

УДК 621.039

DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2026.1.07>*Оригинальная статья / Original paper*

Использование системы информационной поддержки оператора для исключения избыточного срабатывания систем безопасности в переходных процессах на энергоблоках с ВВЭР-1200

М.Ю. Тучков, П.В. Поваров, К.С. Мысин

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

Реферат. АСУ ТП для ВВЭР-1200 выполняет комплексную функцию по обеспечению эффективного, безопасного и надежного управления технологическими процессами энергоблока, включая контроль, автоматическое управление, защиту и информационную поддержку операторов и персонала АЭС. Защита от ошибок по общей причине может быть обеспечена применением принципа разнообразия. Для обеспечения данного принципа в АСУ ТП ВВЭР-1200 имеется независимая диверсная система защит, реализованная непрограммируемыми техническими средствами. Несмотря на повышение устойчивости АСУ ТП к отказам по общей причине за счет внедрения диверсной системы защит, возможны случаи избыточного срабатывания этих защит. Использование программной модели энергоблока, интегрированной в систему верхнего блочного управления, позволяет оператору спрогнозировать развитие технологического процесса и принять управленческие решения для исключения избыточного срабатывания систем безопасности. Статья посвящена аспектам исключения (снижения) избыточного срабатывания систем безопасности посредством реализации программной (виртуальной) модели энергоблока ВВЭР-1200.

Ключевые слова: АСУ ТП, ВВЭР-1200, диверсная система защит, динамическая устойчивость, система информационной поддержки оператора, прогноз состояния энергоблока.

Для цитирования: Тучков М.Ю., Поваров П.В., Мысин К.С. Использование системы информационной поддержки оператора для исключения избыточного срабатывания систем безопасности в переходных процессах на энергоблоках с ВВЭР-1200. *Известия вузов. Ядерная энергетика.* 2026;1:87–97. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2026.1.07>

Введение

Концепция безопасности современных АЭС с реакторами ВВЭР-1200 базируется на применении развитых активных и пассивных систем безопасности, а также сложных алгоритмов управления оборудованием. Для эффективного управления большим количеством основных и вспомогательных агрегатов – на энергоблоке № 6 Нововоронежской АЭС (НВАЭС) насчитывается около 10520 единиц оборудования – отсюда возникает необходимость в высокой степени автоматизации технологических процессов с большим числом измерительных каналов.

Функции автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) для реактора ВВЭР-1200 включают в себя комплекс задач по контролю, управлению и обеспечению безопасности энергоблока. Основные функции АСУ ТП можно структурировать следующим образом.

1) Контроль технологического процесса и состояния оборудования:

- прием и обработка данных с большого количества датчиков (более 10 000 измерительных каналов на энергоблок) по параметрам температуры, давления, уровней, расхода теплоносителя, работы насосов и др.;
- оперативный анализ состояния технологического оборудования и систем энергоблока;
- регистрация, архивирование и представление информации персоналу для мониторинга и принятия решений.

2) Управление технологическими процессами:

- автоматическое управление механизмами и исполнительными устройствами;
- реализация алгоритмов автоматического регулирования мощности реактора и энергораспределения в активной зоне;
- управление системами нормальной эксплуатации.

3) Обеспечение безопасности и реализация защитных функций:

- автоматическое выполнение защитных функций путем воздействия на органы регулирования реактора;
- двухканальное с внутренним резервированием (для РУ В-392М) или четырехканальное (для РУ В-491) построение систем безопасности для повышения надежности;
- контроль и управление системами безопасности, технологическими защитами и блокировками;
- обмен командами защит и блокировок между нижним и верхним уровнями управления.

4) Информационное обеспечение и поддержка операторов:

- централизованная обработка, архивирование и документирование информации;
- формирование команд автоматизированного управления и представление данных на рабочих местах операторов;
- использование программных моделей энергоблока для поддержки принятия решений и снижения информационной нагрузки на операторов;
- контроль и защита от несанкционированного доступа к системе.

Структурно построение АСУ ТП выглядит следующим образом. На нижнем уровне обеспечивается прием и обработка данных с измерительных каналов, реализация алгоритмов управления и защит. На верхнем блочном уровне управления (СВБУ)

реализован централизованный контроль технологических процессов, архивирование и взаимодействие с общестанционными системами. Локальная вычислительная сеть обеспечивает обмен командами и данными между уровнями и системами.

