

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ
OPERATION OF FACILITIES
NUCLEAR INDUSTRY

<https://doi.org/10.26583/gns-2026-03-08>

УДК 621.039.586

EDN UTVPCW

Оригинальная статья / Original paper



**Анализ и перспективы модернизации системы аварийного охлаждения
активной зоны Армянской АЭС**

А.Р. Григорян¹, А.А. Геворгян² ✉

¹Армянская атомная станция, Армавирская область, г. Мецамор, Республика Армения

²Национальный политехнический университет Армении, г. Ереван, Республика Армения

✉ a.gevorgyan@polytechnic.am

Резюме. В данной статье рассматривается система аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ) энергоблока №2 Армянской атомной электростанции (ААЭС) в контексте повышения уровня ее безопасности и надежности. Актуальность работы обусловлена необходимостью обоснования продления срока эксплуатации энергоблока, расширения спектра проектных аварий с повышением предела максимальной проектной аварии до течи теплоносителя с эквивалентным диаметром 200 мм. Проведен анализ первоначальной концепции системы, а также реализованных модификаций, направленных на повышение эффективности аварийного охлаждения. Для оценки работоспособности САОЗ при различных аварийных сценариях выполнены теплогидравлические расчеты с использованием программного комплекса RELAP5/MOD3.2. Рассмотрены сценарии течей теплоносителя первого контура с эквивалентным диаметром от 120 до 190 мм при различных сочетаниях отказов оборудования, включая отказ каналов аварийной подпитки высокого давления. В результате установлено, что при определенных конфигурациях системы возникает эффект «подпитки в течь», при котором подаваемый охлаждающий раствор не обеспечивает эффективного заполнения первого контура. Показано, что при течах диаметром 130–180 мм возможно нарушение критериев безопасности вследствие перегрева оболочек твэлов, тогда как при больших диаметрах течей условия охлаждения могут улучшаться за счет более быстрого снижения давления и включения систем низкого давления. На основании полученных результатов предложены направления дальнейшей модернизации САОЗ, включая оптимизацию схемы подключения трубопроводов и повышение эффективности работы системы, что позволит увеличить пределы проектных аварий и повысить уровень ядерной безопасности.

Ключевые слова: аварийное охлаждение, атомная энергетика, безопасность, ААЭС, модернизация

Для цитирования: Григорян А.Р., Геворгян А.А. Анализ и перспективы модернизации системы аварийного охлаждения активной зоны Армянской АЭС. *Глобальная ядерная безопасность*. 2026;16(3):82-92. <https://doi.org/10.26583/gns-2026-03-08>

For citation: Grigoryan A.R., Gevorgyan A.A. Analysis and prospects of emergency cooling system modernization of the Armenian NPP. *Nuclear Safety*. 2026;16(3):82-92. (In Russ.). <https://doi.org/10.26583/gns-2026-03-08>

Analysis and prospects of emergency cooling system modernization of the Armenian NPP

Artur R. Grigoryan¹, Aram A. Gevorgyan² ✉

¹Armenia Nuclear Power Plant, Metsamor, Armavir region, Republic of Armenia,

²National Polytechnic University of Armenia, Yerevan, Republic of Armenia

✉ a.gevorgyan@polytechnic.am

Abstract. This article examines the emergency core cooling system (ECCS) of Unit 2 of the Armenian Nuclear Power Plant (ANPP) in the context of enhancing its safety and reliability. The relevance of this work stems from the need to justify the extension of the unit's service life, as well as the expansion of the range of design-basis accidents with an increase in the maximum design-basis accident limit to a coolant leak with an equivalent diameter of 200 mm. An analysis of the initial system concept and implemented modifications aimed at improving the efficiency of emergency cooling is provided. To assess the operability of the ECCS under various emergency scenarios, thermal-

hydraulic calculations were performed using the RELAP5/MOD3.2 software package. Scenarios for primary coolant leaks with an equivalent diameter of 120 to 190 mm under various combinations of equipment failures, including the failure of high-pressure emergency make-up channels, are considered. As a result, it is established that, under certain system configurations, a «make-up-into-the-leak» effect occurs, whereby the supplied coolant does not effectively fill the primary circuit. It is shown that, for leaks with diameters of 130–180 mm, safety criteria may be violated due to overheating of the fuel rod cladding, whereas, for larger leak diameters, cooling conditions can be improved by more rapid pressure reduction and the activation of low-pressure systems. Based on the obtained results, directions for further modernization of the ECCS are proposed, including optimization of the piping connection scheme and increased system efficiency, which will increase the design-basis accident limits and enhance nuclear safety.

Keywords: emergency cooling, nuclear energy, safety, ANPP, modernization

Введение

Безопасность эксплуатации атомных электростанций является одной из приоритетных задач современной ядерной энергетики. Особое значение имеет обеспечение надежного охлаждения активной зоны реактора при авариях с потерей теплоносителя (Loss-of-Coolant Accident, LOCA), поскольку эффективность функционирования системы аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ) во многом определяет выполнение критериев ядерной и радиационной безопасности. В связи с этим совершенствование систем безопасности и повышение их надежности являются неотъемлемой частью программ модернизации энергоблоков атомных электростанций, направленных на продление срока эксплуатации и приведение их характеристик в соответствие с современными требованиями безопасности [1,2].

В рамках работ по продлению срока эксплуатации на всех эксплуатируемых энергоблоках с реакторами типа ВВЭР-440 были реализованы масштабные программы повышения безопасности. Выполненные модернизации включали совершенствование систем аварийного охлаждения активной зоны, внедрение дополнительных каналов систем безопасности, повышение надежности электроснабжения и модернизацию систем управления, что позволило существенно повысить устойчивость энергоблоков к проектным и запроектным авариям [1,6].

Значительное число исследований посвящено анализу теплогидравлических процессов при авариях типа LOCA для реакторов ВВЭР-440 с использованием современных расчетных кодов, прежде всего RELAP5. В опубликованных работах представлены результаты моделирования различных сце-

нариев аварий, выполнена валидация расчетных моделей по экспериментальным данным и результатам эксплуатации энергоблоков, исследовано влияние параметров течи и характеристик систем безопасности на процессы охлаждения активной зоны. Существенное внимание уделяется также исследованиям процессов повторного залива активной зоны, распределения борной кислоты в первом контуре и охлаждаемости тепловыделяющих сборок после аварий с потерей теплоносителя [3,4].

