



УДК: 621.039

DOI: 10.26277/SECNRS.2026.121.3.005

© 2026. Все права защищены.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ, КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ЯДЕРНО ОПАСНЫХ РАБОТ

Григорашенко С. М.* (GrigorashenkoSM@kolnpp.rosenergoatom.ru)

Статья поступила в редакцию 6 августа 2026 г.

Аннотация

В статье рассмотрена взаимосвязь между уровнями глубокоэшелонированной защиты, организацией ядерно опасных работ и культурой безопасности персонала для обеспечения безопасности объектов использования атомной энергии. Показано, что эффективность технических и организационных барьеров безопасности во многом определяется человеческим фактором и уровнем приверженности персонала принципам безопасности. Приведены перечни работ, отнесенных к ядерно опасным вне зависимости от проекта реакторной установки атомной станции.

Представлены результаты анализа роли культуры безопасности в предупреждении нарушений при выполнении ядерно опасных работ и обеспечении надежности защитных барьеров. Рассмотрена связь надежности оператора и безотказности его действий, направленных на достижение конкретных профессиональных целей в процессе взаимодействия с техникой и другими специалистами. Приведен обзор исследований аварийности и продемонстрирована взаимодополняющая связь глубокоэшелонированной защиты, культуры безопасности и ядерно опасных работ.

► **Ключевые слова:** глубокоэшелонированная защита, культура безопасности, ядерная безопасность, ядерно опасные работы, человеческий фактор, атомная станция, защитные барьеры, ошибка персонала.

* Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Кольская атомная станция», Мурманская область, г. Полярные Зори, Россия.

THE INTERRELATION OF DEFENCE IN DEPTH, SAFETY CULTURE AND NUCLEAR-HAZARDOUS WORK

Grigoraschenko S. M.*

The article was received by the editors' crew on August 6, 2026.

Abstract

The article examines the interrelation between defence in depth levels, the management of nuclear-hazardous work and personnel safety culture for ensuring the safety of nuclear facilities. It is shown that the effectiveness of technical and organizational safety barriers is largely determined by the human factor and the level of personnel commitment to safety principles. The paper provides lists of work classified as nuclear-hazardous regardless of the specific nuclear power plant reactor design.

Furthermore, it presents the results of an analysis regarding the role of safety culture in preventing violations during nuclear-hazardous work and ensuring the reliability of protective barriers. The study considers the relationship between operator reliability and the dependability of their actions aimed at achieving specific professional goals when interacting with equipment and other specialists. A review of accident rate research is provided and the complementary connection between defence in depth, safety culture and nuclear-hazardous work is demonstrated.

► **Keywords:** *defence in depth, safety culture, nuclear safety, nuclear-hazardous work, nuclear-critical tasks, human factor, nuclear power plant, safety barriers, human error.*

* Kola Nuclear Power Plant, a Branch of Rosenergoatom Concern JSC, Polyarnye Zori, Murmansk region, Russia.

Введение

Развитие атомной энергетики требует обеспечения высокого уровня безопасности на всех этапах жизненного цикла ядерных установок. Опыт эксплуатации атомных станций (АС) и анализ причин тяжелых аварий показали [1], что безопасность не может быть обеспечена исключительно техническими средствами. Надежная защита достигается за счет комплексного сочетания инженерных решений, организационных мер и ответственного поведения персонала.

Фундаментальным принципом современной ядерной безопасности является принцип глубокоэшелонированной защиты [2, 3]. Он основан на применении системы физических барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду, а также системы технических и организационных мер по защите барьеров и сохранению их эффективности, защите персонала, населения и окружающей среды [4]. Данный принцип предусматривает создание нескольких независимых уровней защиты для предотвращения аварий и ограничения их последствий. Одновременно важнейшим фактором безопасной эксплуатации является культура безопасности – набор характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц, который устанавливает, что вопросам обеспечения безопасности АС, как обладающим высшим приоритетом, уделяется внимание, определяемое их значимостью [4]. Культура безопасности – комплексное понятие, включающее лидерство руководства, личную ответственность, соблюдение процедур, профессиональную компетентность, открытость в выявлении ошибок и непрерывное совершенствование, определяющее отношение руководителей и работников к вопросам безопасности [3].

Особое значение данные аспекты приобретают при выполнении ядерно опасных работ. К ним относятся работы с системами или элементами АС, важными для безопасности (включая испытания, вывод в ремонт и ввод в работу), не предусмотренные технологическим регламентом эксплуатации блока АС и инструкциями по эксплуатации. Также сюда относятся иные работы, включенные в перечень ядерно опасных работ эксплуатирующей организацией на основе опыта эксплуатации, в том числе по результатам расследования нарушений в работе АС, с учетом проектной и конструкторской документации. Это обусловлено необходимостью установления к таким работам особых требований,

не отраженных в технологическом регламенте эксплуатации блока АС и инструкциях по эксплуатации. К ядерно опасным работам относятся только такие работы, нарушение установленного порядка проведения которых может привести к ядерной аварии [3].

