается реальными планами внедрения. Проанализирован подписанный проект по строительству шести энергоблоков РИТМ-200 в Фаришском районе Джизакской области, что свидетельствует о государственной заинтересованности в применении ММР для решения задач энергетической автономии и устойчивого развития регионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шикин Василий. Рынок малой и средней мощности: основные тенденции, драйверы и перспективы – Отдел продуктового маркетинга, РАОС, 2017.
2. Князевский К.Ю., Фадеев Ю.П., Пахомов А.Н., Полуничев В.И., Вешняков К.Б., Кабин С.В. Проектные решения реакторной установки РИТМ-200, предназначенные обеспечить экологически безопасную и экономически эффективную эксплуатацию универсального атомного ледокола на арктических трассах // Арктика: экология и экономика, 2014. № 3(15). -С. 86-91.
3. Мищенко А.А. Конструктивные решения и преимущества реакторной установки нового поколения «РИТМ-200» // Молодой ученый, 2020. № 27(317). -С. 97-100.
4. Петрунин В.В. Реакторные установки для атомных станций малой мощности //Вестник российской АН, 2021. Т.91. № 6. -С. 528–540.
5. Г.В. Кулаков, Ю.В. Коновалов, А.В. Ватулин, А.А. Косауров, С.А. Ершов, Е.В. Майников, В.И. Сорокин, А.В. Козлов. Разработка твэлов для атомных станций малой мощности. Опыт, текущее состояние, перспективы //Вопросы атомной науки и техники. Серия: Материаловедение и новые материалы, 2022. № 5(116). -С. 94–105.
6. Основы расчета судовых ЯЭУ / В.И. Деев, Н.В. Щукин, А.Л. Черезов; /Под ред. В.И. Деева.- М.: НИЯУ МИФИ, 2012. -256 с.
7. Петрунин В.В., Фадеев Ю.П., Пахомов А.Н., Вешняков К.Б., Полуничев В.И., Шаманин И.Е. Обликовый проект АСММ с реакторной установкой РИТМ-200 //Атомная энергия, 2018. Т. 125. № 6. -С. 323-327.
8. Куликов Д.Г., Пименов А.О. Вопросы и перспективы развития малой атомной генерации. Мировой и российский опыт//Сборник докладов V Международной научно-технической конференции «Инновационные проекты и технологии ядерной энергетики (МНТК НИКИЭТ2018)».2018. Москва. -С. 155-160.
9. Малая атомная энергетика и автономные энергоисточники: [Электронный ресурс] // АО «ГНЦ РФ – ФЭИ». URL: <https://www.ippe.ru/nuclear-power/small-power-npp> . (Дата обращения: 26.12.2023).
10. Петрунин В.В., Фадеев Ю.П., Гуреева Л.В., Скородумов С.Е. Реакторные установки разработки ОАО «ОКБМ Африкантов» для атомных станций малой и средней мощности // Атомная энергия, 2018. Т. 111. № 5. -С. 285-289.
11. Лысенко, М. Н. Новые ядерные технологии: проблемы и перспективы международно-правового регулирования// Гуманитарные науки, 2023, 16 (5). -С. 809-818.
12. A Transformative Year for Small Modular Nuclear Reactors: [Электронный ресурс] // POWER. URL: <https://www.powermag.com/2023-a-transformative-year-for-small-modular-nuclear-reactors/> . (Дата обращения: 28.02.2024).
13. Small Nuclear Power Reactors: [Электронный ресурс] // World Nuclear Association. URL: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors> (Дата обращения: 12.03.2024).
14. Захарычев А.А., Папотин В.Ю., Стадник Д.М. Активная зона АСММ с РУ РИТМ-200 /Сборник докладов XI конференции по реакторному материаловедению. АО «ГНЦ НИИАР».2019. Москва.
15. [Электронный ресурс] //Daryo.uz. URL: <https://daryo.uz/ru/2023/11/29/v-uzbekistane-sostoitsa-perehod-na-crezvysajnyj-rezim-raboty-po-ekonomii-vody> . (Дата обращения: 20.04.2024)
16. Физические основы безопасности ядерных реакторов / В.И. Наумов; под ред. М.В. Макарова. М.: НИЯУ МИФИ, 2013. -148 с.
17. Васильева А.В., Гетьман А.А. Эрбий и его применение в современной технике // Литье и металлургия. 2017;(3):95-96.
18. [Электронный ресурс] // Пресс-служба АО «НГМК». URL: <https://www.ngmk.uz/ru/home/prensa/1415-energetika-sohasidagi-songgi-ozgarishlar.html>.
19. [Электронный ресурс] //Газета.uz URL: <https://www.gazeta.uz/ru/2024/05/27/nuclear-station-uzbekistan/>.