Отдельное направление исследований связано с совершенствованием проектных решений систем аварийного охлаждения активной зоны. В частности, рассматриваются вопросы оптимизации параметров гидроаккумуляторов, повышения эффективности систем аварийной подпитки, совершенствования алгоритмов их работы и оценки влияния модернизации оборудования на выполнение критериев безопасности при различных сценариях LOCA [5]. Работы, посвященные продлению срока эксплуатации энергоблоков ВВЭР-440, также показывают, что модернизация систем безопасности является одним из основных условий дальнейшей безопасной эксплуатации атомных станций [6].

Вместе с тем анализ опубликованных исследований показывает, что большинство работ посвящено расчетному обоснованию отдельных аварийных режимов, верификации расчетных кодов или оценке соответствия систем безопасности установленным критериям. Значительно меньше внимания уделено комплексному анализу влияния последовательной модернизации схемы подключения системы аварийного охлаждения активной зоны на эффективность

охлаждения реактора при различных размерах течи теплоносителя и сочетаниях отказов оборудования. Недостаточно исследованы условия возникновения эффекта «**подпитки в течь**», а также его влияние на выполнение критериев безопасности при расширении диапазона максимальной проектной аварии.

В связи с этим **целью настоящей работы** является анализ эффективности функционирования модернизированной системы аварийного охлаждения активной зоны энергоблока № 2 Армянской атомной электростанции при авариях с потерей теплоносителя различного эквивалентного диаметра, а также оценка перспектив дальнейшей модернизации системы, направленной на расширение пределов максимальной проектной аварии и повышение уровня безопасности энергоблока.

Исходная концепция системы аварийного охлаждения

Разработанный проект Армянской АЭС был основан на концепции, предполагающей, что за счет обеспечения высокого качества оборудования и других компонентов реакторной установки, мониторинга текущего состояния элементов ААЭС, а также качества эксплуатации и превентивного ремонта, можно избежать значительного повреждения компонентов АЭС, исключив тем самым возможность серьезной аварии с повреждением ядерного топлива. Вследствие этого первоначально система САОЗ (рис. 1) была рассчитана на ликвидацию течи теплоносителя первого контура эквивалентным диаметром 32 мм. Функциональные возможности системы включают:

- подачу борного раствора в активную зону реактора, путем автоматического включения насосов аварийной подпитки при снижении давления или уровня теплоносителя в первом контуре;
- поддержание реактора в подкритическом состоянии.

Основным недостатком системы являлось отсутствие пассивных средств аварийного охлаждения и отсутствие системы охлаждения активной зоны низкого давления.

В состав системы входило следующее основное оборудование:

- бак аварийного запаса борного раствора с концентрацией 12 г/кг, объемом 800 м³;
- две группы аварийных подпиточных насосов высокого давления (АПН) по три насоса типа «ЦН-65-130», с номинальным давлением 130 кгс/см² и расходом 65 м³/час;
- трубопроводы и арматура.

Каждая группа аварийных подпиточных насосов по всасу соединена с баком аварийного запаса борного раствора отдельным трубопроводом. Напорные трубопроводы в герметичной части реакторного отделения (РО) врезаются в трубопроводы системы продувки-подпитки первого контура. Первая группа насосов подключена к главному циркуляционному трубопроводу (ГЦТ) через коллектор продувки на напор, вторая группа – через коллектор возврата очищенной продувки на всас всех шести главных циркуляционных насосов (ГЦН)¹.

Модификации системы аварийного охлаждения

Правительство Республики Армения 19 апреля 2012 года приняло решение № 461 «О продлении срока эксплуатации энергоблока №2 Армянской АЭС до 2026 года». В рамках реализации работ по продлению срока эксплуатации, в соответствии с принятой концепцией по повышению безопасности ААЭС, была проведена модификация САОЗ, направленная на увеличение предела максимальной проектной аварии с потерей теплоносителя до течи теплоносителя из первого контура с эквивалентным диаметром 100 мм в любом месте главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ), а также гильотинного разрыва дыхательного трубопровода компенсатора давления (КД) с эквивалентным диаметром 200 мм.

¹ НП-001-15. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций.

Армянская АЭС. Блок 2. Техническое задание по модернизации САОЗ, 2016 г.

Отчет по обоснованию безопасности планируемой модификации САОЗ, 2020 г.

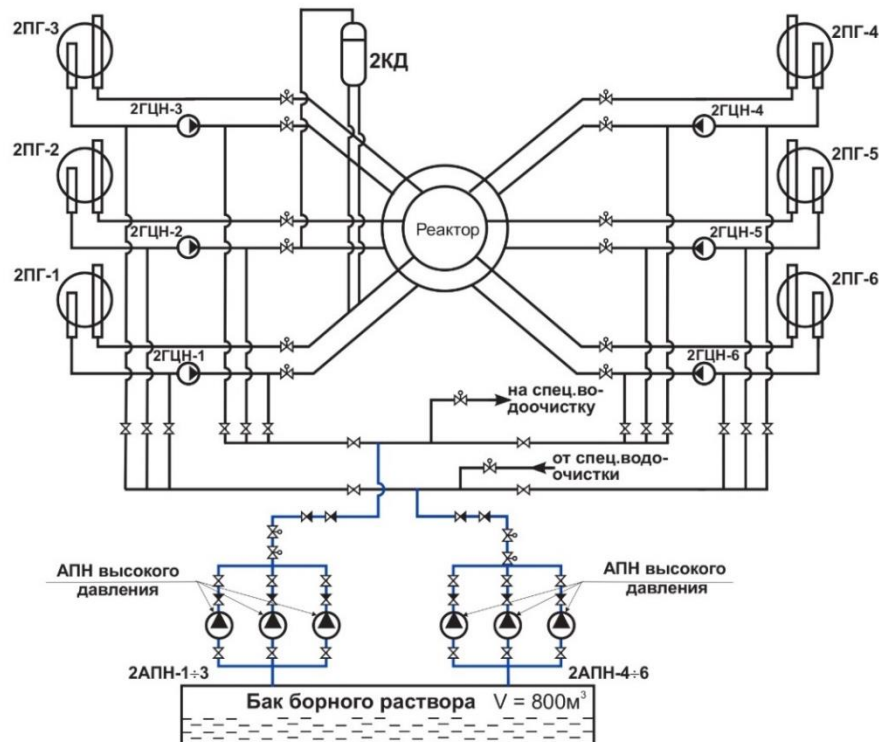


Рисунок 1. Принципиальная схема системы аварийной подпитки 1-го контура (до модификации)