Ядерно опасные работы связаны с потенциальным воздействием на состояние ядерной установки, ядерных материалов или систем безопасности. Именно в ходе таких работ наиболее отчетливо проявляется влияние человеческого фактора на надежность функционирования системы обеспечения безопасности. Понимание взаимосвязи рассматриваемых терминов имеет ключевое значение для любого специалиста, работающего в атомной отрасли, – от оперативного персонала до руководства эксплуатирующей организации.

Целью данной работы является проведение анализа нормативной базы в отношении терминов «глубокоэшелонированная защита», «культура безопасности» и «ядерно опасные работы» для:

- выявления взаимозависимости рассматриваемых терминов и их роли в принятой архитектуре безопасности;
- определения путей развития системы обеспечения безопасности АС, а также выявления факторов, ослабляющих рассматриваемые понятия;
- разработки практических предложений, методологических подходов, а также нормативных решений, направленных на повышение безопасности при эксплуатации АС.

1. Принцип глубокоэшелонированной защиты как основа ядерной безопасности

Принцип глубокоэшелонированной защиты является базовым принципом безопасности, закрепленным в документах Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) [2] и в нормативных актах российского регулирования в области обеспечения безопасности АС [3].

Сущность принципа заключается в создании последовательной системы физических барьеров и организационных мер, предотвращающих развитие аварийных процессов и ограничивающих последствия возможных отказов. Современный подход выделяет пять уровней глубокоэшелонированной защиты [2, 3]:

Уровень 1. Предотвращение нарушений нормальной эксплуатации и отказов.

Включает качественное проектирование, изготовление оборудования, строительство, подготовку персонала и эксплуатацию.

Уровень 2. Контроль за нарушениями нормальной эксплуатации и обнаружение отказов.

Обеспечивает своевременное обнаружение и устранение отклонений от штатных режимов работы.

Уровень 3. Удержание аварий в рамках проектной основы.

Реализуется за счет применения автоматических систем безопасности, обеспечивающих останов реактора и охлаждение активной зоны в соответствии с аварийными сценариями.

Уровень 4. Управление тяжелыми состояниями станции, включая предотвращение развития аварии и смягчение последствий тяжелых аварий.

Направлен на предотвращение тяжелого повреждения активной зоны и сохранение локализирующих барьеров.

Уровень 5. Смягчение радиологических последствий значительных выбросов радиоактивных материалов во внешнюю среду.

Предназначен для защиты персонала, населения и окружающей среды при возникновении тяжелых аварий.

Каждый последующий уровень вступает в действие в случае отказа предыдущего. Такая структура охватывает не только технические средства, но и организационные и поведенческие аспекты.

2. Культура безопасности как фактор надежности глубокоэшелонированной защиты

Термин «культура безопасности» был впервые введен Международной консультативной группой по ядерной безопасности (INSAG) после анализа причин аварии на Чернобыльской АЭС [4].

Нормативное регулирование культуры безопасности в российских нормах и правилах и в документах МАГАТЭ в своей основе идентично, это обусловлено тем, что сама концепция культуры безопасности была разработана МАГАТЭ, а Россия полностью интегрировала ее в национальное законодательство. В отечественной нормативной базе данный термин закреплен в НП-001-15 [3], а также в РБ-129-17 [5].

Эксплуатирующей организацией АО «Концерн Росэнергоатом» разработано большое количество нормативно-методических документов по лидерству, предотвращению ошибок и мотивации персонала, внедрена модель руководителя-лидера, распространяющаяся на различные уровни управления на АС и в центральном аппарате организации. Это позволяет сделать вывод о том, что отечественная

нормативная база по культуре безопасности дополняет комплекс рекомендаций МАГАТЭ.

Согласно определению INSAG-4 [6], культура безопасности представляет собой совокупность характеристик и особенностей деятельности организаций и отдельных лиц, обеспечивающих приоритетное внимание вопросам безопасности. Основными элементами культуры безопасности являются:

- лидерство руководства в вопросах безопасности;
- личная ответственность работников;
- соблюдение процедур и инструкций;
- развитие профессиональной компетентности;
- открытость в выявлении и обсуждении ошибок;
- непрерывное совершенствование деятельности.

Культура безопасности оказывает влияние на все уровни глубокоэшелонированной защиты, поскольку именно персонал обеспечивает функционирование системы управления, выполнение эксплуатационных процедур, обеспечение готовности систем безопасности, а также реализацию аварийных мероприятий в случае их необходимости. Даже при наличии современных технических средств, снижение уровня культуры безопасности способно привести к последовательному ослаблению нескольких уровней защиты. Культура безопасности, глубокоэшелонированная защита и ядерно опасные работы фундаментально взаимосвязаны.

Без должного уровня культуры безопасности эффективность глубокоэшелонированной защиты может существенно снижаться. Именно культура безопасности превращает статические инженерные барьеры в динамичную, адаптивную систему. Она управляет третьим и четвертым уровнями глубокоэшелонированной защиты, где решения принимаются людьми в условиях стресса и неопределенности. На примере ядерно опасных работ взаимосвязь проявляется следующим образом: высокий уровень культуры безопасности позволяет персоналу не просто следовать инструкциям, но и осознавать скрытые риски и возможные «сценарии развития» ситуации, что напрямую соответствует целям глубокоэшелонированной защиты.

