

Культура безопасности: принцип организационного обучения

Машин Владимир Анатольевич - Старший научный сотрудник Обнинского научно-исследовательского центра «Прогноз». Кандидат психологических наук.

E-mail: mashin-va@mail.ru

Рассмотрена важная роль, которую в атомной энергетике играет принцип организационного обучения при развитии сильной культуры безопасности. Безопасность поддерживается и направляется постоянным обучением, способностью организации аккумулировать и анализировать опыт эксплуатации, свои успехи и неудачи, извлекая уроки для совершенствования своей деятельности. Безопасность определяется способностью организации рассматривать значимые нарушения и отклонения в работе АЭС, вызванные действиями персонала, как возможность для обучения, а не для обвинения отдельных лиц в допущенных ошибках и наложения на них дисциплинарных взысканий. С позиций принципа организационного обучения рассмотрены результаты расследования несчастного случая, имевшего место на одной из отечественных АЭС. Способ, каким организации расследуют подобные инциденты оказывает огромное влияние на их культуру безопасности. Представленный материал будет полезен при решении задач создания и поддержания сильной культуры безопасности как на АЭС, так и на электростанциях других типов.

Ключевые слова: культура безопасности, принцип организационного обучения, неправильные действия человека, причинные факторы, несчастный случай, электрооборудование.

Культура безопасности формируется и развивается на основе принципов, которыми ежедневно руководствуется персонал организации, применяя методы и практики для реализации требований и ожиданий, установленных в области обеспечения безопасности [1]. Анализ опыта эксплуатации АЭС продемонстрировал важность принципа организационного обучения для достижения и поддержания сильной культуры безопасности. *"Организационное обучение"* определяется Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) как способность организации извлекать знания из опыта путём наблюдений, анализа и готовности изучать как успехи, так и неудачи, с тем, чтобы в дальнейшем использовать эти знания для совершенствования своей деятельности [2].

В 2006 году МАГАТЭ опубликовало "Основополагающие принципы безопасности" SF-1 [3], в которых культура безопасности включала в себя стремление к постоянному обучению, препятствующему самоуспокоенности организации в вопросах обеспечения безопасности. В этом же году МАГАТЭ выпустило "Руководство по безопасности" GS-G-3.1 [4], в котором определила пять ключевых руководящих принципов (основных характеристик), необходимых для обеспечения сильной культуры безопасности; выделив обучение как основу безопасности (пятый принцип):

1. Безопасность безусловно является общепризнанной ценностью;
2. Явно заметно лидерство в вопросах безопасности;
3. Ясно определена ответственность за безопасность;
4. Безопасность является неотъемлемой частью всех видов деятельности;
5. Безопасность основана на обучении (поддерживается и направляется обучением).

Принцип "Безопасность основана на обучении" имеет следующие семь признаков:

- a. На всех уровнях организации преобладает критическая позиция;
- b. Поощряется открытое сообщение об отклонениях и ошибках;
- c. Используются внутренние и внешние оценки, включая проведение самооценок;
- d. Используется как внутренний, так и внешний опыт в части организации и эксплуатации;
- e. Обучение облегчается наличием способности выявлять и диагностировать отклонения, формулировать и претворять решения, контролировать влияние корректирующих мер;
- f. Отслеживаются показатели безопасности, определяются их тенденции, ведётся их оценка, и на этой основе предпринимаются соответствующие действия;
- g. Ведётся работа по систематическому повышению уровня компетенции отдельных лиц.

В 2009 году МАГАТЭ опубликовало "Руководство по безопасности" GS-G-3.5 [5], где 36 признаков пяти руководящих принципов сильной культуры безопасности были дополнены описанием 118 действий, необходимых для формирования сильной культуры безопасности. Например, признак "Используется как внутренний, так и внешний опыт в части организации и эксплуатации", принципа "Безопасность основана на обучении", был дополнен следующими действиями:

- следует ввести в действие процессы для получения, анализа и применения имеющейся внутренней и внешней информации, относящейся к безопасности, в том числе информацию об опыте других отраслей промышленности;
- следует проводить анализ опыта эксплуатации и принимать меры для обеспечения того, чтобы организация извлекала для себя соответствующие уроки и применяла их;
- следует обеспечивать, чтобы не было и признаков существования представлений о том, что «здесь такое произойти не может».

В 2006 году Всемирная ассоциация операторов АЭС (ВАО АЭС) выпустила Руководство GL 2006-02 "Принципы сильной культуры ядерной безопасности" [6], сформулировав 8 основных принципов (с 56 признаками), следование которым позволяет

обеспечить сильную культуру ядерной безопасности, и подчеркнув необходимость прививать организационное обучение (седьмой принцип):

1. Каждый лично отвечает за ядерную безопасность;
2. Руководители демонстрируют приверженность принципам безопасности;
3. Организация пронизана доверием;
4. Принятие решений отражает приоритет безопасности;
5. Ядерная технология признаётся особенной и уникальной;
6. Прививается критически взвешенное отношение;
7. Прививается организационное обучение;
8. Ядерная безопасность проходит постоянные проверки.

Согласно Руководству GL 2006-02, организационное обучение строится на понимании высокой ценности опыта эксплуатации, на способности извлекать из него уроки и учиться на них. Обучение, самооценка, корректирующие мероприятия, изучение опыта используются для стимулирования познания слабых и сильных сторон организации и улучшения производственной деятельности. Данный принцип культуры безопасности характеризуется следующими шестью признаками:

- Организация избегает стадии полного благодушия, самоуспокоенности и культивирует атмосферу непрерывного познания. Поощряется отношение "это может случиться здесь";
- Обучение поддерживает стандарты и ожидания руководства. Кроме передачи знаний и навыков, инструкторы умело прививают ценности и убеждения ядерной безопасности;
- Персонал хорошо информирован об уроках, извлечённых из событий на станции и в отрасли, и не склонен повторять эти ошибки;
- Экспертная оценка в области анализа коренных причин эффективно применяется для выявления и устранения фундаментальных причин событий;
- Внедрены процессы выявления и решения скрытых организационных недостатков, которые могут усугублять относительно незначительные события, если не будут устранены;
- Работники уверены, что проблемам, затрагивающим ядерную безопасность, уделяется первоочередное внимание, они отслеживаются и своевременно устраняются.

В 2013 году ВАО АЭС опубликовала "Признаки сильной культуры ядерной безопасности" PL 2013-1 [7], в которых 56 признаков из Руководства GL 2006-02 были сгруппированы в 10 (и дополнены 40 атрибутами):

- РА. Личная ответственность;
- QA. Критически взвешенное отношение;

CO. Коммуникация по вопросам безопасности;

LA. Ответственность лидеров;

DM. Принятие решений;

WE. Уважительная рабочая атмосфера;

CL. Постоянное обучение;

PI. Выявление и устранение проблем;

RC. Атмосфера для высказывания обеспокоенности;

WP. Рабочие процессы

В этом же году ВАО АЭС выпустила "Признаки сильной культуры ядерной безопасности. Дополнение II: Перекрёстные ссылки" GL 2013-1 [8], содержащие перекрёстные ссылки между принципами и признаками сильной культуры безопасности, представленными в документах ВАО АЭС PL 2013-1 [7] и GL 2006-2 [6], а также в Руководстве по безопасности МАГАТЭ GS-G-3.5 [5]. Согласно Руководству GL 2013-1, принцип организационного обучения характеризуется двумя признаками: "Постоянное обучение" (CL) и "Выявление и устранение проблем" (PI).

Согласно ВАО АЭС, признак "Постоянное обучение" характерен для организаций, в которых возможности непрерывного обучения ценятся, ведётся их поиск и реализация. Высоко ценится опыт эксплуатации и хорошо развита способность учиться. Самооценки, обучение и бенчмаркинг используются для стимулирования обучения и совершенствования деятельности. Для признака "Постоянное обучение" сформулировано четыре атрибута (с 25 наблюдаемыми действиями, согласно [9]):

CL.1 Опыт эксплуатации. Соответствующий внешний и внутренний опыт эксплуатации собирается, анализируется и полученные на основании опыта рекомендации своевременно выполняются организацией.

CL.2 Самооценка. Организация постоянно проводит самокритичные и объективные оценки своих программ, практик и деятельности.

CL.3 Бенчмаркинг. Организация учится у других организаций с целью постоянного повышения знаний, навыков и совершенствования безопасной работы.

CL.4 Обучение. Высококачественное обучение обеспечивает высокий уровень знаний работников и укрепляет высокие стандарты поддержания ядерной безопасности.

Признак "Выявление и устранение проблем" (PI) включает в себя оперативное обнаружение, всесторонний анализ и устранение в кратчайший срок проблемных вопросов, потенциально влияющих на безопасность, в соответствии с их важностью. Четыре атрибута определены для этого признака (с 23 наблюдаемыми действиями, согласно [9]):

PI.1 Выявление проблем. Организация реализует программу корректирующих мероприятий (опыта эксплуатации) с низким уровнем выявления проблем. Работники своевременно выявляют проблемы в соответствии с ожиданиями программы.

PI.2 Анализ проблем. Организация всесторонне анализирует проблемы для обеспечения того, что принятые резолюции и решения по проблемам направлены на устранение причин и условий возникновения проблемы в степени, соизмеримой с их влиянием на безопасность.

PI.3 Разрешение проблем. Организация предпринимает эффективные корректирующие мероприятия, направленные на устранение причин и условий возникновения проблемы в степени, соизмеримой с их влиянием на безопасность.

PI.4 Анализ тенденций. Организация периодически анализирует информацию программы корректирующих мероприятий (опыта эксплуатации) и других оценок в целом, чтобы определять негативные тенденции или условия.

Из краткого обзора материалов МАГАТЭ и ВАО АЭС можно сделать вывод, что принцип организационного обучения является одним из важнейших для построения сильной культуры безопасности наряду с реализацией принципа приверженности и лидерства руководителей всех уровней в области безопасности, а также принципа вовлечённости всего персонала в программы и процессы обеспечения безопасности [1]. Наиболее чётко это представлено в подходе, разработанном Министерством энергетики США (DOE), в котором определены три ключевых принципа (области оценки) сильной культуры безопасности: лидерство руководства (приверженность вопросам безопасности), вовлечённость персонала (в программы обеспечения безопасности) и организационное обучение [10, 11]. Принцип организационного обучения характеризуется пятью признаками:

- *Открытость и доверие при сообщениях об ошибках и проблемах.* В организации установлен высокий уровень доверия; сообщения об ошибках и проблемах приветствуются и ценятся; руководители всех уровней обеспечивают своевременную обратную связь для работников, открыто и честно отвечая на все вопросы; ошибки используются как возможности для обучения, а не повод для обвинений.
- *Эффективное решение обнаруженных проблем.* Разработаны, эффективно действуют программы корректирующих мер (учёта опыта эксплуатации); эффективно определяются приоритеты для оперативного реагирования на неотложные вопросы и своевременного устранения потенциально значимых проблем; проводится качественный анализ причин инцидентов; извлечённые уроки распространяются для укрепления систем защит от ошибок человека.

