

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЭС ДЛЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Егоров М.Ю., Ларский А.А., Смирнов Н.А., Жиляев Э.С., Низамиев Т.Р.

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», г. Москва

Аннотация

В работе рассматриваются перспективы использования атомных электростанций в системах централизованного теплоснабжения и оценивается их эффективность с технической, экономической и экологической точек зрения. Исследование включает анализ принципов работы тепловых схем АЭС, особенностей функционирования контуров, а также возможностей различных типов реакторов для одновременной выработки электрической и тепловой энергии. Отдельное внимание уделено преимуществам атомного теплоснабжения: снижению эксплуатационных затрат, стабильности стоимости ядерного топлива, уменьшению зависимости от углеводородных ресурсов и существенному сокращению выбросов парниковых газов. В работе представлены примеры российских атомных станций, успешно обеспечивающих теплом близлежащие населённые пункты, включая наземные и плавучие энергоблоки. Существенная часть исследования посвящена разработке математической модели тепловой схемы АЭС в среде Aspen HYSYS, что позволяет детально анализировать процессы генерации пара, работы турбин, конденсации и регенерации тепла. Проведённый энергетический и материальный анализ подтвердил стабильность работы схемы и выявил направления повышения эффективности. Итоговые результаты показывают значительный потенциал атомных технологий для модернизации теплоснабжения, особенно в удалённых регионах с суровым климатом и дефицитом устойчивых источников энергии.

Ключевые слова: атомное тепло, тепловой цикл, когенерация, моделирование в Aspen HYSYS, регенеративный подогрев, энергоэффективность, низкоуглеродные технологии, устойчивое энергоснабжение, удалённые регионы.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF USING NUCLEAR POWER PLANTS FOR DISTRICT HEAT SUPPLY

Mikle Egorov, Alexey Larsky, Nikolay Smirnov, Eduard Zhiliayev, Timur Nizamiev

National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow

Abstract

This study provides an in-depth examination of the potential and effectiveness of integrating nuclear power plants into centralized heating systems. The work explores the operational principles of nuclear thermal cycles, the structure of primary and secondary circuits, and the technological specifics of various reactor types used for combined heat and power production. Particular attention is given to the economic advantages of nuclear-based heating, including the reduction of operational expenses, long-term fuel price stability, and decreased reliance on fossil fuels. The environmental benefits are also emphasized, such as significant reductions in CO₂ and other pollutant emissions. The research includes a detailed overview of existing Russian projects where nuclear facilities successfully supply thermal energy to nearby settlements, including both traditional land-based plants and innovative solutions like floating nuclear power units. A comprehensive mathematical model of the thermal scheme is developed using Aspen HYSYS, allowing simulation of reactor performance, steam generation, turbine expansion, and heat recovery systems. The analysis of material and energy balances demonstrates reliable operation and highlights potential areas for efficiency im-



provement. Overall, the study confirms that nuclear heating technologies represent a promising direction for sustainable regional development, especially in remote and cold-climate areas.

Keywords: Nuclear heat supply, thermal cycle modeling, reactor technologies, cogeneration systems, Aspen HYSYS simulation, regenerative heating, energy efficiency, low-carbon technologies, remote-region infrastructure, sustainable energy development.

Введение

В современных социально-экономических условиях наблюдается устойчивый рост потребности в тепловой энергии, обусловленный процессами урбанизации, расширением жилищного строительства, развитием коммунальной и промышленной инфраструктуры. Для Российской Федерации эта проблема приобретает особую значимость вследствие выраженной климатической специфики, требующей надёжного теплоснабжения на протяжении длительного отопительного сезона [1]. В связи с этим возрастает интерес к применению атомной энергетики как потенциально эффективного источника тепловой энергии для централизованных систем теплоснабжения.

Существенным ограничением развития отрасли является высокая степень износа существующих теплогенерирующих мощностей, большинство которых было введено в эксплуатацию ещё в советский период [2–5]. Зависимость от традиционных видов топлива — угля, мазута и природного газа — приводит к удорожанию эксплуатации, нестабильности поставок и увеличению выбросов вредных веществ. Совокупность данных факторов формирует экономические, экологические и технологические риски, что обуславливает необходимость разработки новых решений.

Целью настоящего исследования является комплексный анализ возможностей внедрения современных атомных технологий в сферу теплоснабжения с акцентом на повышение эффективности, экологической безопасности и надёжности. В работе проводится системный анализ ключевых вызовов, включая дисбаланс спроса и предложения тепловой энергии, дефицит резервных мощностей и недостаточную гибкость управления тепловыми потоками.