Здоровая культура безопасности также обеспечивает честный и открытый анализ ошибок. Важно отметить, что культура безопасности, помимо прочего, предполагает «выработку критической позиции к своим действиям, уровню знаний и степени ответственности», что является необходимым условием при выполнении ядерно опасных работ.

3. Ядерно опасные работы как область повышенного риска

Российский термин «ядерно опасные работы» является уникальным и не имеющим прямых аналогов в международной практике. Под ядерно опасными работами понимаются работы, неправильное выполнение которых может привести к нарушению условий, при которых обеспечивается ядерная безопасность, повреждению защитных барьеров или возникновению аварийной ситуации. На АС в состав проекта включены проектные перечни ядерно опасных работ, и на основании проектной документации, опыта эксплуатации разработаны эксплуатационные перечни ядерно опасных работ, входящие отдельным разделом в технологические регламенты эксплуатации. К таким работам относятся:

- перегрузка активной зоны;
- перемещение ядерного топлива;
- ремонтные работы в системе управления и защиты: любые вмешательства в системы, от которых зависит управление цепной реакцией деления;
- отдельные технологические операции, связанные с вводом положительной реактивности (ввод в работу петли, проверка сцепления органа регулирования и др.);
- проведение нейтронно-физических измерений после перегрузки;
- отдельные транспортно-технологические операции, выполняемые при разборке-сборке реактора;
- работы с ядерным топливом в бассейнах выдержки;
- работы, не предусмотренные технологическим регламентом безопасной эксплуатации и инструкциями по эксплуатации.

Особенностью ядерно опасных работ является значительная тяжесть потенциальных последствий ошибок персонала. Даже незначительное отклонение от установленного порядка выполнения операций способно привести к снижению эффективности защитных барьеров или созданию предпосылок для аварийного развития событий.

Особая опасность ядерно опасных работ связана с тем, что при их проведении штатные системы могут быть выведены из эксплуатации (например, при ремонте) на период, установленный проектом. В таких условиях действия персонала становятся менее автоматизированными, а вероятность совершения ошибки возрастает. Примером такой работы может служить проведение гидравлических испытаний первого контура на плотность и прочность. Для их выполнения

отключают трубопроводы связи системы безопасности, системы сброса давления и измерительные каналы давления и температуры. На время испытаний в работе остаются только два канала измерения давления и температуры. Именно поэтому ядерно опасные работы представляют собой один из ключевых вызовов для обеспечения безопасности и требуют высокого уровня как технической подготовки персонала, так и культуры безопасности.

4. Ядерно опасные работы как индикатор состояния культуры безопасности

Проведение ядерно опасных работ требует выполнения большого комплекса мероприятий: создания рабочей программы, ее согласования и утверждения, а в отдельных случаях – и прохождения процедуры изменения условий действия лицензии на эксплуатацию с привлечением сторонних организаций.

Действующие требования к рабочей программе, установленные в [7], предполагают возложение ответственности за ее проведение и разработку комплекса технических и организационных мер по обеспечению ядерной безопасности. Проведение самой ядерно опасной работы представляет комплекс мероприятий, который начинается с планирования и подготовительных мероприятий, включает сами технологические операции, а также завершается финальными этапами и оформлением отчетных документов.

Реализация всех упомянутых мероприятий охватывает весь «набор характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц» (согласно [3]), определяющий достигнутый уровень культуры безопасности, которая является комплексной характеристикой деятельности АС. Одним из индикаторов зрелости культуры безопасности можно считать способность на АС безопасно планировать и выполнять ядерно опасные работы. Если в рутинных операциях проблемы могут быть скрыты и малозаметны, то при проведении ядерно опасных работ любые недостатки в обучении, дисциплине, коммуникации или лидерстве с высокой вероятностью могут привести к инциденту.

Ошибки в планировании и проведении ядерно опасных работ часто указывают на системные проблемы в культуре безопасности, такие как:

- нарушение принципов коммуникации (разрывы в цепочке передачи информации);
- отсутствие механизмов выявления потенциальных ошибок до их совершения («человеческий фактор» во всей его сложности);

- недостаточный уровень навыков и компетенций персонала.

5. Влияние культуры безопасности на выполнение ядерно опасных работ

Организация ядерно опасных работ предусматривает применение комплекса мер, направленных на исключение ошибок персонала. К числу таких мер относятся:

- *Предварительная оценка безопасности.* До начала выполнения работ проводится анализ возможного влияния планируемых операций на безопасность блока, оценивается возможность совмещения ядерно опасных операций с другими работами на блоке или на площадке АС;

- *Формализованные процедуры.* Все операции выполняются по утвержденным программам, инструкциям, технологическим картам или регламентам. Оформляются необходимые заявки с ознакомлением или согласованием всех заинтересованных сторон;

- *Независимый контроль.* Критические действия подтверждаются дополнительной проверкой другим специалистом из числа административно-технического персонала. Такой контроль предусмотрен [7] как организационная мера обеспечения ядерной безопасности – производственный контроль состояния ядерной безопасности. На этот вид деятельности национальным регулятором выдается отдельное Разрешение на право ведения работ в области использования атомной энергии [8];

- *Контроль конфигурации оборудования.* Программой проведения работ предусматривается исходное и конечное состояния оборудования блока или АС, исключается возможность непредусмотренного изменения состояния систем безопасности;

- *Анализ опыта эксплуатации.* Учитываются результаты предыдущих работ и выявленные нарушения на этапах: разработки специальной рабочей программы; во время проведения инструктажей перед началом работ.