- *Мониторинг показателей деятельности несколькими способами.* Регулярный мониторинг ключевых показателей, связанных с безопасным выполнением работ, и оперативное выявление неблагоприятных тенденций; независимый надзор на всех уровнях с оценкой показателей деятельности и анализа тенденций.
- *Использование опыта эксплуатации.* Внешний и внутренний опыт эксплуатации высоко ценятся и способность извлекать из него полезные уроки постоянно развивается; организация документирует и делится опытом эксплуатации, извлечёнными уроками внутри себя и с отраслью.
- *Критически взвешенное отношение.* Руководители всех уровней поощряют критическое отношение к вопросам безопасности и способствуют их конструктивному обсуждению; работники ставят под сомнение выявленные отклонения в запланированных условиях и/или действиях, а также избегают самоуспокоенности или самоуверенности, основанных на прошлых успехах; принимаются меры по устранению отклонений, предупреждая обострения проблем и возникновения серьёзных последствий.

Подходы, предложенные МАГАТЭ, ВАО АЭС и DOE к организационному обучению, во многом совпадают. В них подчёркивается важность для организационного обучения информации, которую организация способна извлекать, анализировать и использовать для совершенствования своей деятельности [5, 10–12]. В организациях с сильной культурой безопасности эта информация основывается в первую очередь на проактивных показателях деятельности, связанных с безопасным выполнением работ, позволяющим оперативно выявлять неблагоприятные тенденции, определять причины и предпринимать своевременные корректирующие меры, предупреждающие развитие значимых инцидентов. Например, следующие проактивные показатели безопасности используются на объектах Министерства энергетики США [13, 14]:

- число дней без инцидентов (количество дней между инцидентами);
- динамика показателей анкетных опросов сотрудников в области культуры безопасности от обследования к обследованию;
- количество наблюдений за деятельностью персонала (оценка безопасности выполнения работ, обратная связь и наставничество);
- число посещений мест выполнения работ главным инженером;
- число повторных выводов/рекомендаций по ежегодным самооценкам (проверкам) подразделений;
- процент рекомендаций, выполненных по результатам самооценок (проверок) подразделений;

- количество повторных ремонтов (количество работ, связанных с техническим обслуживанием, которые приводят к задержкам или дополнительным затратам в течение определённого периода);
- число ошибок, связанных с действиями по процедурам блокировки и маркировки (lockout/tagout);
- число повторяющихся инцидентов;
- число повторных отказов оборудования при техническом обслуживании важных для безопасности систем;
- средний "возраст" и число временных модификаций, изменений, решений;
- средний "возраст" и число неисправных измерительных приборов;
- число отставаний, незавершённых в срок запланированных работ;
- среднее число часов сверхурочной работы на человека по подразделениям;
- количество отсрочек по модернизации оборудования, реконструкции объектов;
- число сообщений о "почти случившихся инцидентах" (*Near Misses*);
- доля сообщений о допущенных ошибках и нарушениях в действиях персонала в общем количестве сообщений о проблемах, представленных в течение определённого периода времени;
- доля проблем, выявленных и сообщённых самостоятельно сотрудниками, от количества проблем, которые "обнаружили себя сами" или были выявлены в ходе независимых проверок;
- процент рассмотренных отчётов по опыту эксплуатации, которые привели к улучшению безопасности или реализации корректирующих мер;
- число заявок, подготовленных для пересмотра процедур и другой документации на основании данных опыта эксплуатации;
- число заявок, подготовленных для пересмотра программ подготовки на основании данных опыта эксплуатации;
- процент корректирующих мер, не выполненных в запланированные сроки;
- процент задач, для которых была выполнена оценка риска при планировании работ;
- процент приостановок начала выполнения работ из-за неприемлемых для безопасности условий, выявленных в процессе анализа рабочих мест;
- количество выявленных недостатков в планировании и организации работ по результатам рассмотрения их выполнения;
- количество недостатков планирования и организации работ, которые были внесены в программу корректирующих мер (опыта эксплуатации);

- число инцидентов, которые являются результатом нарушений персоналом процедур, инструкций.

К сожалению, информация, которую отечественные АЭС используют для контроля и совершенствования своей деятельности, носит во многом реактивный характер и касается регистрации и расследования значимых для безопасности нарушений и отклонений в работе АЭС, а также несчастных случаев, вызвавших временное отсутствие на рабочем месте, ограничение способностей к выполнению работ и летальные исходы [15]. Данные показатели не позволяют обеспечить мониторинг текущего состояния безопасности эксплуатации АЭС, лишая возможности своевременно принимать решения по устранению возникших недостатков и отклонений в деятельности станции и её персонала.

Ошибочно полагать, что безопасность - это отсутствие значимых нарушений и отклонений в работе станции. Для примера рассмотрим два модельных события на основе конкретного инцидента, произошедшего в ходе технического обслуживания электрооборудования одной из отечественной АЭС.

Первое модельное событие.

Остановленный энергоблок № 3 находился в плановом среднем ремонте. По окончании ремонта основного электрооборудования электроцеха (ЭЦ) были запланированы работы по вводу электрооборудования пристанционного узла энергоблока № 3. Для выполнения этой задачи в состав смены "Б" ЭЦ (начало смены 7:30) были дополнительно введены (отработка "пыльных" дней) начальник смены электроцеха (НСЭЦ А., 5 группа по электробезопасности) и старший дежурный электромонтёр (СДЭМ К., электромонтёр 8-го разряда, 4 группа по электробезопасности).

В 10:20 НСЭЦ А. прибыл на центральный щит управления и ознакомился с состоянием схемы электрических соединений станции. НСЭЦ смены "Б" провёл предсменный инструктаж НСЭЦ А. (лично) и СДЭМ К. (по телефону).

В 10:30 НСЭЦ А. приступил к составлению бланка переключений (БП) № 389 на ввод в работу блочных трансформаторов Т-5, Т-6, трансформаторов собственных нужд 25Т, 26Т, выключателей 330 кВ ВБ-3 и ВЛБ-3, устройств резервирования отказа выключателей ВБ-3 и ВЛБ-3. В БП № 389 СДЭМ К. был определён как лицо, выполняющее переключения, а НСЭЦ А. - как лицо, контролирующее переключения. По окончании составления БП № 389 (на основе типового бланка переключений) НСЭЦ А. по телефону провёл целевой инструктаж СДЭМ К.

В 10:34 НСЭЦ А. по телефону запросил разрешение у НСАЭС на ввод в состав смены "Б" его и СДЭМ К., а также на производство переключений по БП № 389. НСАЭС ввёл их в смену и оформил разрешение на работы БП № 389.

В 11:00 НСАЭС выдал разрешение НСЭЦ А. на выполнение работ по БП № 389 и провёл ему целевой инструктаж.

В 11:05 НСЭЦ А. оформил начало работ по БП № 389 в оперативном журнале НСЭЦ (все полученные НСЭЦ А. и СДЭМ К. разрешения и инструктажи перед началом работ были также оформлены в соответствующих журналах).

В 11:06 НСЭЦ А. получил разрешение от начальника ЭЦ на ввод в работу оборудования по БП № 389, который затем провёл ему по телефону инструктаж.

В 11:10 НСЭЦ А. и СДЭМ К. приступили к работам по БП № 389.

К 12:06 НСЭЦ А. и СДЭМ К. выполнили операции по п. 1 – 83 БП № 389 на оборудовании ОРУ 330 кВ, пристанционного узла и машинного зала турбинного цеха энергоблока № 3. СДЭМ К. взял указатель напряжения выше 1000 В, две штанги с изолирующими рукоятками, диэлектрические перчатки, электронный мегаомметр и вместе с НСЭЦ А. перешёл для продолжения работ по БП № 389 в помещение секции ЗВА КРУ 6 кВ энергоблока № 3.

В 12:07 в помещение секции ЗВА КРУ 6 кВ СДЭМ К., под контролем НСЭЦ А., приступил к выполнению операций по п. 84 – 86 БП № 389 на ячейках № 45 и 47:

- п. 84. Отключить заземляющий нож на нижних контактах силового отсека в ячейке № 47;
- п. 85. Проверить отсутствие напряжений на контактах силового отсека ячейки № 45;
- п. 86. Произвести замер сопротивления изоляции на контактах силового отсека ячейки № 45.

Отсутствие напряжений на контактах силового отсека ячейки № 45 проверяется указателем напряжения. Измерение сопротивления изоляции на контактах силового отсека ячейки № 45 выполняется мегаомметром. Согласно действовавшей на момент выполнения переключений схеме питания секции ЗВА, верхние контакты силового отсека ячейки № 47 находились под напряжением 6 кВ.

К 12:20 СДЭМ К. и НСЭЦ А. выполнили все операции на ячейках № 45 и 47 секции ЗВА КРУ 6 кВ, после этого перешли к следующему электрооборудованию для завершения работ по БП № 389. В итоге все переключения по БП № 389 были успешно выполнены СДЭМ К. и НСЭЦ А., электрооборудование пристанционного узла энергоблока № 3 введено в эксплуатацию в соответствии с графиком работ.

Следует заметить, что переключения на ячейках № 45 и 47 по БП № 389 были хорошо знакомы НСЭЦ А. и СДЭМ К., регулярно и успешно ими выполнялись и носили скорее "рутинный" характер. Руководством станции персонал ЭЦ (включая НСЭЦ А. и СДЭМ К.)

был премирован за качественное и безопасное выполнение работ по плановому техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования энергоблока № 3.

Описанное модельное событие крайне типично. Опытный, квалифицированный персонал успешно справляется со своей задачей. Результат достигнут и достигнут безопасно, поскольку отсутствуют значимые нарушения и отклонения в работе станции. Достаточно ли этого, чтобы сделать такой вывод? Немного изменим условия и посмотрим на эту ситуацию более внимательно.

Второе модельное событие.