Figure 1. Schematic diagram of the emergency feed system for the 1st circuit (before modification)

Основные изменения включают (рис. 2):

- переврезку напорных трубопроводов аварийной подпитки непосредственно в неотключаемую часть главного циркуляционного трубопровода;
- введение блокировок для обеспечения работоспособности насосов при низких давлениях;
- внедрение системы аварийного охлаждения низкого давления.

Результаты испытаний показали, что данные модификации повысили уровень безопасности, но при течах из ГЦТ, с эквивалентным диаметром более 100 мм, сохранялся риск повреждения активной зоны².

Перспективные направления модернизации системы аварийного охлаждения

В рамках программы повторного продления эксплуатации энергоблока №2 рассмат-

риваются дополнительные усовершенствования системы аварийного охлаждения с целью увеличения предела МПА до течи теплоносителя с эквивалентным диаметром 200 мм. С целью определения максимального проектного предела течи теплоносителя из первого контура, при котором система аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ) способна компенсировать потерю без превышения предельных критериев повреждения ядерного топлива, а также для обоснования возможности повышения допустимого предела аварийного состояния по типу LOCA (течь теплоносителя) до эквивалентного диаметра 200 мм, были выполнены следующие теплогидравлические расчеты с использованием программного комплекса RELAP:

1. Течь из горячей нитки главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ) с эквивалентным диаметром 120 мм, с отказом первого канала АПН (место течи – возле врезки трубопровода второго канала аварийной подпитки высокого давления в ГЦТ).

² Армянская АЭС. Блок 2 Мероприятия для продления срока эксплуатации. Главный корпус. Реакторное отделение. Проектирование модернизации САОЗ. Техническое задание. А-127104 пм. 2016 г. Мецамор, 2016.

Отчет по обоснованию безопасности планируемой модификации САОЗ. ОБПМ.НТЦ.02.САОЗ.001-2020. Ереван, 2020.

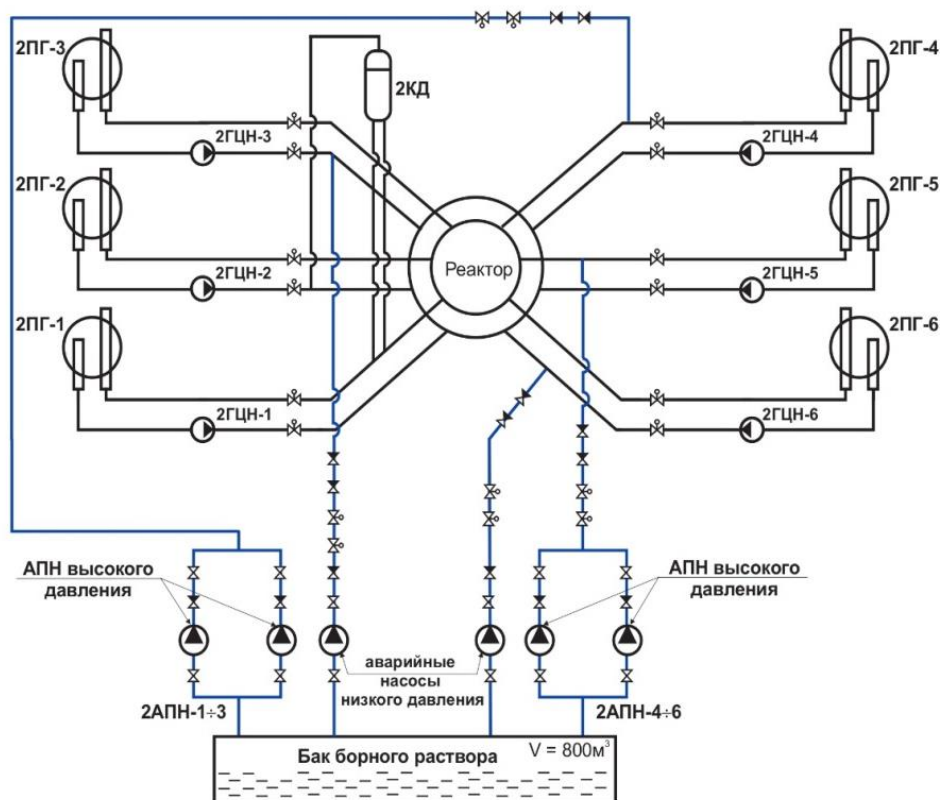


Рисунок 2. Принципиальная схема системы аварийной подпитки 1-го контура (после модификации)
Figure 2. Schematic diagram of the emergency feed system for the 1st circuit (after modification)

2. Течь из горячей нитки ГЦТ с эквивалентным диаметром 130 мм, при аналогичных условиях подключения и места возникновения течи.

3. Течь из горячей нитки ГЦТ с эквивалентным диаметром 180 мм, при аналогичных условиях подключения и места возникновения течи;

4. Течь из горячей нитки ГЦТ с эквивалентным диаметром 190 мм, при аналогичных условиях подключения.

5. Течь из горячей нитки ГЦТ с эквивалентным диаметром 130 мм, с одним работающим каналом АПН ВД, отказом второго, и последующим открытием одного из быстродействующих редукционных установок сброса пара в атмосферу БРУ-А.

6. Течь из горячей нитки ГЦТ с эквивалентным диаметром 180 мм, при аналогичных условиях, с открытием одного БРУ-А.

