

**Мониторинг культуры безопасности: опережающие показатели и критерии**

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

E-mail: [mashin-va@mail.ru](mailto:mashin-va@mail.ru)

Рассмотрены критерии и опережающие показатели проактивного подхода к управлению процессами и видами деятельности в области обеспечения надёжности и безопасности персонала атомных станций, которые служат основой для мониторинга культуры безопасности, сформированной и поддерживаемой в организации. Приведены примеры критериев и опережающих показателей для процессов учёта человеческого фактора (предупреждение неправильных действий персонала) и учёта опыта эксплуатации (предупреждение повторения аналогичных событий и причин в будущем). Выделены факторы, способствующие внедрению проактивного подхода к управлению процессами и видами деятельности в области обеспечения надёжности и безопасности. Представленный материал будет полезен для проведения мониторинга культуры безопасности и оценки качества и эффективности процессов и видов деятельности в области обеспечения надёжности и безопасности как АЭС, так и электростанций других типов.

**Ключевые слова:** атомная электростанция, персонал, культура безопасности, процесс учёта человеческого фактора, процесс учёта опыта эксплуатации, опережающие показатели, проактивный подход.

Культура безопасности АЭС формируется и развивается на основе процессов и программ, соответствующих требованиям, методов и принципов, которые станция внедряет и поддерживает с целью обеспечения надёжности и безопасности производства электроэнергии [1]. Ошибочно рассматривать культуру безопасности как отдельный процесс или программу в отрыве от задач обеспечения качества, экологической, ядерной, радиационной и производственной безопасности.

После аварии на АЭС Три-Майл-Айленд в 1979 г. человеческий фактор был признан критически важным для безопасной эксплуатации атомных станций [2, 3]. С целью обеспечения надёжности и безопасности деятельности персонала в последующие десятилетия были разработаны и внедрены два процесса: учёт человеческого фактора и учёт опыта эксплуатации. Первый процесс реализует принцип глубокоэшелонированной защиты в отношении предупреждения, своевременного выявления и минимизации последствий неправильных действий персонала [4]. Для этого разработана система методов (защит или барьеров), которая охватывает все уровни управления станцией и

стадии планирования, организации, надзора и выполнения работ, начиная от выработки руководством стратегического плана обеспечения надёжности и безопасности деятельности персонала [5, 6] и заканчивая самопроверкой исполнителем работ правильности своих действий [7, 8]. Кроме этого, выполнение ответственных работ предполагает применение нескольких методов предупреждения неправильных действий персонала, включая инструктажи перед началом работ с рассмотрением способствующих ошибкам факторов, параллельный контроль (исполнитель и контролер работают вместе) и независимый контроль (контролёр непосредственно не вовлечён в работу исполнителя).

Основная цель процесса учёта человеческого фактора - минимизировать риски, обусловленные действиями персонала: максимально снизить частоту (уменьшить вероятность) и тяжесть (ослабить последствия) событий на АЭС, вызванных неправильными действиями персонала.

Для мониторинга достижения этой цели и определения эффективности всего процесса были выработаны ключевые показатели надёжности и безопасности деятельности персонала [4, 9]. В основу их было положено время работы персонала без событий, обусловленных его неправильными действиями [5, 6]. Подобно тому, как инженеры контролируют работу оборудования, используя в качестве показателя его надёжности среднее время безотказной работы, надёжность работы персонала можно контролировать аналогичным способом. Для этого фиксируется время работы персонала между событиями, которые подлежат учёту в соответствии с установленными критериями. Несколько барьеров глубокоэшелонированной защиты должны отказать одновременно, вызвав последствия, достаточные, чтобы превысить порог критерия для учёта события, который запускает новый отсчёт времени ("сброс часов" [5, 6]). Данный показатель отслеживается на уровне как станции, так и отдельных подразделений, указывая, насколько хорошо организация обеспечивает надёжность и безопасность деятельности персонала.