Ввод в работу электрооборудования пристанционного участка энергоблока № 3 относится к сложным переключениям, поэтому, согласно внутренней "Инструкции по производству оперативных переключений в электроустановках АЭС", для проведения независимого контроля за выполнением операций был выделен ведущий инженер со стороны административно-технического персонала (АТП) ЭЦ (заметим, что в первом модельном событии, в нарушение указанной Инструкции, независимый контроль отсутствовал).

В 12:07 НСЭЦ А., СДЭМ К. и ведущий инженер ЭЦ прибыли в помещение секции ЗВА КРУ 6 кВ для продолжения работ по БП № 389, начиная с пункта 84. Ведущий инженер ЭЦ мог наблюдать, как НСЭЦ А., в нарушение действующей "Инструкции по переключениям в электроустановках" [17], зачитал подряд пункты 84, 85 и 86 БП № 389 для СДЭМ К. (метод трёхсторонней коммуникации не использовался). После этого СДЭМ К. сразу приступил к выполнению операций на ячейках № 45 и 47.

Во время переключений, как мог видеть ведущий инженер ЭЦ, у СДЭМ К., в нарушение внутренней "Инструкции по охране труда для старшего электромонтёра по обслуживанию электрооборудования электростанций (оперативный персонал)", спецодежда не была застёгнута на все пуговицы (в районе шеи), щиток защитной каски не был опущен. На СДЭМ К. отсутствовала термостойкая куртка-накидка, которая должна быть на электротехническом персонале при переключениях выше 1000 В.

У НСЭЦ А., в нарушение "Должностной инструкции НСЭЦ", также спецодежда не была застёгнута на все пуговицы, не использовалась термостойкая каска с защитным экраном для лица, отсутствовала термостойкая куртка-накидка.

При выполнении замера сопротивления изоляции на контактах силового отсека ячейки № 45 (п. 86 БП № 389), СДЭМ К. нарушил действующие "Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок" [16]. Он не использовал диэлектрические перчатки и проводил измерения не присоединив две штанги с изолирующими рукоятками к мегаомметру.

К 12:20 СДЭМ К. и НСЭЦ А., при независимом контроле ведущего инженера ЭЦ, завершили работы на ячейках № 45 и 47 секции ЗВА КРУ 6 кВ. В дальнейшем все переключения по БП № 389 были успешно выполнены и электрооборудование пристанционного узла энергоблока № 3 введено в работу. Действия СДЭМ К. и НСЭЦ А. получили высокую оценку ведущего инженера ЭЦ, проводившего независимый контроль, у которого не было к ним никаких замечаний.

Очевидно, что, несмотря на успешность выполнения поставленной перед СДЭМ К. и НСЭЦ А. задачи, представленная информация позволяет усомниться в том, что результат был достигнут "безопасно". Показательно в данном модельном событии поведение ведущего инженера ЭЦ, внимание которого было сконцентрировано на достижение производственных целей в ущерб контролю за безопасностью работ:

1. Ведущий инженер ЭЦ (ответственный за независимый контроль во время выполнения работ) не остановил работы по БП № 389 из-за не применения полного комплекта СИЗ СДЭМ К. и НСЭЦ А.

2. Ведущий инженер ЭЦ не остановил работы и не сделал замечание НСЭЦ А., нарушившему инструкцию по переключениям в электроустановках и зачитавшего подряд три пункта БП № 389 (п. 84, 85 и 86) при производстве переключений на ячейках № 45 и 47 секции ЗВА КРУ 6 кВ.

3. Ведущий инженер ЭЦ не остановил работы по БП № 389 и не сделал замечание НСЭЦ А. и СДЭМ К., когда они не использовали метод трёхсторонней коммуникации, в нарушении инструкции по переключениям в электроустановках.

4. Ведущий инженер ЭЦ не остановил работы и не сделал замечание СДЭМ К., нарушившему правила по охране труда при выполнении измерений сопротивления на контактах силового отсека ячейки № 45 (п. 86 БП № 389).

Действия ведущего инженера ЭЦ, ответственного за независимый контроль, наглядно демонстрируют, каким образом происходит "поощрение и поддержка" нарушений действующих правил и инструкций оперативным персоналом. Как такое поведение становится "нормой", обычной практикой при выполнении ответственных переключений. Как происходит потеря контроля за событиями, предрасполагающими к инцидентам.

Описанное модельное событие представляет собой пример "почти случившегося инцидента", когда опасные действия НСЭЦ А. и СДЭМ К. (нарушение инструкции по переключениям в электроустановках, нарушение правил охраны труда при проверке сопротивления изоляции мегаомметром, нарушение правил использования СИЗ), при наличии опасного производственного фактора (напряжение 6 кВ на верхних контактах

силового отсека ячейки № 47) создали потенциальные условия для возникновения серьёзного инцидента.

Организационное обучение предполагает сбор и анализ сообщений об опасных действиях и "почти случившихся инцидентах" как ценный источник информации о недостатках в системе барьеров, призванных обеспечить безопасность работ. Своевременное выявление и устранение этих недостатков позволяет организациям с высокой культурой безопасности предупреждать значимые нарушения и отклонения в своей деятельности. К сожалению, в реальной жизни этого не произошло.

Фактический инцидент.

В 12:07 НСЭЦ А. и СДЭМ К. прибыли в помещение секции ЗВА КРУ 6 кВ для выполнения работ по БП № 389 (независимый контроль со стороны АТП ЭЦ отсутствовал). СДЭМ К. взял с собой указатель напряжения выше 1000 В, две штанги с изолирующими рукоятками, диэлектрические перчатки и мегаомметр, сложив их возле силового отсека ячейки № 47 секции ЗВА. НСЭЦ А. зачитал пункты 84, 85 и 86 БП № 389, СДЭМ К. сразу приступил к выполнению операций.

Для отключения заземляющего ножа в ячейке № 47, согласно п. 84 БП № 389, СДЭМ К. опустился на колени у силового отсека ячейки и специальным ключом отключил заземляющий нож. Чтобы проконтролировать выполнение операции, СДЭМ К. открыл защитные шторки в ячейке № 47 и визуально проверил отключённое состояние заземляющего ножа. После этого он доложил НСЭЦ А. о завершении данной операции.

Согласно п. 85 БП № 389, СДЭМ К. должен был перейти к ячейке № 45 и выполнить, используя указатель напряжения, проверку отсутствия напряжения на нижних и верхних контактах силового отсека ячейки № 45. Далее, в соответствии с п. 86 БП № 389, СДЭМ К. следовало, используя диэлектрические перчатки и присоединив две штанги с изолирующими рукоятками к мегаомметру, измерить сопротивление изоляции на нижних и верхних контактах силового отсека ячейки № 45.

Вместо этого СДЭМ К. выполнил проверку отсутствия напряжения на нижних контактах ячейки № 47, а затем с помощью мегаомметра (без использования специальных штанг с изолирующими рукоятками и диэлектрических перчаток) измерил сопротивление изоляции на нижних контактах ячейки № 47. Значение сопротивления изоляции составило 35 МОм.

Около 12:14, без проверки отсутствия напряжения на верхних контактах силового отсека ячейки № 47, СДЭМ К., удерживая в руках щупы от мегаомметра, приблизил их к верхним контактам фаз «В» и «С» ячейки № 47, находящимся под напряжением 6 кВ, что привело к возникновению междуфазного короткого замыкания с образованием дуги и

выбросом пламени. В результате термического воздействия электрической дуги, СДЭМ К. получил ожоги II степени кистей рук, лица, шеи, грудной клетки, коленных суставов, ожоги роговицы обоих глаз II и III степени. На восстановительный ремонт ячейки № 47 секции ЗВА и ввод в работу электрооборудования пристанционного узла энергоблока № 3 потребовалось около 80 часов.

Расследование инцидента.

Для расследования причин неправильных действий персонала, приведших к несчастному случаю, на АЭС была создана Комиссия, которая установила нарушения и недостатки при организации и выполнении работ по БП № 389 на ячейках № 45 и 47 секции ЗВА КРУ 6 кВ, определила причинные факторы и корректирующие меры.

Нарушения и недостатки при организации и выполнении работ:

1. НСАЭС провёл некачественный целевой инструктаж НСЭЦ А. по БП № 389, разъяснив только цель предстоящей работы.
2. НСБ-3 не согласовал БП № 389 и не провёл положенный целевой инструктаж НСЭЦ А. по выполнению работ.
3. НСЭЦ не провёл положенный целевой инструктаж НСЭЦ А. и СДЭМ К. по БП № 389 перед началом работ.
4. Во время целевого инструктажа перед началом работ по БП № 389, НСЭЦ А. разъяснил СДЭМ К. только цель предстоящей работы, не сообщив о наличии опасного производственного фактора в ячейке № 47 секции ЗВА: верхние контакты силового отсека ячейки № 47 находятся под напряжением 6 кВ.
5. В нарушение внутренней "Инструкции по производству оперативных переключений в электроустановках АЭС", для проведения независимого контроля выполнения сложных переключений на электрооборудовании пристанционного узла энергоблока № 3 со стороны АТП ЭЦ не был выделен специалист.
6. СДЭМ К. допустил нарушения при использовании средств индивидуальной защиты (СИЗ), согласно внутренней "Инструкции по охране труда для старшего электромонтёра по обслуживанию электрооборудования электростанций (оперативный персонал)".
7. НСЭЦ А. допустил нарушения при использовании СИЗ, согласно принятой на АЭС "Должностной инструкции НСЭЦ".
8. НСЭЦ А. (контролирующее лицо по БП № 389) не проконтролировал перед выполнением работ применение полного комплекта СИЗ СДЭМ К., предписанного внутренней "Инструкцией по охране труда для старшего электромонтёра по обслуживанию электрооборудования электростанций (оперативный персонал)".

9. НСЭЦ А. и СДЭМ К. была нарушена действующая "Инструкция по переключениям в электроустановках" [17] при выполнении работ на ячейках № 45 и 47 секции 3ВА КРУ 6 кВ. НСЭЦ А. зачитал подряд три пункта БП № 389 (п. 84, 85 и 86), относящихся к разным элементам оборудования. После этого СДЭМ К. сразу приступил к их последовательному выполнению.