7. Течь из ГЦТ с эквивалентным диаметром 130 мм, с одним каналом АПН ВД, отказом второго, открытием одного БРУ-А и деблокировкой на закрытия быстродействующих отсечных клапанов (БЗОК).

Расчетные модели и анализ результатов

Математическое моделирование процессов в системе аварийного охлаждения выполнено с использованием кода RELAP5/MOD3.2, основанного на решении системы уравнений сохранения массы, энергии и импульса для двухфазных сред.

Основные уравнения модели

Код решает восемь уравнений для зависимых переменных: давление (P); удельные внутренние энергии пара и жидкости (U_p, U_l); объемная доля пара (α_p); скорости фаз (v_p, v_l); качество неконденсируемых газов (X_n); плотность бора (ρ_b).

Анализ результатов расчета течи из горячей нитки ГЦТ эквивалентным диаметром 130 мм и 180 мм с отказом первого канала АПН (место течи – врезка трубопровода второго канала аварийной подпитки высокого давления в ГЦТ)

Анализ результатов расчетов течи теплоносителя первого контура с эквивалентным диаметром в диапазоне от 130 мм до 180 мм

показал [5]: возникновение течи на участке главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ) возле места подключения трубопровода одного из каналов аварийной подпитки первого контура высокого давления и одновременный отказ второго канала аварийной подпитки (в результате обесточивания и невозможности автоматического подключения дизель-генераторов к секции электропита-

ния) приводит к нарушению приемочных критериев безопасности. В частности, наблюдается резкое повышение температуры теплоносителя (рис. 3а,б) и снижение давления (рис. 4а,б) первого контура, а также превышение допустимой температуры оболочки твэлов, что может привести к повреждению топлива (рис. 5а,б).

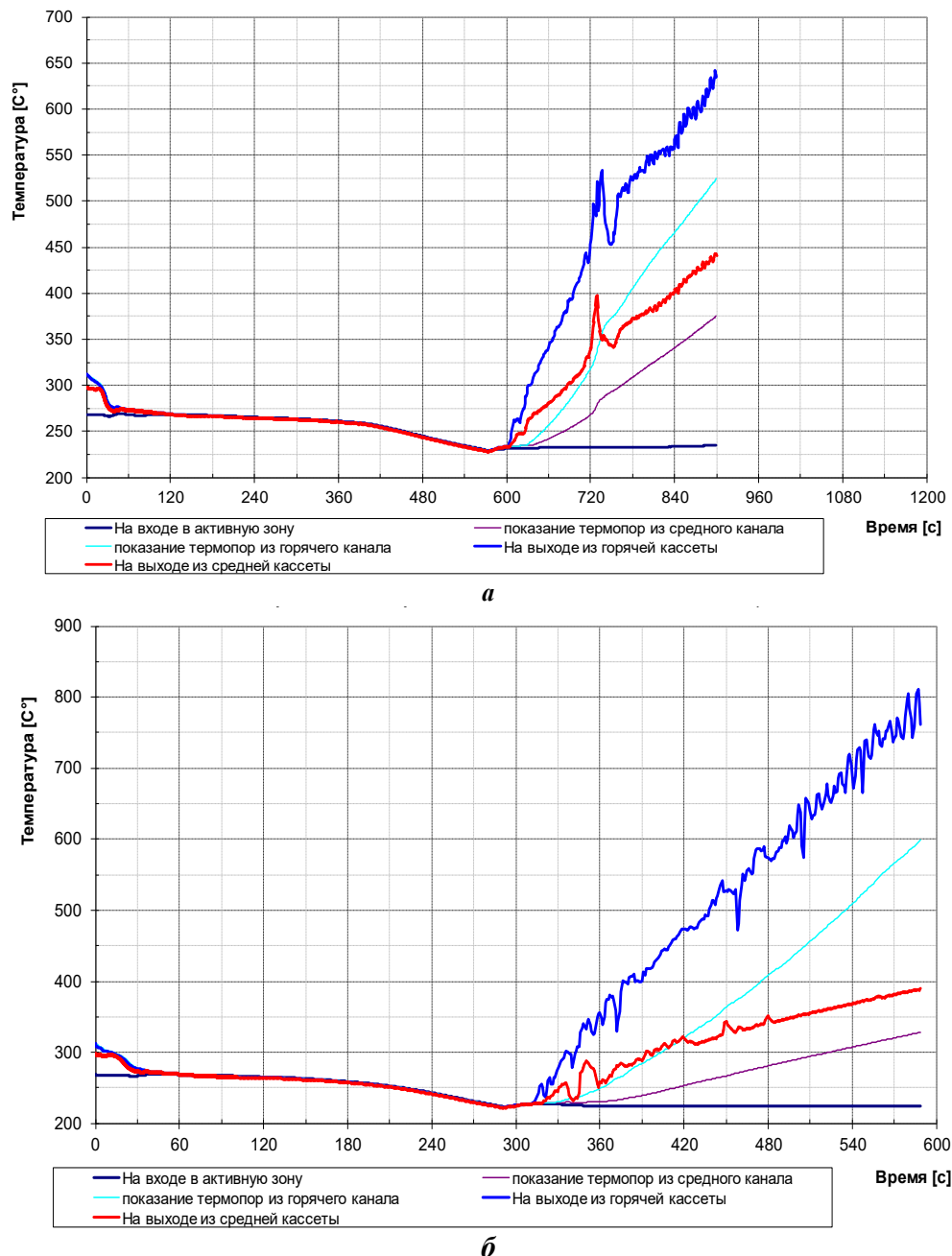


Рисунок 3. Температура теплоносителя: течь из горячей нитки главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ) с эквивалентным диаметром a – 130 мм и b – 180 мм с отказом первого канала АПН; место течи – в районе врезки трубопровода второго канала аварийной подпитки высокого давления в ГЦТ

Figure 3. Coolant temperature: leak from the hot leg of the main circulation pipeline (MCP) with an equivalent diameter a – of 130 mm and b – of 180 mm with the failure of the first channel of the APN; the leak is located near the connection of the second channel of the emergency high-pressure feed in the MCP