Можно выделить преимущества и особенности АСУ ТП ВВЭР-1200:

- использование современных микропроцессорных технологий и сетевых решений с многоканальной модульной архитектурой;
- высокая степень автоматизации и интеллектуальности системы, соответствие европейским стандартам надежности;
- возможность дистанционного управления и мониторинга в реальном времени;
- системы АСУ ТП обеспечивают надежное функционирование энергоблока как в нормальных режимах, так и при аварийных ситуациях.

Таким образом, АСУ ТП для ВВЭР-1200 выполняет комплексную функцию по обеспечению эффективного, безопасного и надежного управления технологическими процессами энергоблока, включая контроль, автоматическое управление, защиту и информационную поддержку операторов и персонала АЭС [1, 2].

Защита АСУ ТП от ошибок по общей причине

АСУ ТП энергоблоков должны быть защищены от отказов по общей причине (ООП), обусловленных ошибками в программном обеспечении (ПО). Российские и международные нормативные документы однозначно указывают, что надежную защиту от ошибок по общей причине, связанных с возможными ошибками в ПО, можно реализовать только на основе принципа разнообразия [1, 3]¹.

Вирусные атаки на ПО для энергоблоков с реакторами типа ВВЭР показали, что в проектах ядерно-опасных объектов необходимо учитывать возможность одновременного отказа по общей причине всех систем, реализованных на однотипных программных средствах. В соответствии с ГОСТ Р-МЭК 62340-2011 [1] защита от ООП может быть обеспечена применением принципа разнообразия. Решение о применении разнообразия (диверсификации) принимается с учетом вероятности отказа и тяжести последствий².

В проекте АСУ ТП энергоблока №6 НВАЭС применены программно-технические комплексы как в системах нормальной эксплуатации (СНЭ), так и в системах безопасности (СБ). Для исключения отказа в работе управляющих СБ по общей причине в проекте реализованы дополнительные меры, исключающие отказ выполнения функций систем безопасности из-за отказа ПО.

¹ Доказательство того, что любая индивидуальная система контроля и управления не имеет ошибок, невозможно, и поэтому существование скрытых дефектов и связанных с ними механизмов срабатывания не может быть исключено в принципе. Следовательно, возникновение отказов по общей причине не может быть исключено ни для одной индивидуальной системы управления. Применение функционального разнообразия формирует единственную возможность обеспечить защиту от постулируемого скрытого функционального дефекта в спецификации требований [1].

² На основе анализа проектных аварий и соответствующих проектных событий, которые могут быть вызваны отказами систем контроля и управления или связанных с ними подсистем, формируется спецификация требований, которая определяет необходимость использования функционального разнообразия. Она может зависеть от предполагаемых последствий в случае отказа и предполагаемых частот появления этих проектных событий [1].

Для реализации принципа разнообразия как способа исключения (снижения вероятности) отказа по общей причине в управляющей системе безопасности применено сочетание программируемых и непрограммируемых элементов АСУ ТП.

Согласно проекту АСУ ТП АЭС-2006 управляющая система безопасности по технологическим параметрам (УСБТ), системы аварийных и предупредительных защит реализованы на программируемых технических средствах TELEPERM XS (TXS).

Диверсная система защиты

Для реализации принципа разнообразия как одного из направлений по преодолению ООП (в том числе и в программном обеспечении), имеется независимая от системы СУЗ-УСБТ диверсная система защит (ДСЗ), реализованная на отличающихся от УСБТ непрограммируемых технических средствах. Эта система обеспечивает перевод энергоблока в контролируемое и безопасное состояние для различных проектных исходных событий.

ДСЗ в случае отказа иницилирующей части системы аварийной защиты (АЗ) УСБТ или исполнительной части системы АЗ по общей причине должна обеспечивать выполнение следующих основных функций безопасности при наступлении проектных исходных событий режимов категории 2, 3, 4 [2, 4]:

- аварийной остановки реактора и поддержания его в подкритическом состоянии;
- аварийного отвода тепла от реактора;
- удержания радиоактивных веществ в установленных границах.

Несмотря на повышение устойчивости АСУ ТП к отказам по общей причине за счет внедрения ДСЗ возможны случаи избыточного срабатывания этой защиты.