Учитываемые события могут быть следствием как неправильных действий персонала (активная ошибка или осознанное отклонение от процедуры), так и использования персоналом рабочей документации, процедур или схем, содержащих ошибки (латентные организационные недостатки, возникшие в течение последних 18 месяцев [5, 6]). При этом критерии событий, которые запускают новый отсчёт времени надёжной работы персонала, для всей станции и подразделений различаются.

Приведём примеры событий, которые подлежат учёту на уровне станции [9].

1. Ядерная безопасность:

- событие, требующее ввода в действие аварийного плана;

- незапланированные изменения режима работы реактора;
  - неожиданные/незапланированные изменения реактивности с изменением нейтронной мощности реактора  $\geq 3\%$ ;
  - незапланированные остановки реактора в соответствии с требованиями технологического регламента на  $\leq 72$  часа;
  - повреждение, неправильная установка или падение тепловыделяющей сборки (ТВС);
  - незапланированное превышение установленных порогов риска потери выработки электроэнергии или останова реактора;
  - снижение работоспособности или невозможность систем безопасности выполнять свои функции из-за работ и действий персонала при обслуживании оборудования.
2. Радиационная безопасность (потеря контроля):
- высокий уровень радиации ( $> 0.01$  Зв в час) в зоне свободного режима или помещении, в котором зафиксированы очень высокие значения радиации, требующие уведомления регулятора;
  - сброс жидких радиоактивных отходов за пределы станции;
  - незапланированное облучение (непреднамеренное воздействие радиации), превышающее расчётную индивидуальную дозу на  $\geq 0.001$  Зв.
3. Производственная безопасность:
- несчастный случай со смертельным исходом, потерей рабочего времени или временной нетрудоспособностью.
4. Эксплуатация энергоблока:
- работы или действия персонала на оборудовании, которые привели к снижению мощности реактора  $\geq 10\%$ ;
  - незапланированные или внеплановые остановки реактора или турбины;
  - ошибка переключения/маркировки/выбора оборудования, обусловленная недостатками организации допуска к работам и проверки подготовки рабочего места к выполнению работ;
  - причинение материального ущерба на сумму свыше 100 000 долларов.

Опыт атомной энергетики убедительно доказал, что совершенно недостаточно использовать для управления безопасностью лишь значимые события, имеющие серьёзные последствия [2, 3, 10, 11]. Фокус внимания постепенно сместился на сбор и

анализ событий без существенных последствий, которые могли служить предвестниками возможных значимых нарушений в работе станций в будущем [12].

Поэтому критерии запуска нового отсчёта времени надёжности работы персонала на уровне подразделений включают в себя следующие события без значимых последствий (каждое подразделение добавляет в этот перечень события, исходя из специфики своей деятельности) [9].

1. Ядерная безопасность:

- незапланированное возрастание уровня риска потери выработки электроэнергии или останова реактора;
- незапланированное превышение пределов и условий безопасной эксплуатации, согласно технологическому регламенту;
- любое сообщение о поведении или условии, которые могут привести к изменению реактивности (возможное, но реально не произошедшее событие [13]);
- работы и действия персонала при обслуживании оборудования, которые могут привести к неработоспособности систем безопасности или вызвать серьёзные переходные процессы;
- событие, которое может привести к повреждению топлива из-за попадания постороннего предмета при выполнении работ со вскрытием оборудования.

2. Радиационная безопасность (нарушение дозиметрического наряда или мер контроля):

- незапланированные дозы облучения или загрязнения персонала;
- радиоактивный материал обнаружен за пределами контролируемой зоны строгого режима;
- незапланированное загрязнение помещения, которое обычно чистое;
- неожиданные сигналы тревоги электронных дозиметров суммарной дозы облучения;
- незапланированное попадание радиоактивных материалов в сточные воды станции.