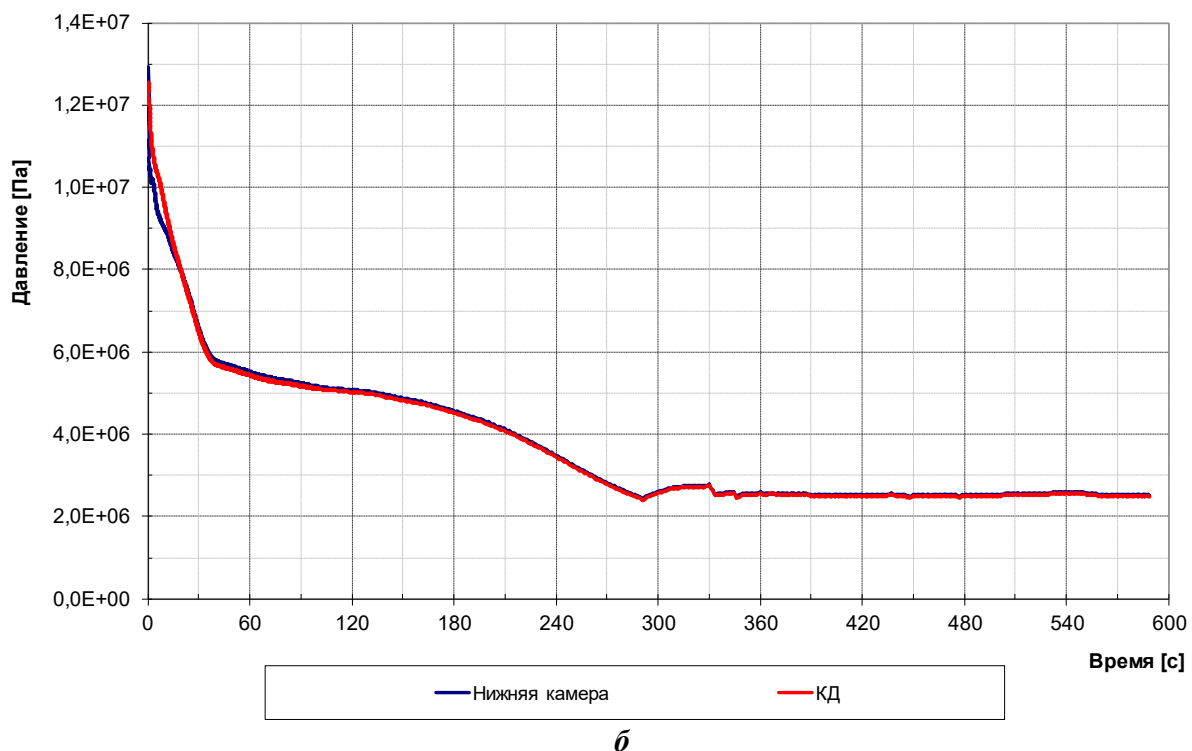
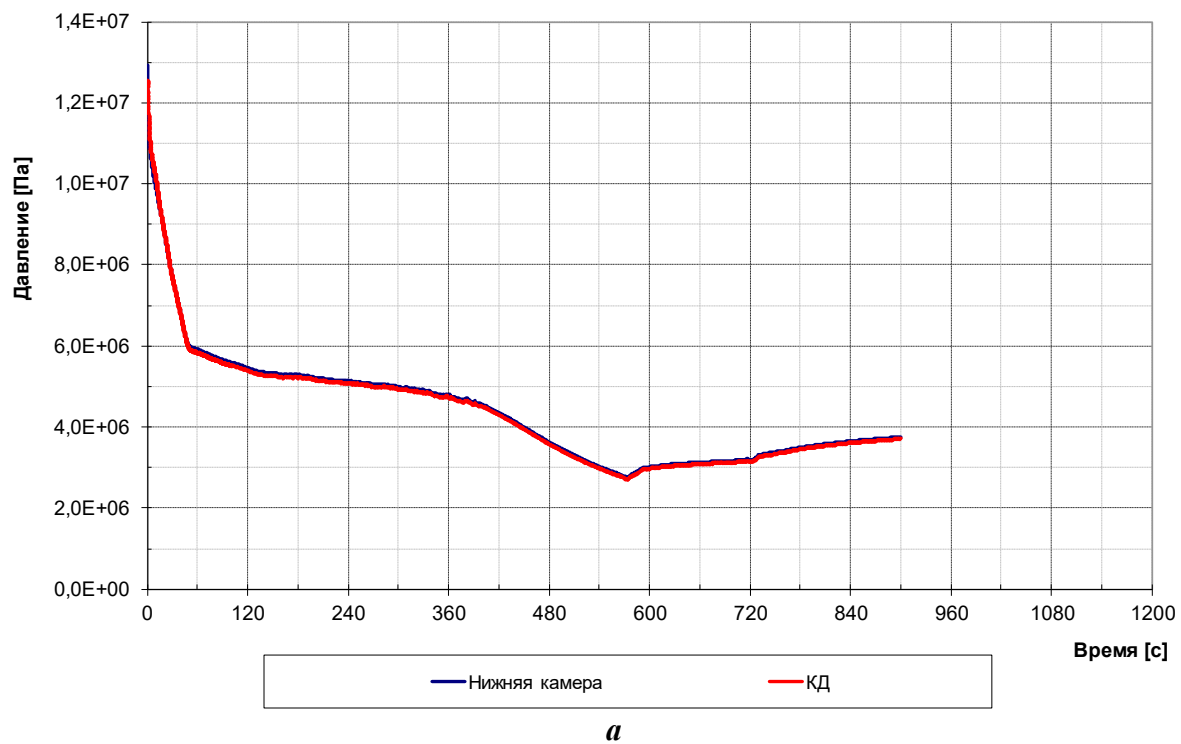


Рисунок 4. Давление первого контура: течь из горячей нитки главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ) с эквивалентным диаметром ***a*** – 130 мм и ***б*** – 180 мм с отказом первого канала АПН; место течи – в районе врезки трубопровода второго канала аварийной подпитки высокого давления в ГЦТ