Одним из таких примеров является событие 12 июля 2016 г., происшедшее в 15:33 на энергоблоке № 6 НВАЭС. Вследствие отказа регулятора уровня в компенсаторе давления (КД) из-за разницы в расходах теплоносителя подпитки и продувки первого контура произошло снижение уровня в КД менее 4 метров при температуре первого контура свыше 150 °С. Это инициировало срабатывание аварийной защиты по функции контроля и управления СУЗ-УСБТ «Потеря теплоносителя первого контура», энергоблок был аварийно остановлен, персонал блочного пункта управления (БПУ) приступил к выполнению блока стандартных действий (БСД) «Срабатывание аварийной защиты реактора» инструкции по ликвидации проектных аварий (ИЛА). При последующем снижении уровня в компенсаторе давления менее 3,6 метра при температуре первого контура более 150 °С в 15:33:32 сформировался алгоритм диверсной защиты, согласно которому произошло автоматическое отключение главных циркуляционных насосов ГЦНА-2, 1, а затем в 15:34:24 и ГЦНА-4, 3. Операторы БПУ приступили к действиям по БСД «Расхолаживание реакторной установки в режиме естественной циркуляции» ИЛА и переводу энергоблока в безопасное состояние. Расхолаживание реакторной установки продолжилось в режиме естественной циркуляции, а также за счет подключения к парогенераторам 1, 2, 3, 4 системы пассивного отвода тепла (СПОТ). В 15:38:32 из-за снижения давления в паропроводе парогенераторов (ПГ) менее 5,53 МПа и разности температур насыщения первого и второго контуров более 70 °С при температуре в горячей нитке петли первого контура более 150 °С сработал алгоритм функции контроля и управления Аварийная защита

«Потеря питательной воды/разрыв паропровода», в соответствии с логикой которого произошла полная локализация ПГ-1, 2, 3, 4 по воде и пару (при отсутствии реальной течи теплоносителя первого контура в ПГ). При этом реальная необходимость работы систем безопасности и ДСЗ отсутствовала. Очевиден недостаток проекта в части «ложной» работы ДСЗ, при этом могут возникать режимные нарушения, требующие вмешательства оперативного персонала. Хотя все действия штатной СУЗ-УСБТ и ДСЗ были направлены на обеспечение безопасности, результат их совместных действий потребовал проведения большого количества операций по переводу энергоблока в исходное состояние. В 16:03 в результате действий персонала БПУ в соответствии с утвержденными процедурами уровень в компенсаторе давления был восстановлен до значения более 4 метров, а в 17:00 застabilизированы параметры первого и второго контуров, создана минимально-допустимая концентрация борной кислоты в теплоносителе первого контура и закончены действия по БСД «Срабатывание аварийной защиты реактора» и «Расхолаживание реакторной установки в режиме естественной циркуляции».

Снижение давления на всасе насосов системы подпитки (продувки) первого контура (КВА) (в переходном процессе) при отключении одного из двух параллельно работающих – есть причина отключения всех подпиточных насосов. Очевидно, ложной защиты ДСЗ можно было бы избежать, изменив алгоритм работы насосов КВА. Насос КВА отключается при понижении давления на всасе < 0.02 МПа. Для повышения динамической устойчивости энергоблока необходимо реализовать автоматическое закрытие задвижки на линии рециркуляции отключаемого насоса при отключении одного из двух работающих подпиточных насосов, а для предотвращения отключения насосов КВА при кратковременном понижении давления на всасе ниже $0,02$ МПа предлагается установить время выдержки защиты 6 секунд.

Система интеллектуальной поддержки оператора

Система информационной поддержки оператора (СИПО) реализована в виде программного комплекса, функционирующего на выделенных серверах в составе АСУ ТП энергоблока. Программная часть включает в себя базу знаний, содержащую формализованные сценарии переходных процессов, и модуль логического вывода, работающий в реальном времени. Интерфейс взаимодействия с оператором выводится на резервные видеотерминалы в основной и резервной комнатах управления.

Визуализация в системе СИПО

Для наглядного представления рекомендаций система СИПО использует специализированные мнемосхемы и диалоговые окна. Примеры интерфейса системы, отображающего текущий статус параметров и выданную рекомендацию, приведены на рис. 1, 2. На рисунках представлены основные элементы управления и визуализации: график изменения ключевых параметров, цветовая индикация состояния систем, текстовые рекомендации для оператора по управлению режимом.