Данная Инструкция [17] требует, чтобы контролирующее лицо (НСЭЦ А.) в начале убедилось в правильности выбранного оборудования (ячейки № 47) и после этого зачитало по бланку переключений содержание необходимых операций (п. 84 БП № 389). Исполнителю (СДЭМ К.) следует повторить содержание этих операций и, получив разрешение контролирующего лица (НСЭЦ А.), выполнить их (метод трёхсторонней коммуникации). Далее НСЭЦ А. должен был перейти к ячейке № 45 и повторить данные шаги для пунктов 85 и 86 БП № 389.

10. СДЭМ К. были нарушены действующие "Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок" [16] в ходе выполнения измерений сопротивления на контактах силового отсека ячейки № 45 (п. 86 БП № 389). СДЭМ К. при проверке сопротивления изоляции не использовал диэлектрические перчатки и не подключил провода мегаомметра к контактам измеряемого электрооборудования с применением специальных штанг с изолирующими рукоятками.

11. НСЭЦ А. (контролирующее лицо по БП № 389) не проконтролировал использование СДЭМ К. при выполнении измерений сопротивления мегаомметром на контактах силового отсека ячейки № 45 (п. 86 БП № 389) специальных штанг с изолирующими рукоятками и диэлектрических перчаток, в соответствии с действующими "Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок" [16].

Непосредственные причины инцидента.

Организационное обучение требует экспертного анализа причин неправильных действий персонала для полного выявления и устранения фундаментальных причин таких происшествий [5, 7]. В ходе расследования данного несчастного случая Комиссия выявила следующие четыре непосредственные причины (кодификация непосредственных причин дана согласно РД ЭО 1.1.2.01.0163-2016 [18]):

1. Нарушение персоналом порядка производства работ, установленного бланком переключений; недостатки при осуществлении коммуникации. Непосредственная причина: "Неправильные действия персонала" (сознательно неправильное действие или мотивационная ошибка).

2. Нарушение требований правил охраны труда в электроустановках: невыполнение предварительной проверки отсутствия напряжения на токоведущих частях перед замером

сопротивления изоляции. Непосредственная причина: "Неправильные действия персонала" (случайная ошибка-промах).

3. Короткое замыкание в ячейке № 47 секции 6 кВ ЗВА при попытке СДЭМ К. выполнить замер сопротивления изоляции верхних токоведущих частей без предварительной проверки отсутствия напряжения. Непосредственная причина: "Короткое замыкание, искрение".

4. Неиспользование СДЭМ К. полного набора основных и дополнительных средств защиты при производстве работ на электрооборудовании. Непосредственная причина: "Неправильные действия персонала" (сознательно неправильное действие или мотивационная ошибка).

"Непосредственная (прямая) причина" - это отказ, действие, упущение (пропуск действия) или условие, которые непосредственно приводят к исходному событию [19, 20], в нашем случае, к возникновению междуфазного короткого замыкания в ячейке № 47 секции ЗВА КРУ 6 кВ. Таким образом, непосредственная причина данного несчастного случая - это выполнение СДЭМ К. измерения сопротивления изоляции верхних токоведущих частей в ячейке № 47, повлекшее за собой короткое замыкание с образованием дуги и выбросом пламени. "Короткое замыкание, искрение" (непосредственная причина № 3) - это исходное событие. Все остальные перечисленные непосредственные причины в выводах Комиссии представляют собой *"очевидные (видимые) причины"*, которые легко определяются по имеющейся информации и не требуют более углублённого анализа для формулирования корректирующих мер [20, 21]:

- Нарушение порядка производства работ, установленного бланком переключений, недостатки трёхсторонней коммуникации;
- Нарушение требований правил охраны труда в электроустановках (невыполнение предварительной проверки отсутствия напряжения на токоведущих частях перед замером сопротивления изоляции);
- Неиспользование полного набора основных и дополнительных средств защиты при производстве работ на электрооборудовании.

Классификация неправильных действий персонала.

В ходе расследования специалистам важно правильно классифицировать действия персонала, которые привели к инциденту [22 – 24]. На рис. 1 представлена диаграмма, демонстрирующая основания для классификации ошибок и нарушений в действиях человека.

Первый вопрос, который следует задать при анализе действий СДЭМ К., приведших к несчастному случаю: были ли его действия преднамеренными, с заранее обдуманной

целью, осознанными? Очевидно, что у СДЭМ К. не было намерения, осознанной цели измерить сопротивление изоляции на верхних контактах ячейки № 47, находящихся под напряжением 6 кВ. Это "ошибка-промах": вместо ячейки № 45, согласно БП № 389, измерения были выполнены на ячейке № 47. К этой категории неправильных действий можно отнести и проверку отсутствия напряжения на нижних контактах силового отсека ячейки № 47 с последующим измерением сопротивления изоляции.



Рисунок 1. Диаграмма классификации неправильных действий человека

В отчёте Комиссии правильно классифицировано как "ошибка" невыполнение СДЭМ К. проверки отсутствия напряжения на верхних контактах силового отсека ячейки № 47 перед замером сопротивления изоляции. Но только это не "ошибка-промах", а "ошибка-упущение": не выполнение нужного действия (бездействие) в соответствии с правилами охраны труда в электроустановках. Это не было "осознанным игнорированием правил",

поскольку перед этим СДЭМ К. убедился в отсутствии напряжения на нижних контактах силового отсека ячейки № 47.

Ошибки СДЭМ К. - это случайные, неосознанные, непреднамеренные отклонения от правильного порядка производства работ, установленного бланком переключений. СДЭМ К. имел большой опыт работы на АЭС: стаж в должности свыше 20 лет. Операции, аналогичные переключениям на ячейках ЗВА КРУ 6 кВ, выполнялись СДЭМ К. регулярно и успешно. За годы работы, ответственные переключения стали носить все более рутинный характер, а присущие им риски оцениваться как всё менее значимые. Проиллюстрируем это на примере, приведённом в книге Н.В. Heinrich [25].

При продольном распиливании доски, рабочий циркулярной пилы потерял большой палец, когда в нарушение инструкции, при ручной подаче материала к режущему инструменту, он не использовал специальный толкатель. В ходе расследования рабочий заявил, что всегда делал эту работу таким образом и всегда успешно. Расследование установило, что он выполнял аналогичные операции в среднем 20 раз в день в течение трёх месяцев и, следовательно, подвергал риску пальцы руки более 1500 раз. Обратимся теперь к понятию риска.

Риск (R) несчастного случая - это произведение вероятности нанесения вреда (P) и степени тяжести последствий для человека (S): $R = P \times S$. В примере с рабочим циркулярной пилы, вероятность нанесения вреда составила 0,001 (1:1500). Это крайне маловероятное, "практически невозможное" событие. Исходя из формулы риска, чем дольше человек успешно выполняет связанные с опасностью действия, тем крайне низкой становится вероятность негативного события ($P \rightarrow 0$), что влечёт за собой крайне низкую субъективную оценку риска ($R \rightarrow 0$). Так возникает чувство "самоуспокоенности" (или "благодушия"), для которого характерно низкое чувство тревожности при выполнении работ, связанных с конкретной опасностью.

Тревожность играет важную роль при выполнении ответственных переключений. Именно она направляет и удерживает наше внимание на опасных производственных факторах. Когда ответственные переключения начинают носить рутинный, повторяющийся характер, когда чувство опасности вытесняется постоянными успешными результатами и субъективная оценка риска стремится к нулю, выполнение операций легко переходит на уровень автоматизма, не требуя активного контроля. Внимание человека в этот момент переключается на другие, значимые для него объекты: дом, семья, спорт, политика, рыбалка. Человек мысленно погружается в то, что сейчас его действительно заботит (болезнь ребенка, выпускной сына, свадьба дочери, экзамены на новую должность, ремонт автомобиля), не замечая, например, что вместо ключа "А", он

поворачивает ключ "В". Или, как в нашем случае, вместо того, чтобы перейти к ячейке № 45, СДЭМ К. остаётся на ячейке № 47, продолжая ошибочно выполнять на ней п. 85 и 86 БП № 389. Допустивший ошибку редко может дать разумное объяснение тому, почему он так действовал в хорошо знакомой для себя ситуации, выполняя отработанные годами операции. Часто от него можно услышать: "Задумался".

Инструментами борьбы с рутинностью, с чувством самоуспокоенности, когда действия выполняются на уровне автоматизма, выступают целевые инструктажи, чётко прописанный порядок оперативных переключений с трёхсторонней коммуникацией, независимый и партнёрский контроль. Расследование несчастного случая с СДЭМ К. установило, что целевые инструктажи для СДЭМ К. и НСЭЦ А. перед выполнением ответственных переключений либо не проводились, либо в них отсутствовало упоминание об опасном производственном факторе (напряжение 6 кВ на верхних контактах силового отсека ячейки № 47 секции ЗВА). Обучение методу проведения инструктажей перед началом работ как важному инструменту предупреждения неправильных действий человека [26, 27] для персонала ЭЦ не проводилось.

Расследование также установило, что НСЭЦ А. и СДЭМ К. в установленные сроки прошли очередную проверку знаний правил работы в электроустановках и требований охраны труда. При этом для персонала ЭЦ отсутствовала подготовка по производству оперативных переключений в электроустановках АЭС с отработкой метода трёхсторонней коммуникации. Обучение практическому применению изолирующих штанг при измерении сопротивления изоляции на контактах силовых отсеков ячеек с помощью мегаомметра также не проводилось.

Важным барьером борьбы с автоматизацией действий при выполнении рутинных заданий является метод трёхсторонней (трёхходовой) коммуникации. Он обеспечивает надёжность человеческого фактора при производстве оперативных переключений [26]. Но практическое обучение методу трёхсторонней коммуникации (когда и как использовать этот эффективный инструмент предупреждения неправильных действий, ошибки при его применении) в программах подготовки персонала ЭЦ отсутствовало.

Данные расследования указывают, что персонал ЭЦ, включая руководителей разного уровня, воспринимали ответственные переключения на ячейках секции ЗВА КРУ 6 кВ как рутинные, с низким уровнем риска, успешно выполняемые много лет. Этим можно объяснить не проведение или низкое качество целевых инструктажей для НСЭЦ А. и СДЭМ К., а также отсутствие назначения ответственного лица для независимого контроля за работами со стороны АТП ЭЦ.