Перечисленные меры являются практическим проявлением культуры безопасности и одновременно механизмами поддержания глубокоэшелонированной защиты.

6. Роль принципа глубокоэшелонированной защиты в контексте ядерно опасных работ

При проведении ядерно опасных работ принцип глубокоэшелонированной защиты требует особого

внимания. Поскольку штатные барьеры могут быть временно ослаблены (например, открыт корпус реактора — работы на разуплотненном оборудовании или выведены из работы отдельные системы (элементы), важные для безопасности, которые в нормальном режиме должны находиться в «стерегущем» режиме), необходимо сознательное и тщательное усиление других уровней. Это достигается путем внедрения компенсирующих мер:

- временные технические барьеры: установка дополнительных ограждений, сигнализации, блокирующих устройств;

- организационные барьеры: оформление заявки, введение наряда-допуска с поэтапным контролем, присутствие независимого наблюдателя контролирующего лица;

- административные барьеры: строгие ограничения на количество персонала в зоне работ или временные ограничения на вывод системы (элемента) из работы;

- усиленный контроль: дополнительные проверки и наблюдения со стороны служб безопасности, производственного, инспекционного контроля и руководства АС.

Эти компенсирующие меры являются прямым приложением принципа глубокоэшелонированной защиты к ядерно опасным работам, где каждый ослабленный штатный барьер должен быть заменен одним или несколькими временными или организационными барьерами.

7. Взаимосвязь глубокоэшелонированной защиты, культуры безопасности и ядерно опасных работ

Взаимодействие рассматриваемых элементов можно представить как единую систему. Принцип глубокоэшелонированной защиты определяет структуру безопасности объекта. Культура безопасности обеспечивает надежное функционирование данной структуры. Ядерно опасные работы выступают областью практической реализации требований безопасности.

Таким образом, глубокоэшелонированная защита формирует уровни и барьеры безопасности. Культура безопасности обеспечивает надежность деятельности персонала и сохранение эффективности барьеров. Ядерно опасные работы являются сферой применения защитных мер и одновременно источником потенциальных угроз безопасности.

При недостаточном уровне культуры безопасности возможно возникновение следующих негативных факторов:

- нарушение технологического регламента;
- нарушение требований инструкции;
- ошибки при переключениях;
- сокрытие нарушений;
- снижение эффективности независимого

контроля.

В результате происходит ослабление отдельных уровней глубокоэшелонированной защиты и увеличение вероятности возникновения аварийных ситуаций.

8. Уроки крупных ядерных аварий

В настоящем разделе рассматриваются крупные катастрофы, произошедшие на АС с позиции выполнения ядерно опасных работ при наличии признаков слабого проявления культуры безопасности, что привело к отказам уровней глубокоэшелонированной защиты.

Авария на АЭС “Three mile island” (1979 г.)

Причинами аварии стали [1]:

- неприведение технологической схемы вспомогательного питательного насоса в проектное положение после ранее проведенных испытаний (нарушение инструкции);
- незакрытие клапана компенсатора объема;
- отсутствие указателя положения импульсно-предохранительного клапана;
- недостаточная подготовка операторов;
- недостатки проекта;
- ошибки операторов.

Наложение технических неполадок привело к выходу ситуации за рамки концепции единичного отказа.

Чернобыльская авария (1986 г.)

Причинами аварии стали [1]:

- сознательное отступление от утвержденной программы испытаний;
- отключение систем защиты;
- недостаточная подготовка персонала;
- недостатки проекта.

Авария продемонстрировала, что нарушения организационного характера способны разрушить эффективность нескольких уровней глубокоэшелонированной защиты.

Авария на АЭС «Фукусима-Дайичи» (2011 г.)

Несмотря на природный характер инициирующего события, расследования выявили [9]:

- недостаточную готовность к экстремальным воздействиям;
- недооценку рисков на уровне проекта и при управлении аварией;

- недостатки системы управления безопасностью.

Данный опыт подтвердил необходимость постоянного совершенствования как технических, так и организационных мер, направленных на обеспечение безопасности.

9. Перспективы совершенствования системы обеспечения безопасности и человеческий фактор

Современные подходы к развитию обеспечения безопасности по минимизации влияния человеческого фактора предусматривают:

- внедрение принципов Human Performance [10];
- риск-ориентированное планирование работ;
- использование современных информационных систем поддержки операторов;
- применение машинного обучения;
- роботизацию ядерно опасных работ [11];
- применение искусственного интеллекта [12];
- развитие культуры информирования о нарушениях;
- применение поведенческих индикаторов безопасности;
- интеграцию показателей культуры безопасности в систему управления ядерной безопасностью, в том числе и ядерно опасными работами.

Особую актуальность данные направления приобретают для блоков АС, участвующих в маневренных режимах работы (режиме суточного регулирования), а также в общем и первичном регулировании частоты в энергосистеме [13].