3. Производственная безопасность:

- регистрируемая травма в соответствии с требованиями управления США по охране труда и промышленной гигиене (OSHA);
- предотвращение дорожно-транспортного происшествия, в котором участвовали транспортные средства предприятия;

- вопросы несоблюдения процедур или программы химического контроля;
  - неследование требованиям программ или их несоблюдение в области производственной безопасности, что приводит к возрастанию вероятности получить реальную производственную травму (например, программы обращения с опасными или химическими материалами, выполнения работ в зонах с ограниченным доступом, на электрооборудовании, по подъёму и транспортировке грузов).
4. Эксплуатация энергоблока:
- незапланированные изменения мощности реактора;
  - причинение материального ущерба на сумму свыше 10 000 долларов;
  - вопросы несоблюдения процедур или программы предотвращения от попадания посторонних предметов при выполнении работ со вскрытием оборудования;
  - работы и действия персонала при обслуживании оборудования, которые могут привести к нарушению его работоспособности или вызвать серьёзные переходные процессы (например, оставить открытым клапан для отбора проб на важном баке или системе, необходимых для работы энергоблока);
  - неследование требованиям программ или их несоблюдение в области обслуживания оборудования, что приводит к возрастанию вероятности реального повреждения оборудования (например, программы выполнения работ на электрооборудовании или по подъёму и транспортировке грузов, программы предотвращения от попадания посторонних предметов и проведения технического обслуживания, эксплуатационных операций, инженерно-технических работ).

События, которые "обнуляют часы" и запускают новый отсчёт времени надёжной работы персонала на уровне станции, имеют серьёзные последствия и требуют проведения тщательного расследования, включая анализ коренных причин. Время работы персонала без событий на уровне станции в целом представляет собой запаздывающий показатель, и при запуске нового отсчёта времени организация вынуждена реагировать на имевшее место значимое событие (реактивный подход).

События, которые "обнуляют часы" и запускают новый отсчёт времени надёжной и безопасной работы персонала на уровне подразделений, относятся к событиям низкого уровня (СНУ - недостаток или отказ, который мог бы стать причиной нежелательного воздействия, но которое не реализовалось благодаря наличию барьеров глубокоэшелонированной защиты [14]) или потенциальным событиям [15] (ПС - возможное, но реально не случившееся значительное событие, которое могло бы

произойти в результате фактической последовательности происшествий, но не произошло благодаря условиям, существовавшим в данное время на станции [13, 16]). Время работы персонала без событий на уровне подразделений можно рассматривать как опережающий показатель, когда запускающие новый отсчёт времени события представляют собой предвестники (предупреждающие сигналы) возможных значимых событий на станции в будущем. Применяя опережающие показатели, подразделения имеют возможность своевременно выявлять негативные тренды и устранять организационные недостатки и условия, способствующие неправильным действиям персонала, предупреждая события, которые могли бы иметь серьёзные последствия в будущем (проактивный подход).

Время работы персонала без событий позволяет рассчитать четыре ключевых показателя [5, 6, 9]:

1. Частота событий - число запускающих новый отсчёт времени событий за последние 18 месяцев умноженное на 10000 и деленное на общее количество отработанных человеко-часов (включая подрядные организации) за последние 18 месяцев.
2. Среднее число дней между последними шестью событиями - число дней между первым и последним из шести запускающих новый отсчёт времени событиями, делённое на 5 (используется для сравнения с текущим значением часов работы персонала без событий).
3. Число дней с момента последнего события (текущее значение часов работы персонала без событий).
4. Наибольшее число дней между событиями за последние 18 месяцев (используется для сравнения с текущим значением часов работы персонала без событий).

На уровне станции и отдельных подразделений производятся мониторинг перечисленных показателей и анализ тенденций. Возрастание тренда среднего числа дней между запускающими новый отсчёт времени событиями указывает на улучшение процесса по обеспечению надёжности и безопасности деятельности персонала. Негативный тренд требует рассмотрения и анализа причин.