НСЭЦ А. был определён лицом, контролирующим переключения по БП № 389. Партнёрский (одновременный) контроль является ещё одним важным методом повышения надёжности деятельности человека при производстве оперативных переключений [26, 27]. Но данный инструмент предупреждения неправильных действий оказался крайне неэффективным. Рутинность работ, состояние самоуспокоенности, уверенность в своем опытном партнере, мысли о планах на вечер или просто малозначимая болтовня, но последнее, что запомнил НСЭЦ А. перед образованием электрической дуги и выбросом пламени, это как СДЭМ К. приближается с зажатыми в руках щупами мегаомметра к верхним контактам силового отсека ячейки № 47. Остаётся загадкой, о чём НСЭЦ А. думал, на что было направлено его внимание, когда после выполнения п. 84 БП № 389 на ячейке № 47, СДЭМ К. не перешёл, как это требовал БП № 389, к ячейке № 45, а продолжил операции по п. 85 и 86 на ячейке № 47:

- используя указатель напряжения, СДЭМ К. проверил отсутствие напряжения на нижних контактах ячейки № 47;
- с помощью мегаомметра, без специальных штанг с изолирующими рукоятками и диэлектрических перчаток, СДЭМ К. измерил сопротивление изоляции на нижних контактах ячейки № 47;
- не проверив отсутствия напряжения, СДЭМ К. продолжил измерение сопротивления изоляции уже на верхних контактах ячейки № 47, и снова без специальных штанг с изолирующими рукоятками и диэлектрических перчаток.

НСЭЦ А. имел все возможности своевременно выявить и скорректировать ошибочные действия СДЭМ К. Но и этот барьер, призванный обеспечить надёжность деятельности человека, отказал. Заметим, что практическое обучение методу партнёрского контроля при выполнении ответственных переключений для персонала ЭЦ не проводилось.

Комиссия по расследованию обратила внимание на отклонения в использовании средств индивидуальной защиты НСЭЦ А. и СДЭМ К. при обслуживании электрооборудования. Данные отклонения от инструкций по охране труда имеют преднамеренный, осознанный характер, поэтому классифицируются как нарушения (см. рисунок 1). Очевидно (второй вопрос классификации), что последствия нарушений СДЭМ К. "Инструкции по охране труда для старшего электромонтёра" не были преднамеренными (с целью умышленно причинить себе вред). Предвидел ли он последствия неправильного использования СИЗ во время переключений (третий вопрос классификации)? Предвидел ли он, что отсутствие термостойкой куртки-накидки и не застёгнутая на все пуговицы спецодежда могут привести к ожогам шеи и грудной клетки II степени? Предвидел ли он, что не опущенный щиток защитной каски может привести к

ожогам лица и роговицы обоих глаз II и III степени, сделав его инвалидом? Нет, для него это была рутинная, обычная работа, которую он успешно много лет выполнял и перед началом которой никто не привлёк его внимание к наличию серьёзной опасности в ячейке № 47 и важности соблюдения требований в отношении СИЗ.

Поэтому это не было "*безрассудным нарушением*", когда человек осознаёт возможные последствия своих неправильных действий, но полагается на свой богатый опыт, профессионализм, мастерство, удачу [23]. В этом случае, обратившись к формуле риска ($R = P \times S$), степень тяжести последствий нанесения вреда (S) оценивается человеком крайне низко ($S \rightarrow 0$), что влечёт за собой крайне низкую субъективную оценку риска ($R \rightarrow 0$). Это состояние "самонадеянности", "самоуверенности" в себе, в своих силах, в своих возможностях. Трудно представить себе электромонтёра, который самонадеянно полагал бы, что электрооборудование, находящееся под напряжением 6 кВ, не представляет для него серьёзной угрозы.

Нарушения СДЭМ К. и НСЭЦ А. инструкций по охране труда в отношении СИЗ относятся к "*оптимизирующим нарушениям*", поскольку они не предвидели их последствий. Это не "*ситуационные*" нарушения (см. рисунок 1), когда при выполнении задачи персонал сталкивается с нехваткой ресурсов (людей, оборудования, СИЗ, времени и т.п.). И не "*организационно-оптимизирующие*" нарушения, на которые персонал идёт с целью экономии ресурсов организации или повышения показателей её деятельности [23]. Это "*индивидуально-оптимизирующие*" нарушения, обусловленные экономией личных ресурсов (не тратить зря время на полный комплект СИЗ), личным удобством выполнения работ (не так жарко работать без термостойкой куртки-накидки и с не застёгнутыми пуговицами на спецодежде, без диэлектрических перчаток легче манипулировать мегаомметром, с поднятым щитком защитной каски лучше видно). Индивидуально-оптимизирующие нарушения требуют принятия дисциплинарных мер. Но что ещё более важно, необходимо выяснить: является ли это общей, многолетней практикой выполнения работ персоналом ЭЦ? И если это так, то возникают серьёзные вопросы к административному контролю и надзору руководства за выполнением ответственных переключений.

Аналогичные инциденты (внешний и внутренний опыт эксплуатации).

В ходе расследования Комиссия установила четыре предшествующие аналогичные инцидента на российских атомных станциях (один имел место на данной АЭС 6 лет назад). Комиссии не был предоставлен перечень корректирующих мер, которые были предприняты АЭС по результатам анализа внутреннего и внешнего опыта эксплуатации. Важные уроки не были извлечены из этих событий и не были учтены при планировании и

организации производства ответственных переключений на электрооборудовании АЭС, при подготовке персонала ЭЦ. В отчёте отсутствует оценка анализа коренных причин и эффективности корректирующих мер, предпринятых АЭС по результатам расследования аналогичного инцидента, ранее произошедшего на станции.

Организационное обучение не возможно без постоянного анализа и эффективного использования в деятельности АЭС внутреннего и внешнего опыта эксплуатации, включая международный. В 2002 году ВАО АЭС было опубликовано Сообщение о значительных событиях SER 2002-4 "Тяжёлые несчастные случаи с рабочими при выполнении работ в распределительных устройствах среднего напряжения" [28]. В этом сообщении рассматриваются события, в которых рабочие получили тяжёлые травмы (в одном случае со смертельным исходом) при выполнении операций на РУ 4 – 13 кВ. В нём отмечается, что большинство событий происходило во время подготовительных или планово-предупредительных работ, таких как измерение сопротивления изоляции, установка заземлений и перемычек.

В SER 2002-4 перечислены важные извлечённые уроки из рассмотренных событий, включая следующие:

- Во время инструктажей перед работой следует уделить особое внимание объёму работы, состоянию оборудования, возможным источникам опасности и ожиданиям/требованиям руководства при выполнении работ на электрическом оборудовании. Никогда не следует полагать, что рабочие, даже если это и опытные электрики, знают о возможных источниках опасности в месте производства работы.
- Руководству необходимо постоянно подчеркивать свои требования к рабочей практике в отношении применяемых способов, СИЗ и инструмента при посещении рабочих мест, особенно во время ремонтов блока.
- Лицам, осуществляющим надзор за работами, руководителям работ следует повысить контроль, если работа выполняется на находящемся под напряжением оборудовании или вблизи него.

В сообщении отмечается, что во всех рассмотренных событиях переключения на электрооборудовании были заранее спланированы, выполнялись во время плановых ремонтных работ, и вероятность получения травмы в ходе их производства считалась низкой, поэтому работы не имели должного внимания руководства, которое полагалось на опыт и квалификацию персонала. Были определены следующие недостатки барьеров (в соответствии с иерархией эффективности мер по контролю угроз и рисков [29]), предназначенных обеспечивать безопасность при выполнении работ на РУ среднего напряжения (см. рисунок 2).

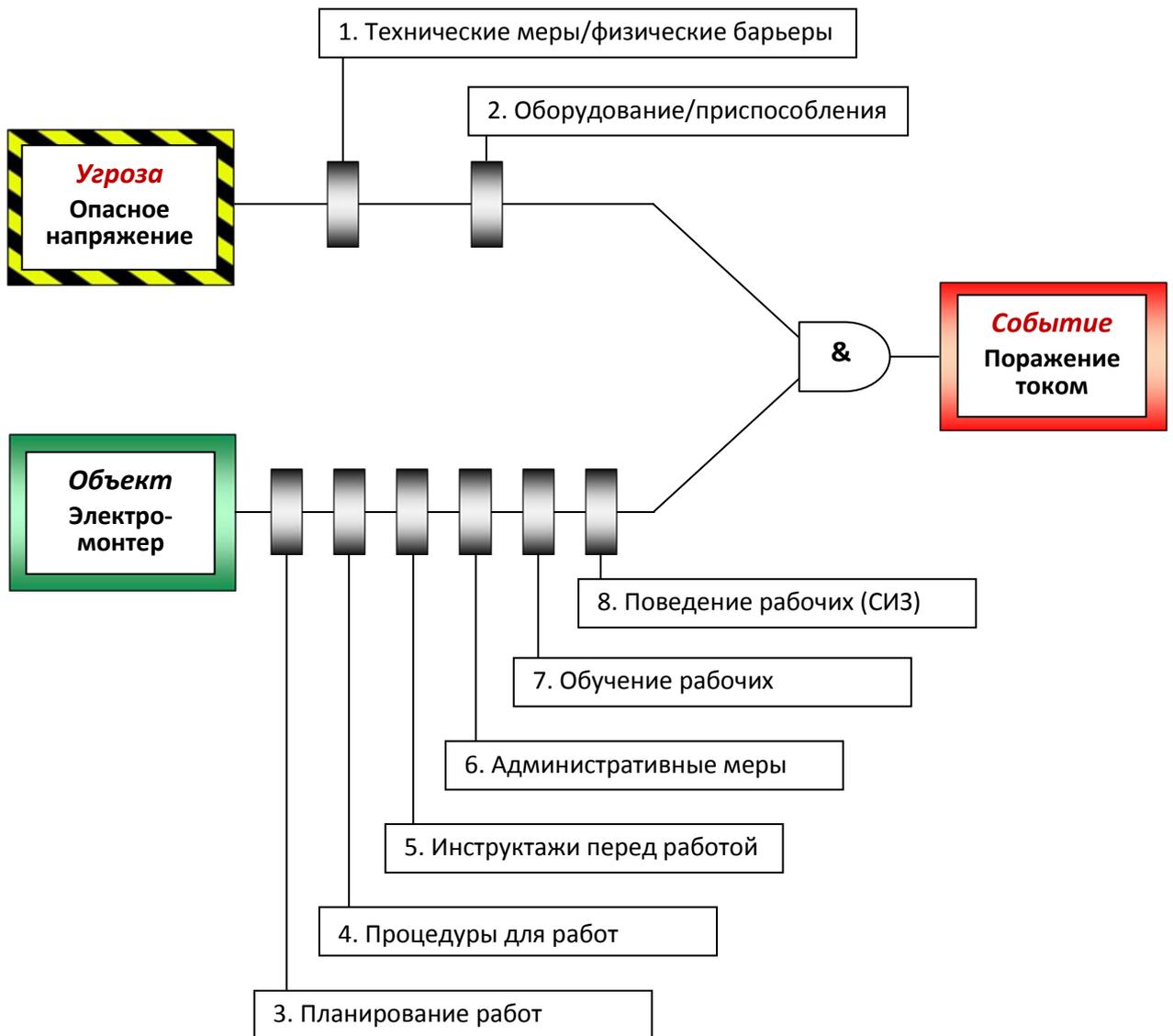


Рисунок 2. Барьеры безопасности при выполнении работ на РУ среднего напряжения

1. Технические меры безопасности/физические барьеры:

- Запирание шторок ячеек коммутационной аппаратуры на замок;
- Закрытие частей, находящихся под напряжением, изолирующим материалом или их ограждение;
- Установка ограждений (физических барьеров) на открытые ячейки, на дверки ячеек и задние панели, чтобы предупредить случайное проникновение внутрь.