Как оператору можно было бы избежать избыточного срабатывания ДСЗ? Внедрение системы поддержки принятия решений в АСУ ТП для прогнозирования состояния

Using the Operator's Information Support System to Eliminate Excessive Activation of Safety Systems in Transients at VVER-1200 Power Units

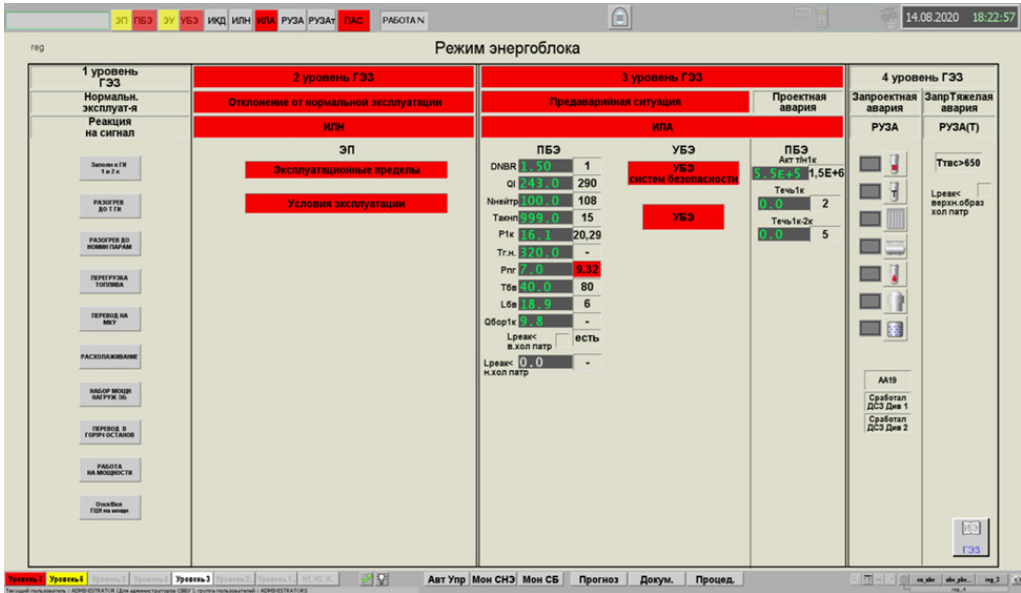


Рис. 1. Видеоквдр обобщенного контроля уровней ГЭЗ

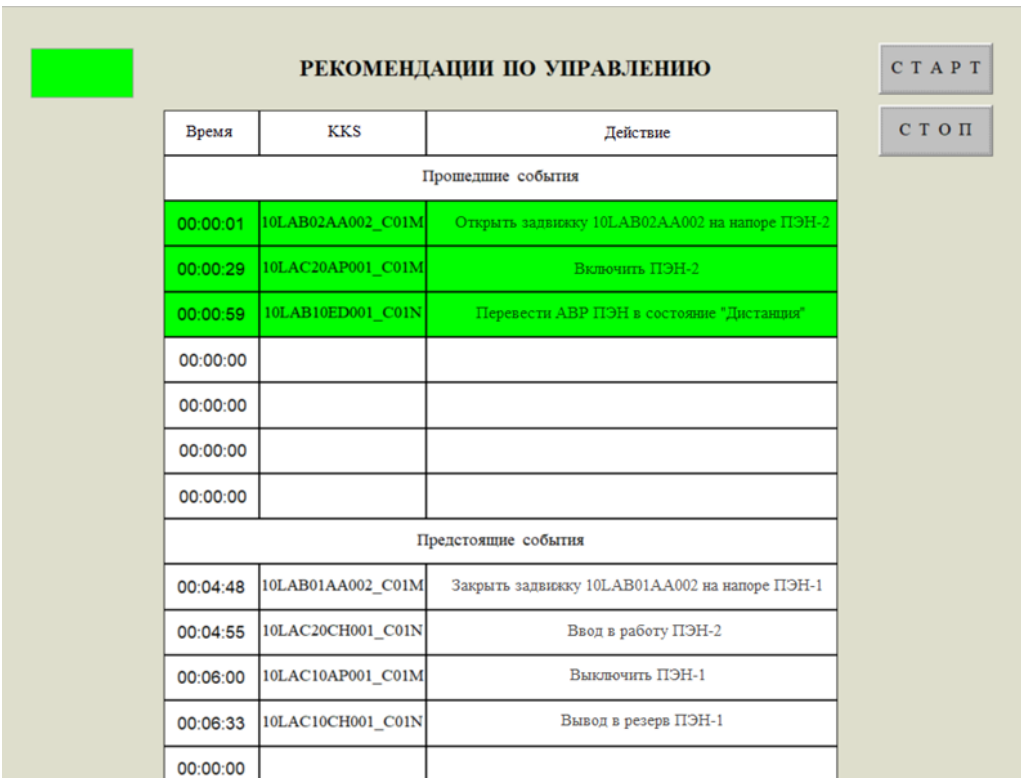


Рис. 2. Фрагмент видеоквдра с рекомендациями по управлению

энергоблока при переходных процессах, в том числе связанных с падением уровня в КД, позволило бы оператору своевременно предпринять корректирующие действия. Это исключило бы срабатывание СБ и ДСЗ.

В НП-001-15 [3] введено понятие системы информационной поддержки оператора (СИПО).

Во всех состояниях энергоблока АЭС важно обеспечить оператора всей необходимой информацией о состоянии объекта. В ситуациях, когда оператор не ограничен во времени для принятия решения, он производит анализ состояния системы (оборудования) с использованием всех доступных источников информации:

- инструкции по эксплуатации, регламенты, программы;
- сообщения обходчиков по визуальному осмотру оборудования;
- сигнализация на панелях управления блочного пульта управления;
- данные АСУ ТП на автоматизированных рабочих местах оператора.

При этом база данных СВБУ содержит порядка 170 тыс. сигналов, которые выводятся оператору на более чем 1500 видеокдрах, а количество сигнализаций на панелях БПУ более 700. В ситуациях с дефицитом времени для принятия решения нужен один достоверный источник информации, выдающий отфильтрованную сжатую информацию в доступном и удобном виде.

Основной причиной информационной перегрузки оператора является отсутствие в действующей АСУ ТП ВВЭР-1200 инструментов для анализа взаимной согласованности результатов измерений и формирования обобщенных оценок состояния энергоблока и его технологических систем. Внедрение СИПО позволит значительно ограничить информационную нагрузку на оператора и повысить безопасность и надежность управления технологическим процессом на энергоблоке с ВВЭР-1200.

Система информационной поддержки оператора создается с целью снижения вероятности ошибочных действий оперативного персонала БПУ путем

