

Снижение операционных расходов и получение дополнительной выручки при использовании метода реагентной очистки оросителя для повышения охлаждающей способности и эффективности работы башенной испарительной градирни

В.П. Поваров, Е.В. Смородинов, Н.В. Карандеева

Филиал АО «Концерн Росэнергоатом «Нововоронежская атомная станция»,
396072 Россия, Воронежская обл., г. Нововоронеж, Промышленная зона Южная, 1

Реферат. Проведен сравнительный анализ снижения операционных расходов и получения дополнительной выручки при применении механического и химического способов удаления загрязнений башенных испарительных градирен (БИГ) для повышения их эффективности и надежности на примере проведения мероприятий в рамках планово-предупредительного ремонта (ППР) энергоблоков № 1 НВАЭС-2 и № 2 НВАЭС-2 в 2025 г. В качестве метода анализа использовался расчет удельной стоимости работ в рамках ППР, которые отличались способами восстановления охлаждающей способности БИГ. По результатам анализа установлено, что химическая очистка оросителя центральной зоны наряду с заменой периферийной зоны градирни позволяет значительно сократить сроки и улучшить качество проведения ремонта БИГ, достигая проектных значений глубины охлаждения оборотной воды на входе в конденсатор в самый жаркий период года. Проведенный анализ с учетом реализации мощности собственного производства доказывает целесообразность применения комбинированного подхода в выполнении мероприятий по повышению эффективности работы градирни, что особенно актуально для АЭС на водоисточниках с жесткой водой.

Ключевые слова: башенные испарительные градирни, ороситель, замена, гидрохимическая очистка, комбинированный подход, планово-предупредительный ремонт, экономический эффект, снижение затрат.

Для цитирования: Поваров В.П., Смородинов Е.В., Карандеева Н.В. Снижение операционных расходов и получение дополнительной выручки при использовании метода реагентной очистки оросителя для повышения охлаждающей способности и эффективности работы башенной испарительной градирни. *Известия вузов. Ядерная энергетика.* 2026;3:52–61. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2026.3.04>

Введение

Башенные испарительные градирни (БИГ) – атрибуты современной энергетики, обеспечивающие номинальную выработку электроэнергии. Тиражирование новых мощных блоков ВВЭР-1200 в нашей стране и за рубежом заставляет уделять работе систем охлаждения особое внимание. Существует даже мировая практика на АЭС ставить градирни на второе место по значимости после реакторной установки. Фундаментальные исследования процессов тепломассообмена в градирнях показывают, что снижение температуры воды на 1°C приводит к повышению вакуума в конденсаторе на 0,5% и мощности турбины на 0,4%, уменьшению удельного расхода условного топлива до двух граммов на 1 кВт·ч электроэнергии [1].

Таким образом, глубина недоохлаждения технологического оборудования, увеличение расхода топлива на выработку электроэнергии, снижение располагаемой мощности зависят от эффективности работы БИГ и влекут за собой рост операционных расходов и снижение выручки АЭС. В связи с этим задача повышения эффективности охлаждения оборотной воды БИГ, а также способы ее решения имеют актуальный характер [2 – 5].

Надежность работы градирни – это способность системы обеспечивать эффективное охлаждение воды, от чего зависит возможность блоков нести нагрузку. На надежность системы охлаждения влияет множество факторов, включая конструкцию и качество материалов, условия эксплуатации, техническое обслуживание и контроль технологических параметров. Регулярные мероприятия по очистке и замене оросителя – залог повышения надежности работы БИГ.

Целью данной работы явилось проведение оценки мероприятий по восстановлению охлаждающей способности БИГ с учетом степени загрязнения оросителя в разных зонах градирни, а также экономической составляющей процесса.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи исследования:

- рассмотрение механических и химических способов очистки оросителя, а также их комбинации применительно к конкретному объекту – БИГ №1 НВАЭС-2;
- проведение сравнительного анализа нескольких периодов эксплуатации энергоблока для получения объективных результатов по выработке электроэнергии;
- выполнение экономических расчетов удельной стоимости работ на градирне в период ППР;
- оценка экономического эффекта от реализации инженерных решений по восстановлению охлаждающей способности БИГ.

Материалы, методы исследования и обсуждение результатов

Главным рабочим элементом БИГ является ороситель, обеспечивающий эффективное охлаждение воды. За счет развитой поверхности он увеличивает площадь поверхности воды, охлаждаемой воздухом, продлевает время их контакта, интенсифицируя конвективный теплообмен и испарение. Загрязнения оросителя существенно снижают теплопередачу и, соответственно, эффективность охлаждения.