В работах [14–16] представлены методы оценки влияния человеческого фактора, приводящие к нарушениям нормальной эксплуатации, предаварийным ситуациям и авариям. Метод SPAR-H (Standardized Plant Analysis Risk Human Reliability Analysis), разработанный министерством энергетики США, основывается на расчете вероятности ошибки оператора (человеческой ошибки) при возникновении нештатных ситуаций на АС. Метод декомпозирует деятельность человека на когнитивную и физическую составляющие с помощью контекстуальных факторов, принимаются во внимание доступное время выполнения операции, стрессовые факторы, сложность задачи, опыт и квалификация персонала, качество и наличие процедур, эргономика и другие важные составляющие для оценки вероятности ошибки. В соответствии с [16], невзирая на простоту метода SPAR-H, автор указывает на существенные недостатки метода, заключающиеся в большом

количестве неопределенностей и экспертных оценок при построении деревьев событий.

По результатам исследования анализа коренных причин неправильных действий персонала 10 АС АО «Концерн Росэнергоатом» за период с 2019 по 2023 г., приведенного в [17], указано, что в 17 нарушениях, которые произошли за 5 лет, 95 % коренных причин приходится на недостатки управления АС и недостатки организации эксплуатации АС, 3 % – связаны с ошибками проектирования (включая изменения) и по 1 % – приходится на недостатки проектной, конструкторской и другой документации завода-изготовителя и ошибки конструирования (включая изменения).

При этом недостатки управления АС и недостатки организации эксплуатации АС включают следующие причины (от наибольшего вклада к наименьшему):

- 70 % приходится на недостатки персонала АС;
- 13 % связаны с недостатками эксплуатационной документации (отсутствие документации, неправильное или неоднозначное определение требований документации, несвоевременное внесение изменений в документацию);
- 8 % связаны с недостатками в станционной программе контроля (выявление и устранение не работоспособности систем/элементов, недостатков в подготовке персонала, а также процедур);
- 7 % приходится на непринятие необходимых мер или несвоевременное их принятие (по изменению схемных решений систем, по устранению выявленных недостатков, соответствующему анализу технических решений, изменению проектных схем до выполнения работ по их реализации);
- 2 % связаны с недостатками процедур технического обслуживания и ремонта, выполняемых персоналом АС, включая контроль.

Распределение коренных причин, связанных с недостатками персонала АС:

- 62 % приходится на психологические источники неправильных действий персонала;
- 38 % – следствие влияния внешних условий и средств деятельности.

Результаты психологических исследований рисков ошибочных действий оперативного персонала АС [18], обусловленных истощением организма, позволили сделать вывод о том, что четыре и более непрерывных рабочих дня являются критической продолжительностью работы, и такой режим не может не сказываться на функциональном состоянии оператора. С пятого дня накопленное утомление существенно влияет на скоростные показатели

реакции, а главное – на степень сознательного контроля за ее выполнением, к восьмому же дню компенсаторные функциональные резервы полностью истощаются.

Содержание эксплуатационной документации, процедуры контроля и управления персоналом, ведение технологического процесса, своевременность принятия решений, психологические факторы и режим работы оперативного персонала — все это должно обеспечивать уровень безопасности, заложенный в проекте. Ошибка персонала или наложение ряда ошибок (по причинам, приведенным в данном разделе) при проведении любой работы, предусмотренной технологическим регламентом и не отнесенной к категории ядерно опасных, также могут привести к ядерной аварии. Это происходит вследствие ослабления глубокоэшелонированной защиты и возникновения технической уязвимости системы в результате сочетания отказов оборудования или неверных действий персонала.

Выводы

Результаты проведенного анализа взаимосвязи глубокоэшелонированной защиты, культуры безопасности и ядерно опасных работ позволяют сделать следующие выводы:

- рассмотренные элементы взаимосвязаны в единой системе обеспечения ядерной безопасности;
- культура безопасности играет важнейшую роль в надежном функционировании глубокоэшелонированной защиты;
- необходимо постоянно совершенствовать как технические, так и организационные меры, направленные на обеспечение безопасности АС;
- проведение ядерно опасных работ – многоэтапный, строго регламентированный процесс, характеризующий отдельные аспекты при оценке культуры безопасности;
- человеческий фактор остается ключевым источником рисков при эксплуатации АС;
- психологические и физиологические факторы критически влияют на надежность действий оператора;
- вследствие ослабления глубокоэшелонированной защиты, даже работы, не отнесенные к категории ядерно опасных, могут стать причиной аварии.

Изложенные в настоящей статье вопросы могут служить основой для подготовки конкретных предложений по совершенствованию нормативных правовых актов и нормативных документов в области использования атомной энергии в установленном

порядке. При этом конкретные формулировки требований должны быть всесторонне обсуждены со всеми заинтересованными организациями.