- уменьшения информационной нагрузки на оперативный персонал БПУ до целевых значений, указанных в нормативных документах;
- анализа работы технологического оборудования и представления персоналу обработанной информации о причинах возникновения отклонений и необходимых действиях персонала при эксплуатации с отклонениями;
- прогнозирования развития технологического процесса для раннего предупреждения оператора о возможных нарушениях в работе энергоблока;
- представления оперативному персоналу информации, необходимой для принятия оптимального решения по управлению возникшей ситуацией, предупреждению аварии и ограничению ее последствий;
- диагностики состояния и эффективности оборудования.

Макет такой системы разработан и внедрен на энергоблоке №6 НВАЭС [5 – 7].

В СИПО реализована функция «Рекомендации по оптимизации управления технологическим процессом», предназначенная для выдачи рекомендаций при сложном управлении энергоблоком в маневренных режимах (суточное, недельное маневрирование, диспетчерские ограничения) и во всех режимах энергоблока по управлению положением ОР СУЗ и борной системой, а также по работе других технологических систем. Использование программной (виртуальной) модели энергоблока, интегрированной в СВБУ, позволяет оператору прогнозировать развитие технологического процесса, снижая вероятность ошибок и повышая эффективность и безопасность эксплуатации энергоблока. В СИПО реализована функция автоматического прогнозирования состояния энергоблока как с управляющими воздействиями оператора, так и без таковых.

Смоделировав событие в прогнозной модели СИПО, произошедшее 12.07.2016 г. на энергоблоке № 6 НВАЭС, можно сделать вывод, что если бы оператор БПУ построил прогноз состояния энергоблока на полчаса вперед, то смог бы

а) оценить динамику интенсивно снижающегося уровня в компенсаторе давления и спрогнозировать срабатывание функции контроля и управления — Аварийная защита «Потеря теплоносителя первого контура» с первопричиной «Уровень в КД менее 4 метра» при температуре первого контура более 150°C;

б) предпринять своевременные действия, направленные на возвращение уровня в компенсаторе давления к своему номинальному значению, тем самым исключив избыточное срабатывание ДСЗ.