Для восстановления охлаждающей способности БИГ на НВАЭС были рассмотрены механические и химические способы удаления загрязнений преимущественно из карбоната кальция в силу химического состава добавочной воды, склонной к накипеобразованию [6, 7]. Стендовые испытания механических способов очистки показали низкую эффективность (не более 50%). Химический способ с применением кислотных растворов, заведомо успешный (кислота хорошо растворяет накипь и не повреждает пластиковый каркас оросителя), вызывал недоверие и осторожность из-за негативного воздействия на бетон. В связи с этим была разработана технология химической очистки оросителя центральной зоны БИГ с применением средства «Антиржавин», предусматривающая обязательную защиту бетонных конструкций специальными тентами из инертного материала (ПВХ), целевую подачу ингибированного кислого раствора на загрязненные участки и циркуляцию реагента в замкнутом контуре с последующей отмывкой водой. Риск применения данного метода при разной стойкости конструкционных материалов внутрикорпусных устройств (ВКУ) БИГ к реагенту оказался оправдан [8].

За 21 день в течение ППР-2025 удалось очистить порядка 6 тыс. куб. м оросителя на градирне энергоблока № 1 НВАЭС-2 с эффективностью 72% в среднем. Позднее были проведены аналогичные мероприятия на энергоблоке № 2 НВАЭС-2, при этом показатель эффективности очистки приблизился к 98% (из-за более рыхлой структуры легко удаляемых отложений).

Наиболее загрязненная периферийная зона градирни была предусмотрена под замену на новый ороситель.

Оценка экономической эффективности

В целях корректного определения экономической эффективности от выполнения гидрохимической очистки БИГ необходимо провести сравнительный анализ нескольких периодов эксплуатации блока. Для этого следует учитывать, что главным фактором, влияющим на результаты расчета, будут сезонно меняющиеся температурные параметры воды и воздуха. Наиболее показательным в подобных оценках является самый жаркий период года [9, 10].

Поскольку гидрохимическая очистка оросителя градирни энергоблока № 1 НВАЭС-2 была проведена в мае 2025 г., соответственно, в анализе результатов необходимо использовать данные за июнь – август 2024 г. Оценка экономического эффекта мероприятий по восстановлению охлаждающей способности градирни энергоблока № 2 НВАЭС-2 возможна при условии его эксплуатации в аналогичный период проведения ППР и очистки оросителя.

Снижение операционных расходов

С учетом объективности данных в статье рассмотрены экономические аспекты мероприятий по очистке градирни энергоблока № 1 НВАЭС-2. В рамках реализации разработанных технических решений для повышения надежности и эффективности

Снижение операционных расходов и получение дополнительной выручки при использовании метода реагентной очистки оросителя для повышения охлаждающей способности и эффективности работы башенной испарительной градирни

систем охлаждения по итогам проведения работ на БИГ энергоблока № 1 НВАЭС-2 в период планово-предупредительного ремонта в 2025 г. на 90% восстановлена охлаждающая способность градирни относительно проектных показателей и достигнут значимый экономический эффект. Экономическая целесообразность применения комбинированного подхода (реагентная очистка центральной зоны БИГ и замена оросителя периферии) к восстановлению охлаждающей способности БИГ энергоблока № 1 НВАЭС-2 выражается в снижении операционных расходов и определяется глубиной охлаждения градирни (температурой охлаждающей воды до и после ремонта). Результаты сравнительного анализа удельной стоимости сопоставимых работ в период ППР-2023 и ППР-2025 продемонстрированы в табл. 1, 2.

Таблица 1

Восстановление охлаждающей способности БИГ энергоблока № 1 НВ АЭС-2 путем замены блоков оросителей

Год	Стоимость работ, тыс. руб.	Затраты труда производственных рабочих, чел.-ч.	Объем оросителя, м ³	Количество блоков оросителя, шт.	Стоимость оросителя, тыс. руб.	Удельная стоимость работ, тыс. руб./ м ³
2023	10 304,50	11 883,93	2 225	5 371	50 000,00	27,10

Таблица 2

Применение комбинированного подхода к восстановлению охлаждающей способности БИГ энергоблока № 1 НВАЭС-2 (реагентная очистка центральной зоны БИГ и замена оросителя периферии)