На основе полученных выводов приводятся предложения по совершенствованию методологических подходов к организации эксплуатации и оценке ее эффективности:

- совершенствовать подходы к разработке технических барьеров и организационных механизмов управления, а также к нормативному регулированию и поддержанию культуры безопасности;

- развивать подходы в оценке безопасности АС, находящейся в эксплуатации, например внедрить показатель, характеризующий проведение ядерно опасных работ как составляющую интегрального показателя состояния культуры безопасности;

- применять средства автоматизации при проведении ядерно опасных работ с целью минимизации влияния человеческого фактора на ход их выполнения;

- совершенствовать эксплуатационные процедуры ведения технологического процесса, контроля работ и управления персоналом;

- оптимизировать режимы труда и отдыха оперативного персонала: ограничить продолжительность непрерывной работы четырьмя днями, внедрить механизмы мониторинга уровня утомления, предусмотреть периоды психофизиологического восстановления;

- развивать и интегрировать современные инструменты поддержки операторов для прогнозирования рисков и предоставления подсказок в реальном времени.

Литература

1. Авдеев Е. Ф., Баклушин Р. П., Гольба В. С. и др. Аварии и инциденты на атомных электростанциях: уч. пос. по курсам «Атомные электростанции», «Надежность и безопасность АЭС» / под общ. ред. С. П. Соловьёва. – Обнинск: ИАТЭ, 1992. – 298 с.
2. INSAG-10. Глубокоэшелонированная защита ядерной безопасности: доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности. – Вена: МАГАТЭ, 1998.
3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (НП-001-15): утв. приказом Ростехнадзора от 17 декабря 2015 г. № 522.
4. INSAG-1. Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident. – Vienna: IAEA, 1986.
5. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации по формированию и поддержанию культуры безопасности на атомных станциях и в эксплуатирующих организациях (РБ-129-17): утв. приказом Ростехнадзора от 19 сентября 2017 г. № 371.
6. INSAG 4. Safety culture: a report by the international nuclear safety group. – Vienna: IAEA, 1991.
7. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций (НП-082-07): утв. приказом Ростехнадзора от 10 декабря 2007 г. № 4.
8. Об использовании атомной энергии: Федер. закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ.
9. Арутюнян Р. В., Большов Л. А., Велихов Е. П. Системный анализ причин и последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» / Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. – М.: 2018. – 408 с.: ил. – ISBN 978-5-9907220-5-7 (в пер.).
10. Managing Human Performance to Improve Nuclear Facility Operation. STI/PUB/1623, ISBN 978-92-0-144610-7, 24 p. – Vienna: IAEA, 2014.
11. Андреев С. А., Касьянов С. Ю. О роботизации ядерно опасных работ // 33-я Международная научно-техническая конференция «Экстремальная робототехника» (Санкт-Петербург, 29–30 сентября 2022 г.) / Сб. тезисов. – СПб.: изд-во ООО «Типография Фурсова», 2022. – С. 452–458. ISBN: 978-5-6048032-9-5.
12. Artificial Intelligence for Accelerating Nuclear Applications, Science and Technology. – Vienna: IAEA, 2022.
13. Увакин М. А., Николаев А. Л., Рябов Г. А., Махин И. В., Сотков Е. В. Концептуальные вопросы реализации маневренных режимов в свете современного развития атомной энергетики // Научно-технический форум «Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики и теплофизика реакторов нового поколения» (2–5 июня 2026 г.) / Тезисы докладов. – Обнинск, 2026. – С. 171–172.

14. NUREG/CR-1278. Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications (THERP) / Final Report, US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 1983.
15. David I. Gertman, Harold S. Blackman, Julie L. Marble, Curtis Smith, & Ronald L. The SPAR-H Human Reliability Analysis Method. Fourth American Nuclear Society International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Controls and Human-Machine Interface Technologies (NPIC&HMIT 2004), Columbus, Ohio, September, 2004.
16. April M. Whaley, Dana L. Kelly, Ronald L. Boring, William J. Galyean. SPAR-H Step-by-Step Guidance. INL/COL-12-24693 Preprint, Idaho National Laboratory, June 2012.
17. Чернецкая Е. Д., Андрюшина Л. О., Анкудинов В. Д. Коренные причины неправильных действий персонала атомных станций: психологический аспект // VII Отраслевая научно-практическая конференция (22–24 октября 2024 г.) / Сб. материалов. – М.: «Когито-Центр», 2024. – С. 15–25.
18. Чернецкая Е. Д., Леонова Е. В., Бессонова Ю. В., Андрюшина Л. О. Вероятность совершения ошибочных действий оперативным персоналом АЭС: роль длительности и интенсивности рабочей нагрузки // Вестник Московского университета. Сер. 14. Психология. 2026. Т. 49. № 1. С. 246–272. <https://doi.org/10.11621/LPJ-26-10>.
19. INSAG-7. The Chernobyl Accident Updating of INSAG-1. – Vienna: IAEA, 1992.
20. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Комментарии к федеральным нормам и правилам «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (НП-001-15)) (РБ-152-18): утв. приказом Ростехнадзора от 3 октября 2018 г. № 486.
21. ГОСТ Р МЭК 62508-2014. Анализ влияния на надежность человеческого фактора. – М.: Стандартинформ, 2015.
22. Леонова Е. В. Подходы к оценке вероятности ошибки промаха персонала атомных станций // VII Отраслевая научно-практическая конференция (22–24 октября 2024 г.) / Сб. материалов. – М.: «Когито-Центр», 2024. – С. 37–41.
23. Асмолов В. Г., Блинков В. Н., Поваров В. П., Черников О. Г. Основы обеспечения безопасности АЭС: уч. пос. для студентов вузов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2025. – 296 с. ISBN: 978-5-7262-3100-6.
24. Лидерство и менеджмент для обеспечения безопасности. Общие требования безопасности № GSR Part 2. – Вена: МАГАТЭ, 2017.
25. Отслеживание тенденций низкоуровневых событий и случаев, близких к ошибкам, с целью улучшения состояния безопасности на атомных станциях. IAEA-TECDOC-1477. – Вена: МАГАТЭ, 2005.
26. Human Reliability Analysis for Nuclear Installations. Safety reports Series No. 127. – Vienna: IAEA, 2025.
27. Гордон Б. Г. Понятия безопасности при использовании атомной энергии // Вестник Госатомнадзора России. 2001. № 2. С. 3–8.
28. Гордон Б. Г. Безопасность ядерных объектов: уч. пос. – М.: НИЯУ МИФИ, 2014. – 384 с.