2. Оборудование/приспособления:

- Применение специальных тележек, которые позволят персоналу устанавливать заземления, находясь вне ячеек выключателей;
- Использование рабочими штанг с длинными изолированными рукоятками (изолирующих штанг для работы под напряжением);

- Оснащение установок специальными испытательными гнездами (зажимами) для измерения сопротивления изоляции;
- Размещение указателей напряжения (приборов контроля напряжения) в легкодоступных для персонала местах, их периодическое обслуживание и испытание, чтобы подтвердить их исправное состояние.

3. Планирование работ:

- Проведение анализа опасности для всех видов работ, при которых работа выполняется на или вблизи оборудования, находящегося под напряжением;
- Снятие напряжения с частей (узлов) электроустановки в пределах возможного;
- Включение в рабочий пакет электрических схем и схем компоновки панелей, в которых ясно показаны все электрические части установки и находятся ли они под напряжением или обесточены. Использование рабочими этой информации как исходной при их собственной проверке условий на рабочем месте;
- Чёткое установление объёма работ (зоны работ) и включение в пакет рабочих документов информации о том, как рабочий может физически дойти до электроустановки или войти в неё для выполнения работы и какого оборудования (частей) он может касаться. Включение в объём работ идентификации ячеек, в которые требуется войти;
- Определение для рабочих зон безопасного производства работ и включение этой информации в рабочий пакет. Включение в эти зоны участков, где необходимо применение средств защиты от поражения электрическим током и электрической дугой. Применение всеми лица в этих зонах необходимых СИЗ;
- Пересмотр вопросов безопасности, если в утвержденный рабочий пакет внесены изменения.

4. Процедуры:

- Включение требований по применению СИЗ при работах в электроустановках среднего напряжения в соответствующие процедуры и учебные программы;
- Чёткое определение/указание в процедурах СИЗ, которые достаточны для защиты от поражения электрическим током и электрической дугой;
- Чёткое указание в процедурах способов подключения различных устройств, таких как заземляющие провода и испытательные приборы (приспособления), к оборудованию распределительных устройств.

5. Инструктажи перед работой:

- Включение в инструктажи перед работой, как минимум, всестороннего рассмотрения зоны производства работ, состояния электрооборудования распределительного устройства, каких частей придётся касаться в процессе работы, зон безопасного производства работ, возможных опасностей и ожиданий руководства относительно рабочей практики;
- Установление ограничений по количеству людей, которые могут находиться вблизи электроустановки во время работы. Эти ограничения следует вводить, основываясь на степени опасности, связанной с выполнением конкретной работы;
- Проведение инструктажа перед работой всем рабочим, контролирующим и дублирующим лицам;
- Включение в инструктаж вопросов, рассматривающих подходящий отраслевой и собственный опыт эксплуатации, связанный с происшествиями в электроустановках.

6. Административные меры:

- Использование предупреждающих плакатов безопасности, чтобы гарантировать, что защитные шторки в распределительном устройстве останутся закрытыми;
- Вывешивание предупреждающих об опасности плакатов на открытых ячейках, на дверцах ячеек и с обратной стороны панелей, чтобы предупредить случайное (непредумышленное) проникновение внутрь ячеек.

7. Обучение:

- Подтверждение прохождения электриками обучения и наличия опыта работы в распределительных устройствах среднего напряжения. Получение рабочими указаний по особенностям компоновки распределительного устройства и питающих источников. Акцентирование внимания на вопросах применения СИЗ.

8. Поведение рабочих (СИЗ):

- Проверка рабочими отсутствия напряжения на всех токоведущих частях, которые находятся в непосредственной близости к месту производства работы или к которым возможно прикосновение в процессе работы;
- До тех пор, пока цепь не будет отключена и на ней не будет проверено отсутствие напряжения, рабочие должны считать, что токоведущие части находятся под напряжением;
- Акцентирование внимания при инструктажах перед работой на необходимость применения самоконтроля и контроля со стороны, а также контроль за их применением лицами, осуществляющими надзор за работами, и руководителями;
- Применение рабочими установленных СИЗ, таких как, огнезащитная одежда,

состоящая из комбинезона и капюшона; предназначенных для работ в электроустановках защитных щитков для лица; ношение невоспламеняющейся персональной одежды; использование изолирующих защитных средств, включающих: диэлектрические перчатки, кожаные рукавицы, нарукавники, резиновые коврики, инструмент с изолирующими ручками, защитные очки, защитные каски и кожаную обувь.

Перечисленные барьеры рассматриваются в рамках глубокоэшелонированной системы защит, призванной предупредить возникновение неправильного действия, а если оно было допущено, вовремя устранить или минимизировать его последствия [13]. Тот факт, что деятельность человека подвержена ошибкам и ему свойственно совершать неправильные действия, является одним из принципов, лежащих в основе стратегии глубокоэшелонированной защиты (защиты в глубину) для обеспечения надёжной эксплуатации АЭС [30]. Стратегия глубокоэшелонированной защиты распространяется не только на элементы, оборудование и инженерно-технические системы, влияющие на безопасность АЭС, но также на деятельность человека (например, на организацию технического обслуживания, административный контроль, подготовку и аттестацию персонала), реализуя многочисленные барьеры на пути ошибок человек [22, 30, 31].

К сожалению, специалистами и руководством АЭС не были проанализированы перечисленные в SER 2002-4 недостатки барьеров обеспечения безопасности персонала и извлечённые уроки из событий при выполнении работ на РУ среднего напряжения. Не были предприняты соответствующие корректирующие меры, которые бы позволили устранить причины, приведшие к несчастному случаю с СДЭМ К.

Коренные причины инцидента и корректирующие меры.

В ходе расследования данного несчастного случая Комиссия определила следующие коренные причины события (кодификация коренных причин дана согласно РД ЭО 1.1.2.01.0163-2016 [18]).

1. *Невыполнение установленного на АЭС порядка организации работ по БП № 389: НСБ-3 не проведён целевой инструктаж по выполнению работ по БП для НСЭЦ А. Коренная причина: "Недостатки управления и организации эксплуатации. Недостатки порядка допуска к работам".*

Следует заметить, что НСЭЦ также не провёл положенный целевой инструктаж НСЭЦ А. и СДЭМ К. по БП № 389 перед началом работ. При этом целевой инструктаж был проведён НСАЭС для НСЭЦ А. и НСЭЦ А. для СДЭМ К. Но в обоих случаях не было привлечено внимание исполнителей к опасному производственному фактору в ячейке № 47 секции ЗВА. Поэтому, если бы НСБ-3 провёл целевой инструктаж, разъяснив НСЭЦ А.

только цель предстоящей работы по БП № 389, это ничего бы не изменило. Главное, на что необходимо обратить внимание при выработке последующих корректирующих мер, это содержание целевых инструктажей: включение в них всестороннего рассмотрения возможных опасных производственных факторов при выполнении переключений, применения полного набора основных и дополнительных средств защиты при производстве работ на электрооборудовании, использования методов предупреждения неправильных действий (трёхсторонняя коммуникация, независимый контроль, партнёрский контроль и самоконтроль) и соответствующего внутреннего и внешнего опыта, связанного с событиями в электроустановках [28].

"Коренная причина" - это фундаментальная причина исходного события, при устранении которой предотвращается повторение инцидента, или вероятность его повторения будет снижена до минимума [19 – 21, 32]. Проведение ещё одного целевого инструктажа без изменения его содержания и отношения к вопросам безопасности при выполнении ответственных переключений не позволит предотвратить повторения несчастного случая в будущем или даже уменьшить вероятность такого повторения. Данные аспекты должны быть включены в подготовку персонала ЭЦ, ответственного за проведение целевых инструктажей, и быть частью наблюдений или оперативного надзора руководителей ЭЦ за организацией и проведением работ на электрооборудовании.

Формулируя корректирующие меры по данной причине, Комиссия ограничилась лишь общей рекомендацией обучения персонала ЭЦ по теме "Проведение целевых инструктажей".

2. Приоритет соображений производительности, удобства выполнения работ над мотивацией на безопасность, качество и дисциплину у НСЭЦ А. и СДЭМ К. Коренная причина: "Неадекватная мотивация".

Работы по БП № 389, приведшие к несчастному случаю, носили рутинный характер, регулярно и успешно выполнялись оперативным персоналом ЭЦ в прошлом. Как подчеркивается в SER 2002-4 [28], такие работы заранее планируются для производства во время плановых ремонтов, вероятность получения травм персоналом оценивается как низкая. Поэтому к подобным работам нет должного внимания, в первую очередь, руководства ЭЦ, которое привлекает к выполнению ответственных переключений оперативный персонал в его выходной день (отработка "пыльных" дней) без прохождения предсменного медосмотра (как было установлено Комиссией), не выделяет специалиста для независимого контроля за переключениями из числа АТП ЭЦ, не проводит целевые инструктажи для исполнителей перед началом работ, не акцентирует внимание на

опасных производственных факторах, связанных с переключениями на секции ЗВА КРУ 6 кВ.

"Неадекватная мотивация" НСЭЦ А. и СДЭМ К. - следствие общих недостатков процессов управления и организации работ по БП № 389. СДЭМ К. был очень опытным электромонтёром, много лет успешно выполняющим свои обязанности, не имеющий дисциплинарных взысканий. Крайне важно понимать, что в атмосфере всеобщей самоуспокоенности, благодушия в отношении ответственных переключений на электрооборудовании, лишь вопрос времени, когда произойдёт несчастный случай.