Год	Стоимость работ, тыс. руб.	Затраты труда производственных рабочих, чел.-ч.	Объем оросителя, м ³	Количество материала, шт./л		Стоимость материала, тыс. руб.		Удельная стоимость работ, тыс. руб./ м ³
				блок оросителя, шт.	хим. средства, л	блок оросителя	хим. средства	
2025	60 766,62	23 649,52	11 000	8 642	501 020	51 119,25	179 497,40	26,49

Исходя из сравнительного экономического анализа данных о реализации разработанных технических решений, представленного в табл. 1, 2, можно сделать вывод о том, что применение комбинированного подхода к восстановлению охлаждающей способности БИГ энергоблока № 1 НВАЭС-2 в период ППР-2025 в сравнении с сопоставимыми работами по замене оросителей в период ППР-2023 способствует снижению удельной стоимости работ на 1 м³.

Получение дополнительной выручки

На примере проведения мероприятий по гидрохимической очистке центральной зоны БИГ и замене оросителя периферии в рамках планово-предупредительного ремонта (ППР) энергоблока № 1 НВАЭС-2 был осуществлен сравнительный анализ выработки среднесуточной (среднемесечной) электроэнергии (мощности) за июнь-август 2025 г. по сравнению с аналогичным периодом 2024 г. в соответствии с графиками работы энергоблока в данные периоды (рис. 1 – 3).

Таким образом, реализация электрической энергии (мощности) собственного производства за июнь-август 2025 г. позволила получить дополнительную выручку в размере 1,9 млрд. руб. по сравнению с аналогичным периодом 2024 г. (табл. 3).

Результаты проведения работ продемонстрированы в табл. 4.

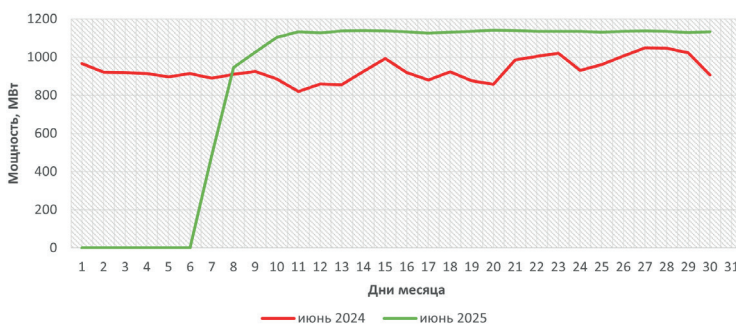


Рис. 1. График работы энергоблока № 1 НВАЭС-2 в июне 2024 и 2025 гг.

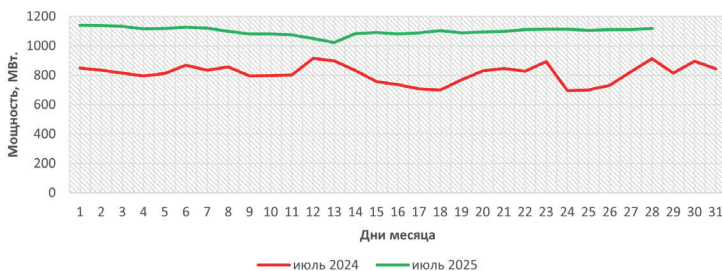


Рис. 2. График работы энергоблока № 1 НВАЭС-2 в июле 2024 и 2025 гг.

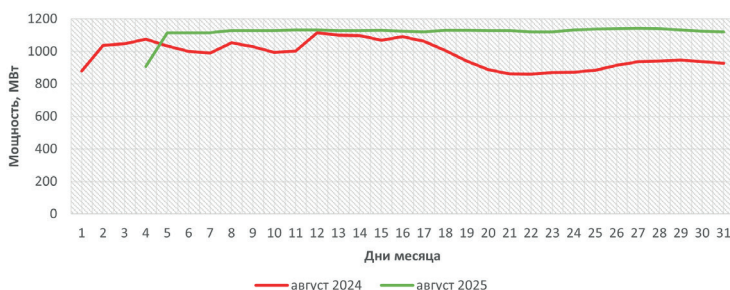


Рис. 3. График работы энергоблока № 1 НВАЭС-2 в августе 2024 и 2025 гг.