Figure 4. First circuit pressure: leak from the hot leg of the main circulation pipeline (MCP) with an equivalent diameter ***a*** – of 130 mm and ***б*** – of 180 mm with the failure of the first channel of the APN; the leak is located near the connection of the second channel of the emergency high-pressure feed in the MCP

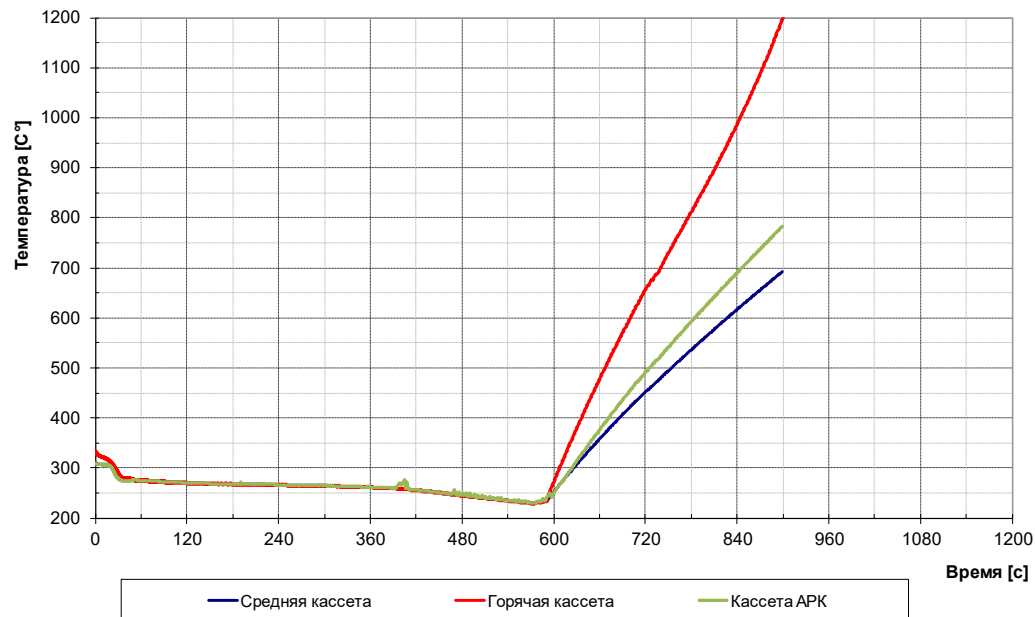
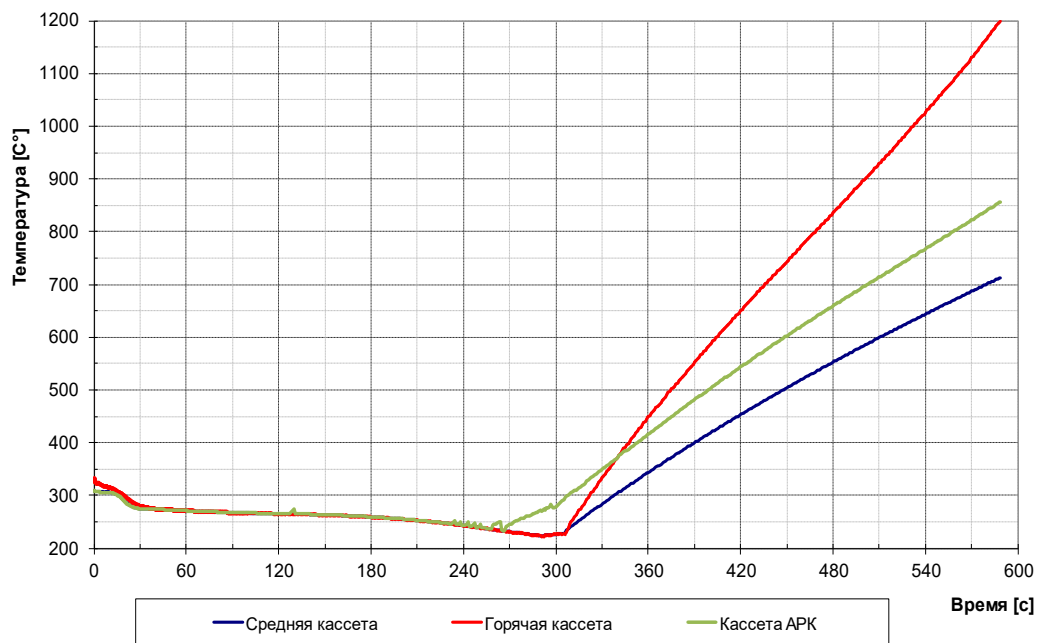
***a******б***

Рисунок 5. Температура оболочки топлива: течь из горячей нитки главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ) с эквивалентным диаметром ***a*** – 130 мм и ***б*** – 180 мм с отказом первого канала АПН; место течи – в районе врезки трубопровода второго канала аварийной подпитки высокого давления в ГЦТ

Figure 5. Fuel cladding temperature: leak from the hot leg of the main circulation pipeline (MCP) with an equivalent diameter ***a*** – of 130 mm and ***б*** – of 180 mm with the failure of the first channel of the APN; the leak is located near the connection of the second channel of the emergency high-pressure feed in the MCP

Как видно из графиков, приблизительно с 600-й секунды (для течи с эквивалентным диаметром 130 мм) и с 300-й секунды (для течи с эквивалентным диаметром 180 мм) происходит относительно резкое повышение температуры оболочки твэла, которая на 900-й и 600-й секунде (соответственно для

эквивалентных диаметров 130 мм и 180 мм) достигает 1200°C при котором нарушаются приемочные критерии.

Следует отметить, что критическая ситуация, при которой наблюдается превышение температурных пределов твэлов, возникает преимущественно в случае, если течь тепло-

носителя происходит непосредственно в месте подключения трубопровода САОЗ высокого давления к горячей нитке главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ). В таком случае, несмотря на работу одного из каналов аварийной подпитки, подача охлаждающего борированного раствора фактически осуществляется **напрямую в зону течи**, не обеспечивая эффективного заполнения объема первого контура. Иными словами, происходит как бы «**подпитка в течь**», что лишает САОЗ способности восстановить уровень теплоносителя в активной зоне и предотвратить перегрев твэлов.