Дополнительно рассматривается отечественный и международный опыт использования атомной энергии для теплоснабжения [6–7], включая практики Франции, Швеции, Финляндии и Китая. Анализируются реализованные и пилотные проекты подключения АЭС к централизованным тепловым сетям, а также нормативно-правовые аспекты, определяющие условия их применения в Российской Федерации. Одним из приоритетных направлений является разработка критериев выбора регионов, наиболее перспективных для внедрения атомного теплоснабжения, с учётом климатических характеристик, плотности населения, состояния тепловой инфраструктуры и экономического потенциала.

Особое внимание уделяется оценке экономической и экологической эффективности интеграции АЭС в теплоснабжающие сети. Проведённые расчёты показывают, что замещение традиционных теплоисточников атомными может снизить расходы на выработку тепловой энергии, а также существенно уменьшить выбросы CO₂ и других загрязняющих веществ. Потенциальные преимущества атомной энергии выходят за рамки экономических и экологических аспектов: АЭС способствуют устойчивому развитию территорий, создавая новые рабочие места, стимулируя инвестиции и расширяя экспортные возможности отрасли за счёт внедрения малых модульных реакторов и плавучих энергоблоков.

Научная новизна исследования заключается в разработке комплексной методики анализа, включающей выбор региона, оценку технической и экономической реализуемости проекта, а также рассмотрение современных форм атомной энергетики, пригод-



ных для применения в удалённых и труднодоступных регионах. Представленный подход учитывает технические особенности интеграции реакторов нового поколения в существующие теплосети, включая вопросы безопасности, надёжности и управления аварийными ситуациями.

Таким образом, сформулированная концепция открывает новые перспективы развития отечественной энергетики и может служить научной основой для будущих исследований, проектных разработок и нормативного регулирования в сфере атомного теплоснабжения.

Материалы и методы. Моделирование тепловой схемы АЭС

Моделирование атомной электростанции (АЭС) в программной среде Aspen HYSYS представляет собой важнейший этап при проектировании и детальном анализе теплоэнергетических систем, предназначенных для комбинированной выработки электрической и тепловой энергии.

Данный процесс позволяет не только оптимизировать технологические параметры работы станции, но и оценить эффективность интеграции различных подсистем, обеспечивающих надёжное и экономичное энергоснабжение.

Использование Aspen HYSYS позволяет не только визуализировать структуру энергетического комплекса, но и проводить детальный инженерный анализ, включая оценку КПД, оптимизацию рабочих параметров и моделирование аварийных ситуаций. Это делает программную среду незаменимым инструментом при проектировании современных атомных станций с комбинированной выработкой энергии.

Таким образом, построение модели АЭС в Aspen HYSYS способствует повышению точности расчетов, снижению проектных рисков и обеспечению устойчивой работы теплоэнергетической системы в долгосрочной перспективе.

В процессе моделирования была разработана подробная теплотехнологическая схема атомной электростанции с паротурбинной установкой (На рисунке 1 представлена соответствующая схема).

В качестве основного инструмента моделирования и анализа была выбрана специализированная программная среда Aspen HYSYS, обладающая широкими возможностями в области имитационного моделирования тепловых процессов и сложных энергетических систем.

На основании теоретических положений и существующих инженерных решений в области атомной энергетики была построена имитационная модель основного технологического контура паротурбинной установки.

Модель охватывает все ключевые элементы тепловой схемы энергоблока, что позволяет детально проанализировать взаимодействие оборудования и энергетических потоков на различных этапах цикла.

При этом в модель были заложены исходные расчётные параметры: тепловая мощность реактора 3200 МВт при температуре теплоносителя 290°C на входе и 320°C на выходе, давлении первого контура 16 МПа и расходе теплоносителя 15 000 кг/с; параметры вторичного контура с давлением пара 7 МПа и температурой 280°C в парогенераторе; а также характеристики турбины, включая её КПД 85 % и давление в конденсаторе 5 кПа.

Результаты

В ходе моделирования в среде Aspen HYSYS были определены ключевые термодинамические параметры теплоносителя на входе и выходе активной зоны реактора.