Снижение операционных расходов и получение дополнительной выручки при использовании метода реагентной очистки оросителя для повышения охлаждающей способности и эффективности работы башенной испарительной градирни

Таблица 3

Экономический эффект от применения комбинированного подхода к восстановлению охлаждающей способности БИГ энергоблока № 1 НВАЭС-2 (реагентная очистка центральной зоны БИГ и замена оросителя периферии)

Дополнительная выработка от реализации электрической энергии (мощности) собственного производства		Средняя цена реализации электрической энергии (мощности) собственного производства		Увеличение стоимости поставки электрической энергии (мощности) собственного производства за сутки, тыс. руб.		Дополнительная выручка от реализации электрической энергии (мощности) собственного производства, тыс. руб.
мощность, МВт	электроэнергия, тыс. кВт.ч	мощность, тыс. руб./МВт	электроэнергия, тыс. руб./тыс. кВт.ч	мощность	электроэнергия	
207,6	4 971,78	78,587	1,993	16 314,7	9 908,8	1 992 986

Таблица 4

Результаты реализации технических решений для повышения надежности и эффективности систем охлаждения энергоблока № 1 НВ АЭС-2

Средняя загрязненность оросителя БИГ, кг/м ³	Мероприятие ППР-2025			Результаты ППР-2025	
	Реагентная очистка центральной зоны БИГ		Замена оросителя периферии	Охлаждающая способность БИГ	Экономический эффект, тыс. руб.
	Объем оросителя, м ³	Средняя эффективность очистки, %	Объем оросителя, м ³		
278	6000	79	5000	Увеличилась на 4°С	1 992 986

Выводы

В рамках реализации разработанных технических решений для повышения надежности и эффективности систем охлаждения по итогам проведения работ на БИГ энергоблоков № 1 НВАЭС-2 в период планово-предупредительного ремонта в 2025 г. (ППР-2025) на 90% восстановлена охлаждающая способность градирни относительно проектных показателей и достигнут значимый экономический эффект.

Таким образом, восстановление охлаждающей способности БИГ осуществляется двумя ключевыми способами: заменой блоков оросителей в соответствии с установленными критериями и химической отмывкой оросителя. При этом необходимо учитывать, что работы по повышению эффективности БИГ не должны влиять на крити-

ческий график проведения планово-предупредительных ремонтов (ППР). Оптимальное распределение между этими методами напрямую зависит от степени загрязненности градирни карбонатными отложениями. При значительном загрязнении 55–60% объема оросителя рекомендуется подвергать его химической очистке, а замена оросителя должна составлять от 40 до 45% от общего объема. Такое соотношение позволяет эффективно восстанавливать охлаждающую способность градирни, минимизируя простои и обеспечивая надежность работы оборудования.

Восстановление охлаждающей способности БИГ в период ППР энергоблока № 1 НВАЭС-2 в 2025 г. с применением комбинированного подхода – заменой блоков оросителей в соответствии с установленными критериями и химической отмывкой оросителя – способствовало не только повышению эффективности БИГ, обеспечению надежности работы оборудования, но и сокращению операционных расходов, что, в свою очередь, улучшило финансово-экономическое состояние, операционную эффективность НВАЭС и помогло в достижении стратегической цели Госкорпорации «Росатом» «Снижение себестоимости продукции и сроков протекания процессов». Так краткосрочные ремонтные работы на градирне с результатом увеличения охлаждающей способности на 4°C за три недели дают весомый вклад в снижение удельной стоимости работ на 2% и получение дополнительной выручки в размере 1,9 млрд. руб. Данный факт доказывает целесообразность применения комбинированного метода

в проведении ремонтных работ по замене и очистке оросителя градирни, работающей на жесткой воде, для повышения надежности и эффективности системы охлаждения АЭС.