Именно топология подключения аварийной подпитки становится ключевым фактором в неэффективности САОЗ при течах указанного типа. Это подчеркивает необходимость не только повышения производительности системы, но и **пересмотра схемы врезки трубопроводов** для обеспечения подачи охлаждающей жидкости в объем, сохраняющийся в контуре.

Также, анализируя график изменения давления в первом контуре установлено, что при таком развитии аварии **давление в первом контуре снижается до уровня порядка 30-35 кгс/см²** (см. рис. 4а,б), что становится критичным с точки зрения подачи охлаждающей воды от насосов низкого давления

системы аварийной подпитки. Последние имеют номинальное давление подачи **25 кгс/см²**, и потому **не могут преодолеть остаточное давление в контуре**, несмотря на формальное выполнение условий для ввода в работу. Это приводит к возникновению **динамического равновесия**, при котором подача охлаждающей жидкости прекращается, несмотря на наличие резервных систем.

Таким образом, даже при наличии исправного канала САОЗ низкого давления, **физически охлаждающая среда не поступает в реактор**, что способствует перегреву твэлов и нарушению критериев безопасности. Эта особенность подчеркивает необходимость пересмотра не только характеристик насосного оборудования, но и схемы гидравлической обвязки системы.

Дальнейший анализ результатов теплогидравлических расчетов показал, что при возникновении течи из тех же мест, но уже с большим диаметром, снижение давления первого контура при котором система аварийной подпитки первого контура низкого давления подает воду в первый контур достигает относительно раньше (рис. 6). Это обстоятельство приводит к тому, что критерии безопасности не нарушаются (рис. 7).

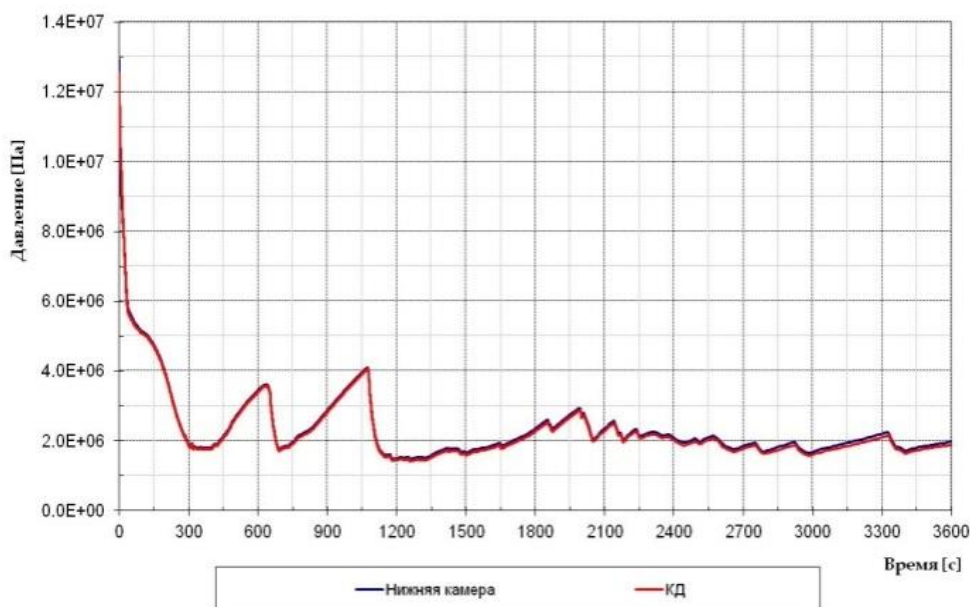


Рисунок 6. Давление первого контура. Течь из горячей нитки ГЦТ эквивалентным диаметром 190 мм, в месте подключения одного из каналов АПН ВД при отказе другого канала АПН

Figure 6. First circuit pressure. Leak from the hot leg of the MCP with an equivalent diameter of 190 mm, at the connection point of one of the APN HD channels in case of failure of the other APN channel

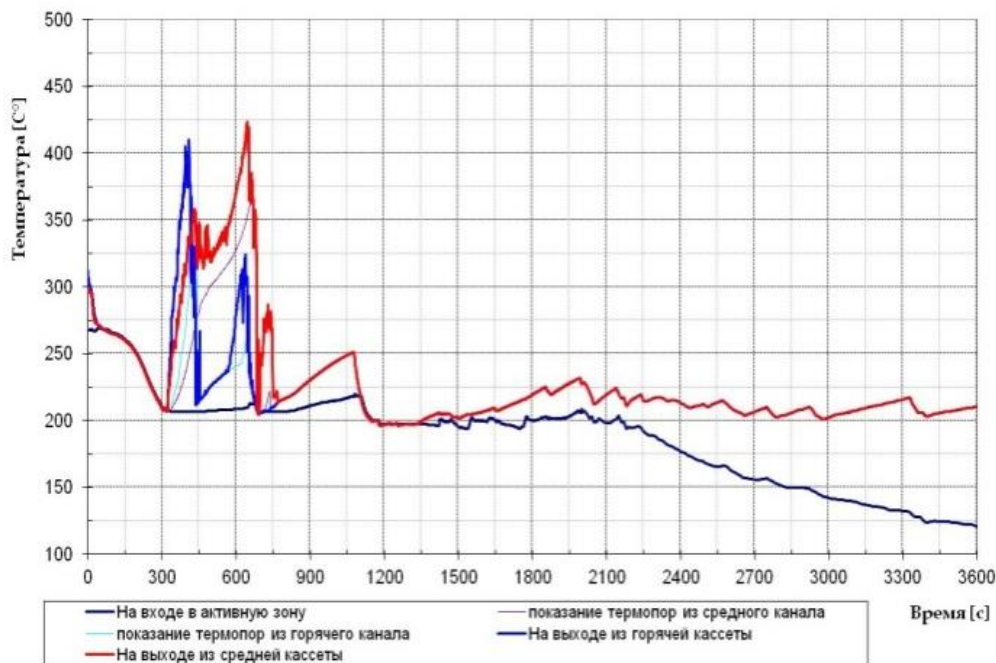


Рисунок 7. Температура теплоносителя. Течь из горячей нитки ГЦТ эквивалентным диаметром 190 мм, в месте подключения одного из каналов АПН ВД при отказе другого канала АПН

Figure 7. Coolant temperature. Leak from the hot leg of the MCP with an equivalent diameter of 190 mm, at the connection point of one of the APN HD channels in case of failure of the other APN channel

Заключение

Проведенный анализ системы аварийного охлаждения активной зоны энергоблока № 2 Армянской АЭС показал, что реализованные ранее модернизации позволили существенно повысить предел максимальной проектной аварии до течи теплоносителя первого контура эквивалентным диаметром 100 мм. Однако результаты теплогидравлических расчетов с применением кода RELAP5 выявили ряд критических факторов, ограничивающих эффективность системы при более масштабных течах.