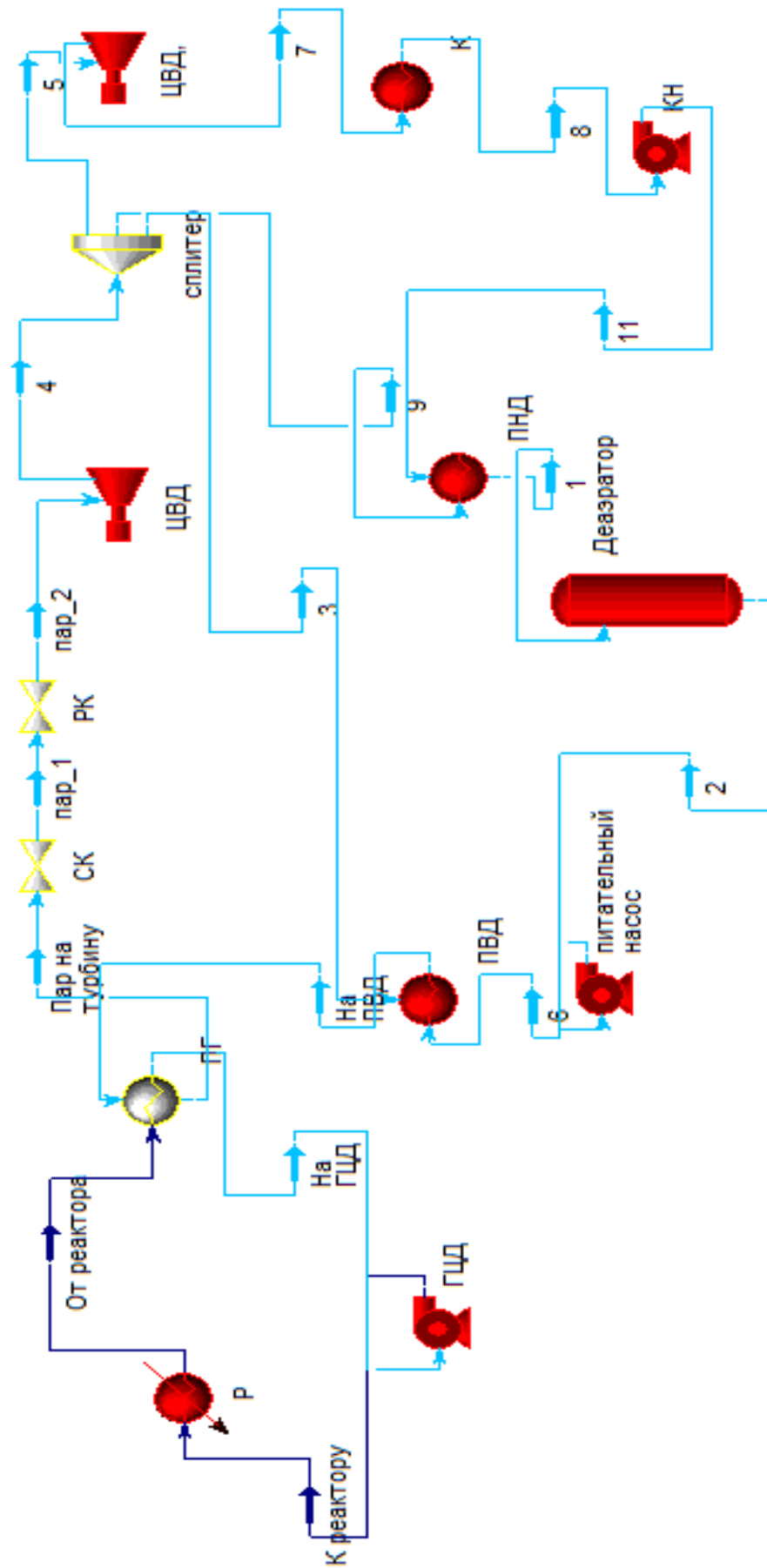


Рис. 1. Схема АЭС

Ядерный реактор, являясь центральным элементом первого контура, обеспечивает выработку тепла за счёт цепной ядерной реакции, поэтому корректное определение параметров теплоносителя фиксирует режимы его работы и характеристики тепловыделения.

Выполнено моделирование парогенератора, который осуществляет передачу тепла между первым и вторым контурами. В результате расчётов получены параметры входных и выходных потоков обоих контуров, включая значения температур, давлений и массовых расходов. Эти данные отражают состояние рабочей среды на каждом этапе прохождения через теплообменный аппарат.

Проведено также моделирование цилиндра высокого давления турбины, являющегося начальной ступенью расширения пара во втором контуре. На основании расчётов определены основные термодинамические параметры рабочего тела на входе и выходе ЦВД, что позволяет зафиксировать условия протекания процесса расширения и характеристики энергетического преобразования в этой части турбоагрегата.

Обсуждение

Получены термодинамические параметры ядерного реактора, парогенератора и цилиндра высокого давления.