20. [Электронный ресурс] // Госкорпорация «Росатом» URL: <https://rosatom.ru/journalist/news/rossiyskaya-federatsiya-i-uzbekistan-podpisali-soglashenie-o-stroitelstve-atomnoy-stantsii-maloy-moshch/>.

REFERENCES

1. Shikin, V. (2017). The Small and Medium Power Market: Key Trends, Drivers and Prospects. RAOS, Product Marketing Department.
2. Knyazevsky, K.Yu., Fadeev, Yu.P., Pakhomov, A.N., Polunichev, V.I., Veshnyakov, K.B., & Kabin, S.V. (2014). Design solutions of the RITM-200 reactor unit to ensure environmentally safe and economically efficient operation of a universal nuclear icebreaker on Arctic routes. *Arctic: Ecology and Economy*, (3), 86–91.
3. Mishchenko, A.A. (2020). Design solutions and advantages of the new generation reactor plant "RITM-200". *Young Scientist*, (27), 97–100.
4. Petrunin, V.V. (2021). Reactor installations for small nuclear power plants. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 91(6), 528–540.
5. Kulakov, G.V., Konovalov, Yu.V., Vatulin, A.V., Kosaurov, A.A., Ershov, S.A., Maynikov, E.V., Sorokin, V.I., & Kozlov, A.V. (2022). Development of fuel rods for small nuclear power plants: experience, current status, prospects. *Issues of Atomic Science and Technology. Series: Materials Science and New Materials*, (5), 94–105.
6. Deev, V.I., Shchukin, N.V., & Cherezov, A.L. (Eds.). (2012). *Fundamentals of marine nuclear power plant calculation*. Moscow: MEPHI.
7. Petrunin, V.V., Fadeev, Yu.P., Pakhomov, A.N., Veshnyakov, K.B., Polunichev, V.I., & Shamanin, I.E. (2018). Basic project of a SMR with RITM-200 reactor unit. *Atomic Energy*, 125(6), 323–327.
8. Kulikov, D.G., & Pimenov, A.O. (2018). Issues and prospects of small nuclear generation development: global and Russian experience. In *Proceedings of the V International Scientific and Technical Conference "Innovative Projects and Nuclear Energy Technologies (MNTK NIKIET-2018)"* (pp. 155–160). Moscow.
9. State Scientific Center of the Russian Federation - IPPE. (2023). *Small nuclear energy and autonomous power sources*. Retrieved December 26, 2023, from <https://www.ippe.ru/nuclear-power/small-power-npp>.
10. Petrunin, V.V., Fadeev, Yu.P., Gureeva, L.V., & Skorodumov, S.E. (2018). Reactor plants developed by OKBM Afrikantov for small and medium nuclear power plants. *Atomic Energy*, 111(5), 285–289.
11. Lysenko, M.N. (2023). New nuclear technologies: problems and prospects of international legal regulation. *Humanities*, 16(5), 809–818.
12. POWER. (2023). *A transformative year for small modular nuclear reactors*. Retrieved February 28, 2024, from <https://www.powermag.com/2023-a-transformative-year-for-small-modular-nuclear-reactors/>.
13. World Nuclear Association. (2024). *Small nuclear power reactors*. Retrieved March 12, 2024, from <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors>.
14. Zakharychev, A.A., Papotin, V.Yu., & Stadnik, D.M. (2019). The core of a SMR with RITM-200 reactor unit. In *Proceedings of the XI Conference on Reactor Materials Science*. SSC RIAR. Moscow.
15. Daryo.uz. (2023). *Uzbekistan to switch to emergency water-saving mode*. Retrieved April 20, 2024, from <https://daryo.uz/ru/2023/11/29/v-uzbekistane-sostoitsa-perehod-na-crezvyajnyj-rezim-raboty-po-ekonomii-vody>.
16. Naumov, V.I. (Ed.). (2013). *Physical foundations of nuclear reactor safety*. Moscow: MEPHI.
17. Vasilieva, A.V., & Getman, A.A. (2017). Erbium and its application in modern technology. *Casting and Metallurgy*, (3), 95–96.
18. NGMK Press Service. (2024). *Recent changes in the energy sector*. Retrieved from <https://www.ngmk.uz/ru/home/prensa/1415-energetika-sohasidagi-songgi-ozgarishlar.html>.
19. Gazeta.uz. (2024). *Uzbekistan and Russia sign agreement on construction of small modular nuclear power plant*. Retrieved May 27, 2024, from <https://www.gazeta.uz/ru/2024/05/27/nuclear-station-uzbekistan/>.
20. Rosatom State Corporation. (2024). *Russia and Uzbekistan sign agreement on construction of a small modular nuclear plant*. Retrieved from <https://rosatom.ru/journalist/news/rossiyskaya-federatsiya-i-uzbekistan-podpisali-soglashenie-o-stroitelstve-atomnoy-stantsii-maloy-moshch/>.