Исходя из накопленного опыта, следует избегать следующих практик, которые могут снизить эффективность данных показателей и подорвать доверие к ним [5, 6, 9]:

- допускать постоянное превышение периода 100 дней между запускающими новый отсчёт времени событиями для подразделений без пересмотра и понижения порога критерия учёта событий (на некоторых станциях этот период равен 70 дням);
- акцентировать внимание и чрезмерно подчёркивать недостатки и слабости отдельных лиц или рабочих групп, действия которых инициировали критериальные события, запускающие новый отсчёт времени;

- не информировать персонал о тенденциях показателей часов работы без событий и не объяснять значение этих тенденций;
- запускать новый отсчёт времени при возникновении событий, не связанных с деятельностью человека;
- использовать абсолютные величины показателей часов работы без событий для оценки достижения целей без анализа тенденций их изменения;
- использовать показатели часов работы без событий для оценки деятельности персонала и его премирования;
- не анализировать причины запускающих новый отсчёт времени событий для поиска скрытых организационных недостатков и постоянного организационного обучения.

"Обнуление часов" с запуском нового отсчёта дней работы без событий для станции и подразделений должны доводиться до персонала сразу же после возникновения соответствующего события. Часто для этих целей используются информационные листы с цветовой кодировкой (красный цвет для показателей станции и жёлтый - для показателей подразделений), содержащие следующую информацию [9]:

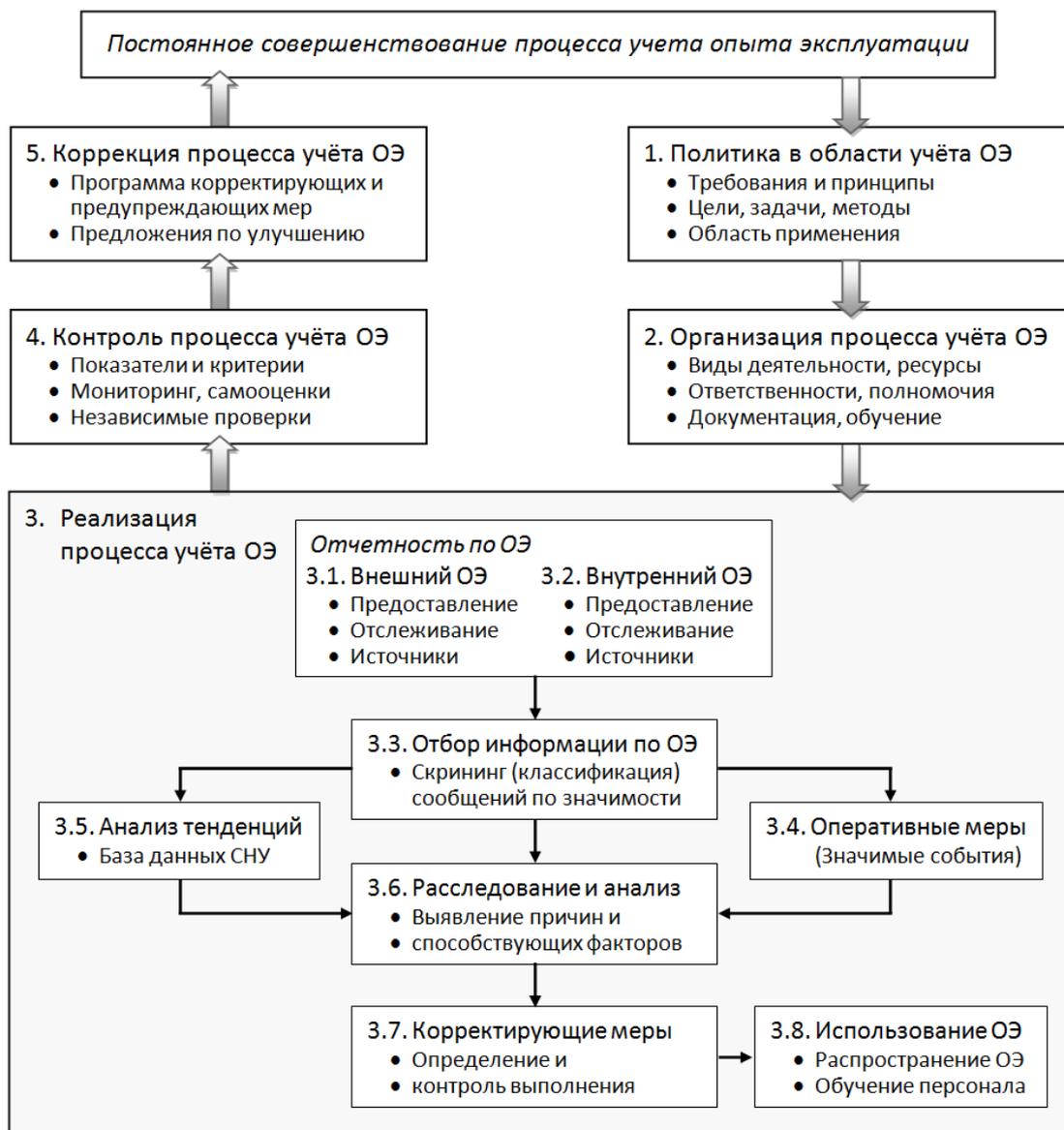
- дату события;
- что произошло;
- классификацию события по критериям запускающих новый отсчёт времени событий для станции или подразделения;
- как это произошло (например, организационные недостатки или условия, способствовавшие неправильным действиям, которые привели к событию);
- как событие могло бы быть предотвращено (например, через эффективные организационные барьеры или методы предупреждения неправильных действий);
- какие уроки были извлечены (например, предложения по усилению организационных барьеров, по использованию методов предупреждения неправильных действий для предотвращения подобных событий в будущем);
- временные и долгосрочные корректирующие меры;
- показатели времени работы без событий.