Реактор

Показано, что расход теплоносителя сохраняется. Это подтверждает отсутствие утечек в модели. Увеличение энтальпии потока свидетельствует о подведении тепла в активной зоне. Имеет место постоянство давления (16 МПа), что характерно для первого контура ВВЭР, где насосы компенсируют гидравлические потери

Парогенератор

Первый контур: Снижение температуры с 320°C до 290°C отражает передачу тепла второму контуру. Разница в 30°C соответствует типовым значениям для ПГ ВВЭР-1000. Массовый расход сохраняется ($5,4 \cdot 10^7$ кг/ч), что подтверждает отсутствие утечек в модели.

Второй контур: Незначительный рост температуры с 285.9°C до 290°C при испарении объясняется тем, что основная энергия затрачивается на фазовый переход, а не нагрев. Постоянство расхода ($2,000 \cdot 10^6$ кг/ч) свидетельствует о корректном балансе.

ЦВД

Давление снижается с 6000 кПа до 5000 кПа, что характерно для работы сплиттера, где часть пара может быть отведена для других процессов или регулировки нагрузки. Перепад в 1000 кПа соответствует проектной работе устройства.

Все виды расходов остаются неизменными, что указывает на отсутствие утечек и корректный баланс массы в системе.

В качестве исходных данных для расчёта коэффициента полезного действия (КПД) турбоустановки использованы следующие параметры:

Электрическая мощность ЦВД1 353 253 кВт
 Электрическая мощность ЦВД2 354 592,8 кВт
 Тепловая мощность парогенератора (ПГ) 2 518 380 кВт

Расчёт КПД выполнен по формуле:

$$\eta = \frac{P_{\text{цвд1}} + P_{\text{цвд2}}}{Q_{\text{пг}}} = \frac{353253 + 354592}{2518380} \approx 0,281 \approx 28,1\%$$



Выводы

Проведённый термодинамический анализ и расчётные данные свидетельствуют, что текущая схема паротурбинной установки энергоблока АЭС функционирует в проектных параметрах, демонстрируя стабильную работоспособность. Полученное значение КПД на уровне 28,1% соответствует типовым эксплуатационным показателям для атомных станций, но имеет резервы для улучшения.

Для увеличения КПД до 32–35% предлагается:

- внедрение промежуточного перегрева пара (если позволяет конструкция реактора);
- модернизация конденсационной системы (вакуумирование, улучшение теплообмена);
- оптимизация регенеративной схемы (увеличение числа отборов, баланс между ПВД и ПНД).

Разработана детальная математическая модель тепловой схемы АЭС в программной среде Aspen HYSYS, включающая все ключевые компоненты: реактор, парогенератор, турбину, конденсатор и подогреватели. Моделирование подтвердило работоспособность схемы и соответствие расчетных параметров нормативным требованиям для современных АЭС. КПД турбоустановки составил 28,1%, что соответствует типовым показателям, но оставляет возможности для оптимизации.

Использование АЭС для теплоснабжения позволяет значительно сократить выбросы вредных веществ, включая CO₂, SO₂ и NO_x, что способствует улучшению экологической обстановки.

Экономические расчеты показали, что атомное теплоснабжение является рентабельным, особенно в регионах с высокой степенью износа тепловых сетей и сложными климатическими условиями.

Внедрение малых модульных реакторов (ММР) и плавучих АЭС открывает новые возможности для теплоснабжения удаленных и труднодоступных регионов.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию тепловых схем, повышение КПД.

Библиографический список

1. **Гашо Е.Г., Фокин А.М.** Анализ зависимости тепловой энергии, затраченной на отопление и охлаждение зданий, от различных факторов // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2022. – № 02 (242). – С. 64-67. EDN: [WPVLLM](#)
2. **Емельянов Д.А., Артамонов П.А.** Техничко-экономическое обоснование применения газопоршневой установки в котельной средней мощности // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 3(18). – С. 106-113. EDN: [RXMLCD](#). DOI: [10.36622/VSTU.2021.18.3.011](#)
3. **Сарчин Р.Р., Медведева Г.А.** Расчёт технико-экономических показателей котельной // Научный лидер. – 2023. – № 36 (134). – С. 81-90. EDN: [DRASAF](#)
4. **Жилина Т.С., Сабукевич М.Н., Дан В.Д., Джанака В.** Применение повысительных насосных станций для модернизации систем теплоснабжения // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 2(108). – С. 56-66. EDN: [MHOSAZ](#). DOI: [10.31660/2782-232X-2024-2-56-66](#)
5. **Габдушев Д.М., Охлопков А.В., Габдушев Р.Ж., Ванин А.С.** Техничко-экономическая оценка целесообразности переоборудования московских котельных в мини-ТЭЦ // Вестник Московского энергетического института. – 2022. – № 5. – С. 39-46. EDN: [KJJOYS](#). DOI: [10.24160/1993-6982-2022-5-39-46](#)
6. **Гариевский М.В., Бурденкова Е.Ю.** Оценка эффективности теплоснабжения от АЭС с учётом использования аккумулирующих свойств тепловых сетей и зданий // Энергетик. – 2023. – № 8. – С. 3-9. EDN: [RMCTXY](#)