Литература

1. Пономаренко В. С. Градирни промышленных и энергетических предприятий: справочное пособие. Москва, Энергоатомиздат, 1998, 376 с. ISBN: 5-283-00284-5.
2. Федяев В.Л., Мазо А.Б., Моренко И.В., Гайнуллин Р.Ф., Гайнуллина Р.Ф. Об эффективности работы промышленных градирен. EDN: KYTTOX. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-effektivnosti-raboty-promyshlennyh-gradiren> (дата обращения: 03.07.2026).
3. Зенович-Лешкевич-Ольпинский Ю.А., Широглазова Н.В., Зенович-Лешкевич-Ольпинская А.Ю. Совершенствование систем технического водоснабжения с градирнями с целью улучшения технико-экономических показателей тепловых электростанций. Часть 2. *Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика*. 2016;59(4):362–375. DOI: <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2016-59-4-362-375>
4. Бадриев А.И. Шарифуллин В.Н. Анализ процесса в башенной градирне при низкой эффективности ее работы. Тезисы Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики», 9–11 октября 2017 г. Москва, НИУ «МЭИ», 2017, т. 2, с. 57–58. URL: https://repository.kpfu.ru/?p_id=165679 (дата обращения: 03.07.2026).
5. Татарникова Н.А., Такташев Р.Н., Ондар А.Б. и др. Повышение энергоэффективности работы систем охлаждения ТЭС с башенными испарительными градирнями. Энергосбережение - теория и практика: Труды Одиннадцатой Всероссийской конференции с Международным участием, Москва, 10–14 октября 2022 года. Москва, ООО «Центр полиграфических услуг» РАДУГА», 2022, с. 26–29. EDN: XCLTHZ.
6. Галанин А.В., Карандеева Н.В., Васильева С.Ю. Применение ингибиторов для предотвращения солеотложений в системах охлаждения АЭС. Выбор оптимального водно-химического режима с помощью установки моделирования. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2025;1:96–112. EDN: LOLZNP. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.1.07>

7. Поваров В.П., Витковский С.Л., Гончаров И.А. и др. Химическая очистка теплообменного оборудования препаратом Biorenex. *Энергетик*. 2015;5:14–15. EDN: TWVZBV.

8. Поваров В.П., Бакулин В.В., Карандеева Н.В. Опыт проведения реагентной очистки оросителя для повышения охлаждающей способности и эффективности работы башенной испарительной градирни. *Глобальная ядерная безопасность*. 2025;15(3):43–56. DOI: <https://doi.org/10.26583/gns-2025-03-05>

9. Даутов Р.Г., Вилохин С.А. Повышение эффективности процесса охлаждения в градирне. *Вестник Казанского технологического университета*. 2013;16(5):190–192. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-protsessa-ohlazhdeniya-v-gradirney> (дата обращения: 03.07.2026).

10. Лаптева Е.А., Лаптев А.Г., Фаррахов М.И. Показатели энергоэффективности градирен. *Надежность и безопасность энергетики*. 2018;11(3):217–221. DOI: <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-3-217-221>

Поступила в редакцию 18.03.2026

После доработки 03.07.2026

Принята к опубликованию 10.09.2026

Авторы

Поваров Владимир Петрович, директор, д.т.н.,

E-mail: [PovarovVP@nvnpp1.rosenergoatom.ru](mailto: PovarovVP@nvnpp1.rosenergoatom.ru)

Смородинов Евгений Валентинович, начальник планово-экономического отдела,

E-mail: [SmorodinovEV@nvnpp1.rosenergoatom.ru](mailto: SmorodinovEV@nvnpp1.rosenergoatom.ru)

Карандеева Наталья Владимировна, ведущий инженер по эксплуатации оборудования ХЦ,

E-mail: [KarandeevaNV@nvnpp1.rosenergoatom.ru](mailto: KarandeevaNV@nvnpp1.rosenergoatom.ru)

UDC 628.1.17

Reduction of Operating Expenses and Generation of Additional Revenue by Using the Method of the Reagent Cleaning of the Sprinkler to Increase the Cooling Capacity and Efficiency of the Evaporative Cooling Tower

Povarov V.P., Smorodinov E.V., Karandeeva N.V.

Novovoronezh Nuclear Power Plant, a branch of Rosenergoatom Concern JSC

1 Yuzhnaya Industrial Zone, 396072 Novovoronezh, Voronezh Reg., Russia

Abstract

The article provides a comparative analysis of reducing operating costs and generating additional revenue when using a mechanical and chemical method for removing contaminants from evaporative cooling towers to increase their efficiency and reliability using the example of measures taken as part of the scheduled preventive maintenance of power units № 1 NVNPP-2 and № 2 NVNPP-2 in 2025. The analysis method used was the calculation of the unit costs of repairs within the framework of the scheduled preventive maintenance, which differed in the ways of restoring the evaporative tower cooling capacity. According to the results of the analysis, it was found that the chemical cleaning of the central zone sprinkler, along with the replacement of the peripheral

zone of the cooling tower, can significantly reduce the time and improve the quality of the evaporative cooling tower repairs, reaching the project values of the cooling depth of the circulating water at the condenser inlet during the hottest period of the year. The analysis, taking into account the realization of the capacity of its own production, proves the expediency of using a combined approach in implementing measures to improve the efficiency of the evaporative cooling tower, which is especially important for nuclear power plants on hard water sources.