К числу ключевых ограничений относятся:

- неудачная гидравлическая топология врезки трубопроводов аварийной подпитки, приводящая к эффекту «подпитки в течь»;
- задержка в снижении давления до уровня, при котором могут эффективно работать насосы низкого давления;
- высокая зависимость работоспособности САОЗ от состояния одного из каналов электроснабжения и автоматизации.

Показано, что при ряде сценариев, особенно с течами в зоне подключения САОЗ, не обеспечивается достаточное охлаждение активной зоны, что может привести к превышению температурных пределов оболочек ТВЭЛОВ.

В связи с этим при дальнейшем продлении срока эксплуатации блока и в рамках программ повышения безопасности предлагается:

- пересмотр схемы подключения аварийной подпитки с целью исключения возможности подачи охлаждающей жидкости в зону течи;
- усовершенствование логики работы автоматик и повышение автономности каналов управления и питания.

Реализация данных мероприятий позволит повысить устойчивость энергоблока к тяжелым сценариям аварий типа LOCA и обоснованно расширить проектные пределы до течи теплоносителя первого контура эквивалентным диаметром 200 мм, обеспечив при этом соблюдение всех приемочных критериев ядерной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. International Atomic Energy Agency. Final report of the programme on the safety of WWER and RBMK nuclear power plants. Vienna: IAEA, 1999. Available at: <https://www-ns.iaea.org/downloads/projects/archive/wwer-rbmk-safety.pdf> (accessed: 14.07.2026).
2. International Atomic Energy Agency. Selected Safety Aspects of WWER-440 Model 213 Nuclear Power Plants. Reference Plant: Bohunice V-2. Vienna: IAEA, 1996. Available at: <https://www.iaea.org/publications/4713/selected-safety-aspects-of-wwer-440-model-213-nuclear-power-plants> (accessed: 14.07.2026).
3. Tuunanen J., Tuomisto H., Raussi P. Experimental and analytical studies of boric acid concentrations in a VVER-440 reactor during the long-term cooling period of loss-of-coolant accidents. *Nuclear Engineering and Design*. 1994;148:217-231. Available at: [https://www.sci-hub.ru/10.1016/0029-5493\(94\)90111-2?ysclid=msczi03tms306456627](https://www.sci-hub.ru/10.1016/0029-5493(94)90111-2?ysclid=msczi03tms306456627) (accessed: 14.07.2026).
4. Hózer Z. et al. Experimental investigation of the coolability of blocked hexagonal bundles. *Nuclear Engineering and Design*. 2017;317:51-58. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029549317301425?via%3Dihub> (accessed: 14.07.2026).
5. Kral P., Macek J., Meca R. et al. Thermalhydraulic Analyses for Optimization of Hydroaccumulators Parameters in VVER-440. The 14th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermalhydraulics (NURETH-14), Canadian Nuclear Society, 2011. Available at: https://www.researchgate.net/publication/263673505_Thermal_Hydraulic_Analyses_for_Optimization_Hydroaccumulator_Parameters_in_VVER-440 (accessed: 14.07.2026).
6. Поваров В.П., Федоров А.И., Витковский С.Л. Некоторые аспекты повторного продления срока эксплуатации реакторной установки с ВВЭР-440 на примере энергоблока № 4 Нововоронежской АЭС. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2019;2:91-104. <https://doi.org/10.26583/npe.2019.2.08>
 Povarov V.P., Fedorov A.I., Vitkovsky S.L. Some aspects of the VVER-440 reactor plant life re-extension: a case study of the Novovoronezh NPP Unit 4. *Nuclear Energy and Technology*. 2019;5(3):249-256. Available at: <https://doi.org/10.3897/nucet.5.46380>

ВКЛАД АВТОРОВ:

Григорян А.Р. – разработка концепции исследования, и параметризация схемы, выполнение исследовательских работ, обработка результатов, формирование текста статьи;
Геворгян А.А. – разработка методических основ исследования.

AUTHORS' CONTRIBUTION:

Grigoryan A.R. – research concept development and scheme parameterization, research work, processing of results, drafting the text of the article;
Gevorgyan A.A. – development of the methodological foundations of the study.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ:

Работа выполнена без дополнительных источников финансирования.

FUNDING:

No additional funding.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Артур Рубикович Григорян, главный инженер, «Армянская атомная электростанция», г. Мецамор, Армавирская область, Республика Армения.
 e-mail: artur.grigoryan@anpp.am
Арам Ашикович Геворгян, зав. кафедрой «Теплоэнергетики и защиты окружающей среды», Национальный политехнический университет Армении, (НПУА) г. Ереван, Республика Армения.
 e-mail: a.gevorgyan@polytechnic.am

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Artur Rubik Grigoryan, Chief Engineer, Armenian Nuclear Power Plant, Metsamor, Armavir region, Republic of Armenia.
 e-mail: artur.grigoryan@anpp.am
Aram Ashik Gevorgyan, Head of the Department of Thermal Power Engineering and Environmental Protection, National Polytechnic University of Armenia (NPUA), Yerevan, Republic of Armenia.
 e-mail: a.gevorgyan@polytechnic.am

Поступила в редакцию / Received 10.12.2025

После доработки / Revision 21.07.2026

Принята к публикации / Accepted 23.07.2026