Для определения потенциальных причин, способствующих факторов и анализа тенденций в области неправильных действий персонала рекомендовано использовать дополнительные опережающие показатели. Негативные тенденции этих показателей могут указывать на проблемы в деятельности персонала и недостатки организационных

мер по предотвращению неправильных действий. Примерами дополнительных показателей служат [9, 17, 18]:

- число событий (скользящее значение за 18 месяцев), обусловленных эксплуатационными действиями на оборудовании (например, ошибками при управлении положением запорной и регулирующей арматуры);
- число событий (скользящее значение за 18 месяцев), обусловленных использованием процедур/инструкций (вопросы качества и соблюдения процедур);
- число событий, обусловленных ненадлежащей подготовкой персонала для выполнения своих профессиональных задач (вопросы качества обучения персонала, его знаний и умений);
- число процедур, для которых имеются задержки в рассмотрении и внесении изменений (рассчитывается на последний день квартала);
- число временных, обходных эксплуатационных решений, продолжительность которых превышает 6 недель (исключая остановы блока на перегрузку топлива);
- число наблюдений за деятельностью персонала, выполненных руководителями разных уровней в течение конкретного периода времени (один месяц или квартал);
- число критических замечаний (что нуждается в улучшении, какие недостатки) по результатам наблюдений руководства в ходе выполнения персоналом работ в течение конкретного периода времени (один месяц или квартал);
- число часов переработки или сверхурочной работы на одного работника подразделения (цеха, отдела);
- число запросов на пересмотр процедур в течение конкретного периода времени (один месяц или квартал);
- число запросов на маркировку компонентов оборудования, сделанных в течение конкретного периода времени (один месяц или квартал);
- доля незапланированных работ в общем объеме выполненных работ (включая запланированные) в течение конкретного периода времени (один месяц или квартал);
- частота несоблюдения персоналом (включая подрядные организации) процедур, инструкций, правил на каждые 1000 человеко-часов;
- число повторных работ (исправлений, доработок) по техническому обслуживанию (скользящее значение за 18 месяцев) до ввода оборудования в эксплуатацию, а также после его ввода в течение 12 месяцев;

- задержки в выполнении корректирующего ремонтного обслуживания на последний день квартала;
- число часов подготовки в области человеческого фактора на одного работника в течение конкретного периода времени (один месяц или квартал).