References

1. Avdeev E. F., Baklushin R. P., Gol'ba V. S. i dr. (1992). Avarii i intsidenty na atomnykh ehlektrostantsiyakh [Accidents and incidents at nuclear power plants]. A textbook for the courses “Nuclear power plants”, “Reliability and safety of nuclear power plants”. Obninsk: IATE. [in Russian].
2. INSAG-10. Defence in depth in nuclear safety: a report International nuclear safety advisory group. Vienna: IAEA, 1996.
3. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoi ehnergii “Obshchie polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnykh stantsii” (NP-001-15) [Federal rules and regulations in the field of atomic energy use “General provisions for nuclear power plant safety assurance” (NP-001-15)]. 2015.
4. INSAG-1. Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident. Vienna: IAEA, 1986.
5. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi ehnergii “Rekomendatsii po formirovaniyu i podderzhaniyu kul'tury bezopasnosti na atomnykh stantsiyakh i v ehkspluatiruyushchikh organizatsiyakh” (RB-129-17) [Safety guide in atomic energy use “Recommendations for the formation and maintenance of a safety culture at nuclear power plants and operating organizations of nuclear power plants” (RB-129-17)]. 2017.
6. INSAG 4. Safety culture: a report by the international nuclear safety group. Vienna: IAEA, 1991.

7. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoi ehnergii "Pravila yadernoi bezopasnosti reaktornykh ustanovok atomnykh stantsii" (NP-082-07) [Federal rules and regulations in the field of atomic energy use "Nuclear safety rules for reactor facilities of nuclear power plants" (NP-082-07)]. 2007.

8. Federal'nyy zakon No. 170-FZ "Ob ispol'zovanii atomnoi ehnergii" [Federal law No. 170-FZ "On the use of atomic energy"]. 1995.

9. Arutyunyan R. V., Bol'shov L. A., Velikhov E. P. (2018). Sistemnyi analiz prichin i posledstviy avarii na AEHS "Fukusima-1" [System analysis of causes and consequences of the Fukushima-1 NPP accident]. Moscow: Nuclear Safety Institute of RAS. 408 p.: ill. ISBN 978-5-9907220-5-7 (bound). [in Russian].

10. Managing Human Performance to Improve Nuclear Facility Operation. STI/PUB/1623, ISBN 978-92-0-144610-7, 24 p. Vienna: IAEA, 2014.

11. Andreev S. A., Kas'yanov S. Yu. (2022). O robotizatsii yaderno opasnykh rabot / 33-ya Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya "Ehkstremal'naya robototekhnika" (Sankt-Peterburg, 29–30 sentyabrya 2022 g.) [On the Robotics for Critical Experiment / 33-rd International scientific and technological conference "Extreme robotics" (St. Petersburg, September 29–30, 2022)]. Collection of abstracts. St. Petersburg: publishing house OOO "Tipografiya Fursova", pp. 452–458. ISBN: 978-5-6048032-9-5. [in Russian].

12. Artificial Intelligence for Accelerating Nuclear Applications, Science and Technology. IAEA, Vienna, 2022.

13. Uvakin M. A., Nikolaev A. L., Ryabov G. A., Makhin I. V., Sotkov E. V. (2026). Kontseptual'nye voprosy realizatsii manevrennykh rezhimov v svete sovremennogo razvitiya atomnoi ehnergetiki / Nauchno-tehnicheskii forum "Neitronno-fizicheskie problemy atomnoi ehnergetiki i teplofizika reaktorov novogo pokoleniya" (2–5 iyunya 2026 g.) [Conceptual issues of implementing maneuvering modes in the context of modern nuclear energy development / Scientific and Technical Forum "Neutron physics problems in nuclear energy and thermal physics of next generation reactors" (2–5 June, 2026)]. Abstracts of papers. Obninsk, pp. 171–172. [in Russian].

14. NUREG/CR-1278, Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications (THERP) / Final Report, US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 1983.

15. David I. Gertman, Harold S. Blackman, Julie L. Marble, Curtis Smith, & Ronald L. The SPAR-H Human Reliability Analysis Method. Fourth American Nuclear Society International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Controls and Human-Machine Interface Technologies (NPIC&HMIT 2004), Columbus, Ohio, September, 2004.