На основании работы прогнозной модели СИПО могли быть предприняты меры по изменению степени открытия регуляторов и заблаговременному безударному включению резервных подпиточных насосов. Кроме того, такой прогноз позволил бы своевременно выявить возможный отказ средств измерения.

Современное развитие технологических процессов генерации электрической энергии неизбежно сопровождается увеличением объемов информации, которую оператор блочного пункта управления должен оперативно воспринимать и анализировать, и на основании этого принимать своевременные и обоснованные решения. В условиях ограниченных человеческих ресурсов возникает необходимость внедрения цифровых помощников. Одним из наиболее эффективных инструментов такого рода является СИПО, которая уже доказала свою результативность на практике, существенно облегчая работу персонала и повышая безопасность эксплуатации оборудования.

Заключение

1. Современные проекты АСУ ТП для ВВЭР-1200, в том числе программное обеспечение, имеют дефициты защищенности от ошибок по общей причине.

2. Для исключения ошибок по общей причине в составе современных АСУ ТП должна применяться диверсная система защиты, реализованная на непрограммируемых технических средствах.

3. Повышение динамической устойчивости энергоблока с ВВЭР-1200 при отключении оборудования возможно за счет изменения уставок технологических защит, блокировок и алгоритмов работы оборудования.

4. Исключение избыточного срабатывания СБ и ДСЗ достигается за счет использования функции СИПО для построения прогноза состояния энергоблока и принятия упреждающих управленческих воздействий оператором БПУ.

Литература

1. ГОСТ Р МЭК 61513-2020. «Системы контроля и управления, важные для безопасности атомной станции. Общие требования». М.: Стандартиформ, 2020, 90 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293722/4293722987.pdf?ysclid=mkm8gk1uxn169254606> (дата обращения 12.01.2026).

2. Андропов Е.В., Коган И.Р., Поваров В.П., Павлов Л.П. Алгоритмизация управления диверсной системой комплексной защиты блоков АЭС. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2015;11(5):51–58. URL: https://cchgeu.ru/science/nauchnye-izdaniya/vestnik-voronezhskogo-gosudarstvennogo-tehnicheskogo-universiteta/fayly/vypuski/11_5.pdf (дата обращения 01.11.2025).

3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. НП-001-15. Ростехнадзор, Приказ от 17 декабря 2015 г. № 522. URL: <https://docs.secncs.ru/documents/nps/%D0%9D%D0%9F-001-15/%D0%9D%D0%9F-001-15.html> (дата обращения 01.11.2025).

4. Андропов Е.В., Коган И.Р., Поваров В.П., Павлов Л.П. Повышение надежности эксплуатации АЭС на основе реализации принципа разнообразия. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2017;3:33–44. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2017.3.03>

5. Гусев И.Н., Соловьев Б.Л., Поваров В.П., Кужиль А.С., Падун С.П. Использование результатов пусконаладочных работ для создания, настройки и валидации системы интеллектуальной поддержки оператора на блоке №1 Нововоронежской АЭС-2. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2017;3:45–54. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2017.3.04>

6. Стацера Д.Б., Тучков М.Ю., Поваров П.В., Тихонов А.И., Падун С.П., Воробьев А.П., Майорова М.М. Использование программной модели блока для совершенствования проектных решений и оптимизации управления технологическим процессом. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2020;4:37–49. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2020.4.04>

7. Тучков М.Ю., Поваров П.В., Тихонов А.И., Майорова М.М. Разработка и валидация программного средства «Интерактивная процедура пуска энергоблока» в рамках реализации системы информационной поддержки оператора на НВАЭС. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2021;2:5–15. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2021.2.01>

Поступила в редакцию 03.09.2025

После доработки 20.01.2026

Принята к опубликованию 20.03.2026

Авторы

Тучков Максим Юрьевич, заместитель главного инженера по эксплуатации, к.т.н.,

E-mail: TuchkovMU@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Поваров Петр Владимирович, начальник реакторного цеха № 6,

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

Мысин Константин Сергеевич, начальник смены блока 6,

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

UDC 621.039

Using the Operator's Information Support System to Eliminate Excessive Activation of Safety Systems in Transients at VVER-1200 Power Units

Tuchkov M.Yu., Povarov P.V., Mysin K.S.