Формулируя корректирующие меры по данной причине, Комиссия рекомендовала провести практическое обучение оперативного персонала ЭЦ по выполнению оперативных переключений и измерению сопротивления изоляции в КРУ 6 кВ. Эту общую рекомендацию следует конкретизировать. В рамках предлагаемого обучения необходимо отработать использование полного набора основных и дополнительных средств защиты и методов предупреждения неправильных действий (трёхстороннюю коммуникацию, независимый контроль, партнёрский контроль и самоконтроль) при производстве работ на электрооборудовании, а также рассмотреть соответствующий внутренний и внешний опыт, связанный с происшествиями в электроустановках [28]. Следует разработать руководство по методам предупреждения неправильных действий для систематического использования при планировании, организации и выполнении работ и включить его в программы подготовки персонала и руководителей всех уровней.

3. Отсутствие контроля за оперативными переключениями по БП № 389 со стороны АТП ЭЦ при выполнении работ на секции ЗВА. Коренная причина: "Неадекватная мотивация".

Любопытно, что непроведение НСБ-3 целевого инструктажа для НСЭЦ А. не было кодифицировано как "Неадекватная мотивация" (Коренная причина № 1), в отличие от отсутствия контроля за выполнением работ на секции ЗВА со стороны АТП ЭЦ. Причём речь идёт о всём АТП ЭЦ, а не об отдельном лице (как ведущий инженер во втором модельном событии). В этом случае правильнее говорить о "Недостатках управления и организации эксплуатации" в отношении независимого контроля за работами, а не использовать туманный термин "Неадекватная мотивация". Комиссия в итоге не представила корректирующие меры по данной коренной причине.

4. Сниженное функциональное состояние СДЭМ К. Коренная причина: "Сниженное функциональное состояние".

Определение причин несчастного случая должно строиться на фактах, выявленных в ходе расследования инцидента. В тексте отчёта Комиссии по данному несчастному

случаю отсутствуют какие-либо упоминания о влиянии самочувствия СДЭМ К. на выполнение работ. Совершенно не ясно, в чём проявлялось "сниженное функциональное состояние": накопленная усталость (переутомление), плохое самочувствие (предболезнь), чувство беспокойства (жизненный стресс)?

Функциональное состояние операторов играет важную роль в поддержании необходимого уровня бдительности и осторожности, процессов восприятия и памяти, контроля (самоконтроля) и концентрации внимания на выполняемой задаче. Но функциональная готовность к выполнению работ - это "*способствующая причина*", устранение которой само по себе не сможет предотвратить событие, но которая повышает вероятность инцидента и тяжесть его последствий, делая её достаточно важной для принятия корректирующих мер [18, 20, 21, 30].

В рамках корректирующих мер по данной причине, Комиссия рекомендовала внести в "Инструкцию по оперативному управлению АЭС" процедуру ввода в смену дополнительного оперативного персонала и учесть необходимость прохождения им предсменного медосмотра. Кроме предсменного медосмотра, на АЭС США и Канады, например, внедрены программы функциональной готовности персонала к выполнению своих обязанностей (Fitness for Duty, FFD) [30, 33].

Для успешного выполнения работником своих обязанностей необходимо обеспечить, чтобы способности, с которыми он прибывает на рабочее место, находились в ожидаемых пределах и соответствовали требованиям поставленной перед ним задачи. Ухудшение или снижение умственных или физических способностей и возможностей человека, например, из-за употребления лекарств, переутомления, болезни или жизненного стресса, увеличивает вероятность ошибочных действий. Для контроля таких нежелательных состояний на АЭС и внедряют программы FFD, которые рассматривают во время обучения операторов вопросы режима труда и отдыха, правильного питания, влияния функционального состояния на выполнение ответственных операций, признаки ухудшения функционального состояния. Эти вопросы включены в программы подготовки линейных руководителей для отслеживания готовности своих подчинённых к выполнению конкретных задач (наблюдения за особенностями поведения персонала), для планирования правильной продолжительности рабочего времени, сверхурочных работ, графика смен. В рамках программ FFD поощряется сообщение персоналом о проблемах с функциональным состоянием перед началом ответственных работ для принятия необходимых мер, что требует атмосферы открытости и доверия между руководителями и подчинёнными [34].

Заметим здесь, что в отчёте Комиссии по расследованию, по аналогии с функциональным состоянием, также отсутствует рассмотрение, анализ и обоснование БП № 389 как причинного фактора, но при этом указаны корректирующие меры по внесению следующих изменений в типовую форму бланка переключений:

- внести графу фиксации проведения целевого инструктажа перед выполнением работ;
- внести обязательные требования о контроле наличия полного комплекта СИЗ перед выполнением работ;
- в начале указывать место переключения, панель, ячейку и т.п., а затем то, что нужно сделать;
- перед замером отсутствия напряжения на токоведущих частях или после отключения заземляющего ножа, прописать в БП операции, которые выполняются со шторками (закрыть/открыть), акцентируя внимание на том, что это потенциально опасные операции;
- указать в БП все шаги, выполняемые при работе с мегаомметром;
- для исключения ошибок при замере изоляции мегаомметром указать в БП требования о переходе из одной ячейки КРУ 6 кВ в другую.

БП № 389 был разработан на основе типового бланка переключений, и такая практика была успешной многие годы. Лишь после несчастного случая стало понятно, что недостатки типового бланка могут повышать вероятность инцидента и тяжесть его последствий, что требует принятия корректирующих мер. Поэтому недостатки БП № 389 можно классифицировать как способствующую причину несчастного случая с СДЭМ К. Дополнительно имеет смысл рассмотреть и проанализировать содержание других типовых бланков переключений, используемых при работа на электрооборудовании ЭЦ.

5. Недостаточный контроль за оперативными переключениями по БП № 389 со стороны НСЭЦ А. при выполнении работ на секции ЗВА. Коренная причина: "Неадекватная мотивация".

Формулировка причины является частной от представленной в пункте 2.

6. Приоритет соображений производительности, удобства выполнения работ над мотивацией на безопасность, качество и дисциплину у СДЭМ К. Коренная причина: "Неадекватная мотивация".

Формулировка причины дословно (за исключением упоминания НСЭЦ А.) повторяет содержание пункта 2

7. Недостаточный контроль за применением СИЗ подчиненным персоналом со стороны НСЭЦ. Коренная причина: "Неадекватная мотивация".

Формулировка причины является частной от представленной в пункте 2. Непроведение НСЭЦ целевого инструктажа для НСЭЦ А. и СДЭМ К. по БП № 389 перед началом работ не рассмотрен Комиссией как причинный фактор.

8. *Отсутствие контроля за применением СИЗ со стороны АТП ЭЦ при выполнении работ на секции ЗВА. Коренная причина: "Неадекватная мотивация".*

Формулировка причины является частной от представленной в пункте 3.

Коренные причины п. 5 – 8 приведены специально, потому что они (как вторая и третья коренные причины) демонстрируют пример "карательной культуры": найти и указать конкретных виновников инцидента, объяснив их поведение несчастный случай, а само поведение - недостатками виновников (например, "неадекватной мотивацией"). Мотивация персонала - баланс между производственными задачами и вопросами безопасности - это ответственность руководства организации. И если у персонала "неадекватная мотивация", то это вопросы, в первую очередь, к управлению и организации работ, к процессам надзора за безопасностью выполнения работ, к содержанию обучения персонала.

Описанные ранее два модельных события, которые "успешно" завершились, мало отличались, по сути, от фактического инцидента. В них присутствовали те же латентные (скрытые) опасные условия, недостатки в процессах управления и организации работ по БП № 389, в мотивации персонала, которые присутствовали в ситуации с несчастным случаем. Достаточно было незначительного дополнительного условия, например, "снижения функционального состояния", чтобы рутинные, много лет успешно выполняемые операции привели к тяжёлой травме оператора. Обвинять в этом случае отдельных людей, персонал передней линии - это продолжать играть в "русскую рулетку".

Базовые принципы обеспечения надёжности деятельности человека гласят [13, 32, 35, 36]:

1. Людям свойственно ошибаться, и даже лучшие специалисты совершают ошибки;
2. Ситуации, предрасполагающие к ошибкам, управляемы и предотвращаемы;
3. Поведение людей определяется организационными процессами и ценностями (принципами);
4. Люди достигают высоких результатов в своей деятельности главным образом благодаря поощрению и поддержке со стороны руководителей, коллег и подчинённых;
5. Инцидентов можно избежать, если понять причины возникновения ошибок и использовать уроки, извлечённые из прошлых событий, а не искать «виновных».

Поэтому при анализе инцидентов, связанных с проблемами в деятельности человека, необходимо руководствоваться следующими правилами [37]:

- Избегать обвинений, возложения вины на отдельных лиц;
- Не ограничивать анализ действиями лишь отдельных лиц и стремиться к пониманию основных организационных проблем;
- Извлекать уроки как из положительных, так и из негативных действий, которые имели место;
- Делиться выявленными уроками, чтобы другие могли извлечь пользу для себя из проведённого анализа;
- Следовать при анализе инцидентов тому же подходу, основанному на сотрудничестве, который используется при выполнении работ;
- Получать при анализе инцидентов поддержку со стороны высшего руководства для своевременного выполнения;
- Предоставлять свободный доступ к результатам анализа инцидентов для всего заинтересованного персонала организации.

Цель расследований состоит в том, чтобы получить максимальную отдачу от ответных мер на неблагоприятные события. Как правило, существует сильное давление для поиска простых объяснений и очевидных причин (например, "неадекватная мотивация" оперативного персонала). Но опыт доказывает, что такие события всегда более сложные и редко обусловлены исключительно действиями отдельных вовлечённых лиц [38, 39, 40, 41]. Процесс анализа инцидентов должен вести к извлечению и пониманию всех возможных уроков, полезных для организации. Для этого анализ инцидентов должен фокусироваться на выявлении и понимании не только непосредственных и очевидных причин, но также и контекста решений, почему люди делали то, что они делали, и какие основные сильные и слабые стороны управления и организации могли на это оказывать влияние. Только благодаря более глубокому пониманию причин возникновения неблагоприятных событий приходит способность разрабатывать эффективные и надёжные решения, действительно улучшающие производство и безопасность. Цель анализа инцидентов - не определять виновных, а выявлять возможности для улучшений и предупреждения неправильных действий персонала.