16. April M. Whaley, Dana L. Kelly, Ronald L. Boring, William J. Galyean. SPAR-H Step-by-Step Guidance. INL/COL-12-24693 Preprint, Idaho National Laboratory, June 2012.

17. Chernetskaya E. D., Andryushina L. O., Ankudinov V. D. (2024). Korennyye prichiny nepravil'nykh deistvii personala atomnykh stantsii: psikhologicheskii aspekt / VII Otraselevaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (22–24 oktyabrya 2024 g.) [Root causes of incorrect actions by nuclear power plant personnel: a psychological aspect / VII Industry-specific scientific and practical conference (22–24 October, 2024)]. Collection of materials. Moscow: "Cogito-Centre", pp. 15–25. [in Russian].

18. Chernetskaya E. D., Leonova E. V., Bessonova Yu. V., Andryushina L. O. (2026). Veroyatnost' soversheniya oshibochnykh deistvii operativnym personalom AEHS: rol' dlitel'nosti i intensivnosti rabochei nagruzki [Probability of erroneous actions by NPP operating personnel: the role of duration and intensity of workload]. Vestnik Moskovskogo universiteta – Lomonosov Psychology Journal. Vol. 49, No. 1, Ser. 14. Psikhologiya, pp. 246–272. <https://doi.org/10.11621/LPJ-26-10>. [in Russian].

19. INSAG-7. The Chernobyl Accident Updating of INSAG-1. Vienna: IAEA, 1992.

20. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi ehnergii "Kommentarii k federal'nyim normam i pravilam "Obshchie polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnykh stantsii" (NP-001-15)" (RB-152-18) [Safety guide in atomic energy use "Comments on the Federal Safety Regulations "General provisions for ensuring the safety of nuclear power plants" (NP-001-15)" (RB-152-18)]. 2018.

21. GOST R MEHK 62508-2014 "Analiz vliyaniya na nadezhnost' chelovecheskogo faktora" [IEC 62508-2014 "Analysis of the impact on the reliability of the human factor"]. Moscow: Standartinform, 2015. [in Russian].

22. Leonova E. V. (2024). Podkhody k otsenke veroyatnosti oshibki promakha personala atomnykh stantsii / VII Otraselevaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (22–24 oktyabrya 2024 g.) [Approaches to assessing the probability of human error at nuclear power plants / VII Industry specific scientific and practical conference (22–24 October, 2024)]. Collection of materials. Moscow: "Cogito-Centre", pp. 37–41. [in Russian].

23. Asmolov V. G., Blinkov V. N., Povarov V. P., Chernikov O. G. (2025). Osnovy obespecheniya bezopasnosti AEHS [Fundamentals of nuclear power plant safety]. A textbook for university students. Moscow: NRNU MEPhI, 296 p. ISBN: 978-5-7262-3100-6. [in Russian].
24. Leadership and Management for Safety: General Safety Requirements No. GSR Part 2. Vienna: IAEA, 2017.
25. Trending of Low-level Events and Near Misses to Enhance Safety Performance in Nuclear Power Plants. IAEA TECDOC-1477. Vienna: IAEA, 2005.
26. Human Reliability Analysis for Nuclear Installations. Safety reports Series No. 127. IAEA, Vienna, 2025.
27. Gordon B. G. (2001). Ponyatiya bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi ehnergii [Concepts of safety in the use of nuclear energy]. Vestnik Gosatomnadzora Rossii – Bulletin of the Gosatomnadzor of Russia, No. 2, pp. 3–8. [in Russian].
28. Gordon B. G. (2014). Bezopasnost' yadernykh ob"ektov [Nuclear facility safety]. A textbook. Moscow: NRNU MEPhI, 384 p. [in Russian].

Сведения об авторе

Григорашенко Сергей Михайлович, ведущий инженер ядерно-физической лаборатории отдела ядерной безопасности и надежности, филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Кольская атомная станция» (184230, Мурманская область, г. Полярные Зори, нп Зашеек, ул. Складская, д. 2).

Author credentials

Grigorashenko Sergei Mikhailovich, Leading Engineer of the Nuclear Physics Laboratory, Department of Nuclear Safety and Reliability, Kola Nuclear Power Plant, a Branch of Rosenergoatom Concern JSC (2, Skladskaya str., township Zasheek, Polyarnye Zori, Murmansk reg., 184230), e-mail: GrigorashenkoSM@kolnpp.rosenergoatom.ru.

Для цитирования

Григорашенко С. М. Взаимосвязь глубокоэшелонированной защиты, культуры безопасности и ядерно опасных работ // Ядерная и радиационная безопасность. 2026. № 3 (121). С. 53–64. DOI: 10.26277/SECNRS.2026.121.3.005.

For citation

Grigorashenko S. M. (2026). Vzaimosvyaz' glubokoeshelonirovannoi zashchity, kul'tury bezopasnosti i yaderno opasnykh rabot [The interrelation of defence in depth, safety culture and nuclear-hazardous work]. Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' – Nuclear and Radiation Safety Journal, No. 3 (121), pp. 53–64. [in Russian]. DOI: 10.26277/SECNRS.2026.121.3.005.