*Branch of JSC Rosenergoatom Concern, Novovoronezh Nuclear Power Plant,
1 Industrial zone Yuzhnaya, 396072 Novovoronezh, Voronezh reg., Russia*

Abstract

The automated process control system for VVER-1200 performs a comprehensive function to ensure efficient, safe and reliable control of the power unit's technological processes, including monitoring, automatic control, protection and information support for NPP operators and personnel. Protection against errors for a common reason can be provided by applying the principle of diversity. To ensure this principle, the VVER-1200 automated process control system has an independent sabotage protection system (DSZ) implemented by non-programmable technical means. Despite the increased resistance of automated

process control systems to failures due to a common cause due to the introduction of DSPs, there may be cases of excessive activation of these protections. The use of a power unit software model integrated into the upper block control system (CBM) allows the operator to predict the development of the technological process and make management decisions to eliminate excessive activation of safety systems. The article is devoted to the aspects of eliminating/reducing excessive activation of safety systems through the implementation of a software/virtual model of the VVER-1200 power unit.

Keywords: automated process control system (APCS), VVER-1200, diverse protection system, dynamic stability, operator information support system, power unit state forecast.

For citation: Tuchkov M.Yu., Povarov P.V., Mysin K.S. Using the Operator's Information Support System to Eliminate Excessive Activation of Safety Systems in Transients at VVER-1200 Power Units. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2026;1:87–97. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2026.1.07> (in Russian).

References

1. GOST R IEC 61513-2020. Instrumentation and Control Systems Important to Nuclear Power Plants Safety. Common Requirements. Moscow, Standartinform, 2012, 24 p. URL: 2020, 90 c. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293722/4293722987.pdf?ysclid=mkm8gk1uxn169254606> (accessed Jan.12, 2026) (in Russian).
2. Andropov E.V., Kogan I.R., Povarov V.P., Pavlov L.P. Algorithmization of the control of the integrated protection system of NPP units. *Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2015;11(5):51–58. URL: https://cchgeu.ru/science/nauchnye-izdaniya/vestnik-voronezhskogo-gosudarstvennogo-tehnicheskogo-universiteta-/fayly/vypuski/11_5.pdf (accessed Nov.01, 2025) (in Russian).
3. Federal norms and rules in the field of atomic energy use. General provisions for ensuring the safety of nuclear power plants. NP-001-15. Rostekhnadzor, Ord. 522, December 17, 2015. URL: <https://docs.secnrs.ru/documents/nps/%D0%9D%D0%9F-001-15/%D0%9D%D0%9F-001-15.html> (accessed Nov. 01, 2025) (in Russian).
4. Andropov E.V., Kogan I.R., Povarov V.P., Pavlov L.P. NPP operational reliability improvement based on the diversity principle. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2017;3:33–44. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2017.3.03> (in Russian).
5. Gusev I.N., Solovoyov B.L., Povarov V.P., Kuzhil A.S., Padun S.P. Use of pre-commissioning results to develop, tune and validate the operator intelligent support system at unit № 1 of Novovoronezh NPP II. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2017;3:45–54. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2017.3.04> (in Russian).
6. Statsura D.B., Tuchkov M.Yu., Povarov P.V., Tikhonov A.I., Padun S.P., Vorobyov A.P., Mayorova M.M. Using the Unit Simulation Model to Improve Design Solutions and Optimize Process Management. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2020;4:37–49; DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2020.4.04> (in Russian).
7. Tuchkov M.Yu., Povarov P.V., Tikhonov A.I., Mayorova M.M. Development and Validation of the Software Tool «Interactive Unit Startup Procedure» as Part of Implementation of the Operator Information Support System at NVNPP. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2021;2:5–14. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2021.2.01> (in Russian).

Authors

Maxim Yu. Tuchkov, Deputy Chief Engineer for Operations, Cand. Sci. (Engineering),

E-mail: TuchkovMU@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Peter V. Povarov, Head of Reactor Shop No. 6,

E-mail: PovarovPV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Konstantin S. Mysin, Shift supervisor of Unit 6,

E-mail: MysinKS@nvnpp1.rosenergoatom.ru