7. **Адамов Е.О., Толстоухов Д.А., Панов С.А., Веселов Ф.В., Хоршев А.А., Соляник А.И.** Роль АЭС в электроэнергетике России с учетом ограничений выбросов углерода // *Атомная энергия*. – 2021. – Т. 130, № 3. – С. 123-131. EDN: [HOUSKO](#)

Переводная версия:

Adamov E.O., Tolstoukhov D.A., Panov S.A., Veselov F.V., Khorshev A.A., Solyanik A.I. Role of NPPS in the Russian electricity industry taking into account carbon emissions limits // *Atomic energy*. – 2021. – Vol. 130 (3). – P. 127-135. EDN: [YVVVOK](#). <https://doi.org/10.1007/s10512-021-00783-y>

References

1. Gasho, E. G., & Phokin, A. M. (2022). Analysis of the dependence of thermal energy spent on heating and cooling of buildings on various factors. *Plumbing, Heating, Air-Conditioning*, 2(242), 64-67.
2. Yemelyanov, D. A., & Artamonov, P. A. (2021). Technical and economic rationale of a gas-piston use in a medium-capacity boiler house. *Housing and utilities infrastructure*, 3(18), 106-113. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.18.3.011>
3. Sarchin, R. R., & Medvedeva, G. A. (2023). Calculation of technical and economic indicators of the boiler house for the SC Kogalym of the Tyumen Region. *Scientific Leader*, 36(134), 81-90.
4. Zhilina, T. S., Sabukevich, M. N., Dan, V. D., & Janaka, V. (2024). Using the booster pumping stations for modernization of heat supply system. *Architecture, Construction, Transport*, 2(108), 56-66. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-2-56-66>
5. Gabdushev, D. M., Okhlopkov, A. V., Gabdushev, R. J., & Vanin A. S. (2022). Feasibility study of converting boiler houses in Moscow into mini combined heat and power plants. *Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute*, 5, 39-46. <https://doi.org/10.24160/1993-6982-2022-5-39-46>
6. Garievsky, M. V., & Burdenkova, E.Y. (2023). Evaluation of the efficiency of heat supply from nuclear power plants, taking into account the use of storage properties of heat networks and buildings. *Energetik*, 8, 3-9.
7. Adamov, E. O., Tolstoukhov, D. A., Panov, S. A., Veselov, F. V., Khorshev, A. A., & Solyanik, A. I. (2021). Role of NPPS in the Russian electricity industry taking into account carbon emissions limits. *Atomic energy*, 130(3), 127-135. <https://doi.org/10.1007/s10512-021-00783-y>

Сведения об авторах

Егоров Михаил Юрьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры тепломассообменных процессов и установок, МЭИ, Москва; mikhail.yu.egorov@gmail.com, SPIN-код: [7771-4892](#), ORCID: [0000-0003-2202-302X](#).

Ларский Алексей Александрович, студент МЭИ, Москва.

Смирнов Николай Алексеевич, студент МЭИ, Москва.

Жилиев Эдуард Сергеевич, аспирант МЭИ, Москва.

Низамиев Тимур Радикович, студент МЭИ, Москва.

Authors about

Mikle Egorov, Cand. of Tech. Sciences, National Research University "Moscow Power Engineering Institute", mikhail.yu.egorov@gmail.com, ORCID: [0000-0003-2202-302X](#).

Alexey Larsky, student, National Research University "Moscow Power Engineering Institute".

Nikolay Smirnov, student, National Research University "Moscow Power Engineering Institute".

Zhiliayev Eduard, graduate student, National Research University "Moscow Power Engineering Institute".

Timur Nizamiev, National Research University "Moscow Power Engineering Institute".

Ссылки для цитирования

Егоров М.Ю., Ларский А.А., Смирнов Н.А., Жилиев Э.С., Низамиев Т.Р. *Анализ эффективности применения АЭС для централизованного теплоснабжения* // *Энергетические системы*. – 2025. – № 3. – С. 72-78.

Egorov, M., Smirnov, N., Porunov, D., & Larsky A. (2025). Automation of heating equipment selection and heating system design in a bim environment. *Energy Systems*, 4, 72-78. <https://doi.org/10.34031/es.2025.4.08>