Keywords: evaporative cooling towers, sprinkler, replacement, hydrochemical cleaning, combined approach, scheduled preventive maintenance, economic effect, cost reduction.

For citation: Povarov V.P., Smorodinov E.V., Karandeeva N.V. Reduction of operating expenses and getting additional revenue by using the method of the reagent cleaning of the sprinkler to increase the cooling capacity and efficiency of the evaporative cooling tower. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2026;3:52–61. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2026.3.04> (in Russian).

References

1. Ponomarenko V. S. Cooling towers of industrial and energy enterprises: reference manual. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1998, 376 p. ISBN 5-283-00284-5 (in Russian).
2. Fedyaev V.L., Mazo A.B., Morenko I.V., Gainullin R.F., Gainullina R.F. On the efficiency of industrial cooling towers. *Energy problems*. 2009;1-2:15–24. EDN: KYTTOX. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-effektivnosti-raboty-promyshlennyh-gradiren> (accessed Jul. 03, 2026) (in Russian).
3. Zenovich-Leshkevich-Olpinskiy Yu.A., Shiroglazova N.V., Zenovich-Leshkevich-Olpinskaya A.Yu. Improvement of Systems of Technical Water Supply with Cooling Towers for Heat Power Plants Technical and Economic Indicators Perfection. Part 2. *ENERGETIKA. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations*. 2016;59(4):362–375. DOI: <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2016-59-4-362-375> (in Russian).
4. Badriev A.I., Sharifullin V.N. Analysis of the process in a tower cooling tower with low efficiency of its operation. Abstracts of the International Conference “Modern problems of thermophysics and Power Engineering”, October 9–11, 2017. Moscow, NRU “MEI” Publ., 2017, vol. 2, p. 57–58. URL: https://repository.kpfu.ru/?p_id=165679 (accessed Jul. 03, 2026) (in Russian).
5. Tatarnikova N.A., Taktashev R.N., Ondar A.B., Gorin M.U., Hrushkov I.I. Improving the energy efficiency of TPP cooling systems with tower evaporative cooling towers. Energy saving – theory and practice. Proceedings of the Eleventh All-Russian Conference with International Participation, Moscow, October 10–14, 2022. Moscow, Limited Liability Company “Center of printing services “RADUGA” Publ., 2022, p. 26–29. EDN: XCLTHZ (in Russian).
6. Galanin A.V., Karandeeva N.V., Vasilyeva S.Y. Use of Inhibitors to Prevent Oxidation in Cooling Systems of Nuclear Power Plants. Selection of the Optimal Water Chemistry Regime Using a Model Unit. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2025;1:96–112. EDN: LOLZNP. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2025.1.07> (in Russian).
7. Povarov V.P., Vitkovsky S.L., Goncharov I.A., Galanin A.V., Kolyagina I.A., Shvarov V.A. Chemical cleaning of heat exchange equipment with Biorenex preparation. *Energetik*. 2015;5:14–15. EDN: TWVZBV (in Russian).
8. Povarov V.P., Bakulin V.V., Karandeeva N.V. Experience in conducting reagent cleaning of the sprinkler to increase the cooling capacity and efficiency of the tower evaporative cooling tower. *Global nuclear safety*. 2025;15(3):43–56. DOI: <https://doi.org/10.26583/gns-2025-03-05> (in Russian).

9. Dautov R.G., Vilokhin S.A. Improving the efficiency of the cooling process in a cooling tower. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2013;16(5):190–192. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-protssessa-ohlazhdeniya-v-gradirney> (accessed Jul. 03, 2026) (in Russian).

10. Lapteva E.A., Laptev A.G., Farrakhov M.I. Indicators of energy efficiency of cooling towers. *Reliability and safety of power engineering*. 2018;11(3):217–221. DOI: <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2018-11-3-217-221> (in Russian).

Authors

Vladimir P. Povarov, Director, Doc. Sci. (Engineering),

E-mail: PovarovVP@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Evgeniy V. Smorodinov, Head of Planning and Economic Department,

E-mail: SmorodinovEV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Natalia V. Karandeeva, Senior engineer for the operation of the chemical department equipment,

E-mail: KarandeevaNV@nvnpp1.rosenergoatom.ru