**Рисунок.** Процессная модель учёта опыта эксплуатации (ОЭ) на атомных станциях.

Показатели, основанные на времени работы персонала без событий, позволяют отслеживать эффективность реализации процесса учёта человеческого фактора, направленного на обеспечение надёжности и безопасности деятельности персонала. При этом в качестве целей процесса следует использовать не абсолютные значения показателей, а их положительные тенденции.

Время работы персонала между СНУ и ПС, а также выявленные тренды опережающих показателей предоставляют организации возможность проанализировать причины, извлечь уроки и принять проактивные меры по повышению надёжности и безопасности деятельности персонала, с целью предупреждения событий с серьёзными для станции последствиями в будущем. Данные задачи решаются в рамках процесса учёта опыта эксплуатации [19], для которого определены ключевые виды деятельности, реализация которых обеспечивает эффективность всего процесса (см. рисунок).

Процессный подход требует от организации постоянного мониторинга реализации как отдельных стадий, так и ключевых видов деятельности процесса учёта опыта эксплуатации (сбор информации, отбор для анализа тенденций и выявления причин, определение корректирующих мер и использование извлечённых уроков). С этой целью были разработаны критерии и показатели качества и эффективности для отдельных стадий и ключевых видов деятельности [12, 19÷25]. Эти критерии и показатели носят в первую очередь проактивный характер, предоставляя возможность организации своевременно выявлять тренды и устранять недостатки и слабые стороны процесса учёта опыта эксплуатации, направленного на предупреждение повторения аналогичных событий и причин в будущем, с возможными серьёзными последствиями для станции.

Далее представлены примеры критериев для оценки качества определения политики и организации процесса учёта опыта эксплуатации (ОЭ).

1. Политика в области учёта ОЭ:

- Определены цели, задачи и ожидания руководства в области учёта ОЭ (предотвращение отказов оборудования и неправильных действий персонала, повышение надёжности и безопасности деятельности персонала за счёт извлечённых уроков из опыта эксплуатации и предложений по улучшению выполнения работ).
- Определены обязательства руководства и его приверженность целям процесса учёта ОЭ.
- Определена регулярность анализа и оценки качества реализации видов деятельности и процесса учёта ОЭ.
- Определены требования к включению в процесс учёта ОЭ сообщений персонала о СНУ и ПС, о недостатках и отклонениях при эксплуатации и техническом обслуживании оборудования на основе некарательной политики к ошибкам персонала (культура справедливых отношений [26]).

2. Организация процесса учёта ОЭ:

- Определены виды деятельности для сбора, первоначального скрининга (классификации) сообщений, анализа, выработки корректирующих мер и использования ОЭ, а также для контроля качества и эффективности процесса и проведения самооценок, с целью его совершенствования.
- Определены организационная структура процесса учёта ОЭ, обязанности, полномочия, требования к лицам, отвечающим за скрининг сообщений, расследование и анализ причин, выработку и выполнение корректирующих мер (квалификация, опыт, подготовка), а также линии взаимодействия на уровне управления АЭС и корпорации.
- Назначены лица, ответственные за управление процессом и видами деятельности по учёту ОЭ, обладающие достаточной квалификацией, опытом и уровнем подготовки.
- Разработаны программы процедуры, методы, критерии, показатели и другие инструменты для реализации процесса учёта ОЭ (например, программа анализа коренных причин неправильных действий человека, методы анализа неправильных действий человека и определения причинных факторов).
- Разработаны инструменты и средства для простого и быстрого предоставления сообщений персоналом, различные каналы связи для передачи информации, а также средства обратной связи, по итогам рассмотрения сообщений.
- Определены источники информации по СНУ и ПС, а также недостаткам и отклонениям в работе оборудования и систем (например, сообщения любого работника станции и подрядной организации, журналы дефектов в работе оборудования, замечания по выполнению работ на разуплотнённом оборудовании, замечания по результатам наблюдений руководителей за действиями персонала и др.).
- Разработаны инструменты поощрений предоставления персоналом сообщений и использования ОЭ для повышения надёжности и безопасности своей деятельности и работы станции.
- Разработаны критерии и показатели для регулярной проверки качества и эффективности процесса учёта ОЭ и его видов деятельности, а также процедуры для проведения проверок и самооценок процесса учёта ОЭ и совещаний по их итогам.
- Выделены достаточные ресурсы для обеспечения видов деятельности процесса учёта ОЭ (помещения, оборудование, штат, финансы).