Чтобы действительно воспользоваться этими возможностями, необходимо обеспечить своевременное и полное распространение информации по результатам анализа каждого инцидента, которые включают в себя все важные уроки для обучения организации. Необходимо быть готовыми поделиться уроками, извлечёнными в ходе расследования, в открытой, конструктивной и доверительной манере. Демонстрируя обязательство

делиться этой информацией, руководство формирует атмосферу доверия и укрепляет приверженность к культуре безопасности в организации [37].

Выводы

Современные подходы к формированию сильной культуры безопасности АЭС, предложенные МАГАТЭ, ВАО АЭС, DOE, подчёркивают важность развития организационного обучения, способности извлекать ценные уроки из успехов и неудач для совершенствования своей деятельности. Анализ отчёта по результатам расследования несчастного случая на секции ЗВА КРУ 6 кВ высветил следующие признаки слабой культуры безопасности в области организационного обучения:

1. Расследование события, вызванного действиями персонала, выполнялось без применения методов анализа коренных причин неправильных действий человека (диаграммы событий и причинных факторов, анализа барьеров и анализа изменений [21]), что затрудняет в полной мере выявление и устранение фундаментальных причин таких событий.
2. В ходе расследования была нарушена базовая логика анализа инцидентов: факты – причины – корректирующие меры; определение коренных причин могло не основываться на фактах, а корректирующие меры могли не опираться на выявленные коренные причины или отсутствовать для них.
3. Не разработано руководство по анализу причин неправильных действий человека (методы анализа, классификация неправильных действий, причинные факторы) и не подготовлены эксперты в этой области для участия в расследовании инцидентов.
4. Основное внимание при расследовании уделяется непосредственным участникам происшествий, поиску очевидных причин и простых объяснений (например, "неадекватная мотивация"); недостатки процессов управления и организации работ, подготовки персонала, надзора за безопасностью работ остаются без должного анализа.
5. Не используется внутренний и внешний опыт эксплуатации для извлечения важных уроков и усиления системы барьеров, обеспечивающих безопасность работ на электроустановках; культивируется атмосфера благодушия, самоуспокоенности ("у нас это не случится").
6. Не разработаны проактивные показатели безопасности для отслеживания скрытых организационных недостатков в глубокоэшелонированной системе защит и определения их тенденций с целью предупреждения развития серьёзных проблем, связанных с действиями персонала.

7. Не разработано руководство по методам предупреждения неправильных действий персонала и не проводится системная работа по их внедрению и поддержанию через обучение и надзор (наблюдения руководства).

Организационное обучение строится на извлечении уроков из успехов и ошибок. Все организации стремятся к достижению высоких и устойчивых показателей эффективности и безопасности своей деятельности. Однако неблагоприятные события, происшествия и несчастные случаи могут происходить время от времени. Когда они возникают, они ставят руководство перед чётким выбором: либо оно сможет извлечь уроки из неблагоприятных событий и улучшить свои производственные показатели и показатели безопасности, или же ухудшит ситуацию, обвинив отдельных лиц в допущенных ошибках и наложив на них дисциплинарные взыскания. Опыт учит, что способ, каким организация рассматривает возникшие происшествия, может оказать огромное влияние на её культуру безопасности [37].

Список литературы

1. *Машин, В. А.* Формирование и развитие культуры безопасности на атомных станциях [Текст] / В. А. Машин // *Электрические станции*. – 2016. – № 8. – С. 2 – 9.
2. *Управление знаниями в научно-исследовательских и проектных ядерных организациях* [Текст]: IAEA-TECDOC-1675. – МАГАТЭ. – 2016. – 82 с.
3. *Fundamental Safety Principles* [Text]: IAEA Safety Standards No. SF-1. – IAEA. – 2006. – 37 p.
4. *Application of the Management System for Facilities and Activities. Safety Guide* [Text]: IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1. – IAEA. – 2006. – 116 p.
5. *The Management System for Nuclear Installations. Safety Guide* [Text]: IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.5. – IAEA. – 2009. – 157 p.
6. *Principles for a Strong Nuclear Safety Culture. Guideline* [Text]: WANO GL 2006-02. – WANO. – 2006. – 14 p.
7. *Traits of a Healthy Nuclear Safety Culture. Principles* [Text]: WANO PL 2013-1. – WANO, 2013. – 11 p.
8. *Traits of a Healthy Nuclear Safety Culture. Addendum II: Cross-References* [Text]: WANO GL 2013-1. – WANO. – 2013. – 52 p.
9. *Traits of a Healthy Nuclear Safety Culture. Addendum II: Cross-References* [Text]: INPO 12-012. – INPO. – 2013. – 70 p.
10. *Integrated Safety Management System Guide* [Text]: DOE G 450.4-1C. – U.S. Department of Energy. – 2011. – 104 p.

11. *A Guide to Safety Culture Evaluation* [Text]: Integrated Safety Management Working Group. Energy Facility Contractors Group. – EFCOG/DOE. – 2015. – 103 p.
12. *OSART Independent Safety Culture Assessment (ISCA) Guidelines* [Text]: IAEA Services Series No. 32. – IAEA. – 2016. – 64 p.
13. *Human Performance Improvement Handbook. Volume 1: Concepts and Principles* [Text]: DOE Standard DOE-HDBK-1028-2009. – U.S. Department of Energy. – 2009. – 175 p.
14. *Assessing safety culture in DOE facilities* [Text]: Safety Culture Task Team. EFCOG Meeting Handout. – EFCOG/DOE. – 2008. – 34 p.
15. *СТО 1.1.1.04.001.0143-2015* Положение о годовых отчётах состояния безопасной эксплуатации энергоблоков атомных станций [Текст]: Стандарт организации. – Росэнергоатом. – 2015. – 240 с.
16. *Правила* по охране труда при эксплуатации электроустановок [Текст]: Правила. – Минтруда России. – 2013. – 124 с.
17. *СО 153-34.20.505-2003* Инструкция по переключениям в электроустановках [Текст]: – Инструкция. Минэнерго РФ. – 2004. – 115 с.
18. *РД ЭО 1.1.2.01.0163-2016* Организация расследования значимых для безопасности и надежности событий на атомных станциях АО «Концерн Росэнергоатом». Положение [Текст]: Руководящий документ. – Росэнергоатом. – 2016. – 113 с.
19. *Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. Терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты* [Текст]: МАГАТЭ. – 2007. – 303 с.
20. *Руководство по опыту эксплуатации на АЭС* [Текст]: WANO GL-2003-01. – ВАО АЭС. – 2003. – 66 с.
21. *Анализ коренных причин инцидента на ядерной установке: справочное руководство* [Текст]: IAEA-TECDOC-1756. – МАГАТЭ. – 2015. – 178 с.
22. *Reason, J. Managing the Risks of Organizational Accidents* [Text]: J. Reason. – Taylor & Francis. – 2016. – 272 p.
23. *Машин, В. А. О нарушениях в работе атомных станций, обусловленных человеческим фактором* [Текст] / В. А. Машин // *Электрические станции*. – 2012. – № 3. – С. 9–15.
24. *Машин, В. А. Культура безопасности и система сбора, учета, классификации и анализа событий низкого уровня* [Текст] / В. А. Машин // *Электрические станции*. – 2012. – № 8. – С. 20–28.
25. *Heinrich, H. W. Industrial accident prevention: A scientific approach. 2nd Edition* [Text]: H.W. Heinrich. – McGraw-Hill Book Company, Inc. – 1941. – 488 p.
26. *Инструменты обеспечения качества работы персонала. Положительная практика* [Текст]: WANO GP ATL-08-002. – ВАО АЭС. – 2009. – 52. с.

27. *Машин, В. А.* Культура безопасности: методы предупреждения неверных действий человека [Текст] / В. А. Машин // Электрические станции. – 2018. – № 2. – С. 2–12.
28. *Тяжёлые* несчастные случаи с рабочими при выполнении работ в распределительных устройствах среднего напряжения. Сообщение ВАО АЭС о значительном событии [Текст]: WANO SER 2002-4. – ВАО АЭС. – 2002. – 19 с.
29. *ГОСТ Р 54934-2012/OHSAS 18001:2007* Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования [Текст]: Национальный стандарт РФ. – Росстандарт. – 2013. – 28 с.
30. *The Human Performance Evaluation Process: A Resource for Reviewing the Identification and Resolution of Human Performance Problems* [Text]: NUREG/CR-6751. – NRC. – 2002. – 178 p.
31. *Андрушечко, С. А.* и др. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта [Текст]: С. А. Андрушечко, А. М. Афров, Б. Ю. Васильев, В. Н. Генералов, К. Б. Косоуров, Ю. М. Семченков, В. Ф. Украинцев. – М.: Логос. – 2010. – 604 с.
32. *Машин, В. А.* Культура безопасности: принципы анализа событий на АЭС [Текст] / В. А. Машин // Электрические станции. – 2015. – № 9. – С. 39–48.
33. *Fitness for Duty: Managing Worker Fatigue. Human Performance Management* [Text]: CNSC REGDOC-2.2.4. – Canadian Nuclear Safety Commission. – 2017. – 21 p.
34. *Машин, В. А.* Культура безопасности: принцип атмосферы доверия в организации [Текст] / В. А. Машин // Электрические станции. – 2018. – № 9. – С. 2–14.
35. *Принципы* эффективной работы персонала [Текст]: WANO GL 2002-02. – ВАО АЭС. – 2003. – 33 с.
36. *Машин, В. А.* Повышение эффективности деятельности персонала АЭС [Текст] / В. А. Машин // Электрические станции. – 2013. – № 5. – С. 2–10.
37. *Issues Management Program Manual* [Text]: LBNL/PUB-5519. Rev. 1. – Lawrence Berkeley National Laboratory. – 2017. – 110 p.
38. *Машин, В. А.* Культура безопасности труда и охраны здоровья [Текст] / В. А. Машин // Электрические станции. – 2020. – № 11. – С. 43–54.
39. *Машин В.А.* Культура безопасности: вопросы контроля и надзора [Текст] / В. А. Машин // Электрические станции. – 2016. – № 9. – С. 2–12.
40. *Машин, В.А.* Культура безопасности: Система учета опыта эксплуатации [Текст] / В. А. Машин // Электрические станции. – 2017. – № 7. – С. 2 – 13.
41. *Машин, В.А.* Культура безопасности: Система учета человеческого фактора [Текст] / В. А. Машин // Электрические станции. – 2017. – № 8. – С. 11 – 22.