- Существует единая электронная база данных для событий, включая СНУ и ПС, а также недостатков и отклонений в работе оборудования и систем.
- Разработано программное обеспечение для регулярного выявления и отслеживания тенденций по событиям, недостаткам и отклонениям в работе оборудования и систем.
- Разработаны и внедрены учебные материалы и программы подготовки по процессу учёта ОЭ и его видам деятельности.
- Эксперты, отвечающие за скрининг предоставленных сообщений, анализ тенденций и причин, а также за определение корректирующих мер, обладают требуемой квалификацией и опытом, а также регулярно проходят специализированную подготовку по учёту ОЭ, включая вопросы человеческого фактора.
- Персонал регулярно проходит подготовку по целям, задачам и методам процесса учёта ОЭ, а также по основным его видам деятельности, с акцентом на важность предоставления сообщений по СНУ и ПС, а также недостаткам и отклонениям в работе оборудования и систем.
- Активное вовлечение персонала в процесс учёта ОЭ и предоставление сообщений по СНУ и ПС обеспечено атмосферой доверия и уважения, свободной от поиска виноватых.
- Организован регулярный обмен информацией на станции по учёту ОЭ и событиям с указанием организационных недостатков или условий, способствовавших событию, а также барьеров, которые могли бы их предупредить, извлечённых уроков и корректирующих мер.

Далее приведены примеры используемых опережающих показателей для оценки эффективности отдельных видов деятельности на стадии реализации процесса учёта ОЭ.

### 3.1. Отчётность по внешнему ОЭ:

- количество накопленных сообщений о событиях на других станциях и объектах ядерной энергетики в рамках учёта опыта эксплуатации.

### 3.2. Отчётность по внутреннему ОЭ:

- скользящее за три месяца среднее количество персонала, который предоставил сообщения о СНУ и ПС в систему учёта ОЭ;
- отношение самостоятельно выявленных и сообщённых подразделениями проблем в области человеческого фактора к общему количеству выявленных проблем (через внешний надзор и проверки, через события, в которых эти проблемы проявились);

- отношение выявленных самостоятельно станцией проблем к числу проблем, на которые указали внешние организации (например, регулятор, партнёрские проверки ВАО АЭС, миссии МАГАТЭ, внешние аудиты);
- отношение числа сообщений о СНУ и ПС к количеству значительных событий (нарушений в работе станции);
- отношение числа сообщённых СНУ и ПС, обусловленных неправильными действиями персонала, к числу СНУ и ПС, связанных с работой оборудования;
- доля сообщений о неправильных действиях при выполнении работ в общем объёме сообщений персонала;
- доля сообщений о собственных неправильных действиях в общем объёме сообщений об ошибках и нарушениях процедур;
- доля анонимных сообщений персонала о СНУ и ПС, обусловленных неправильными действиями, в общем объёме таких сообщений.

### 3.3. Отбор информации по ОЭ:

- среднее время для первоначального скрининга сообщений, представляющих интерес для процесса учёта ОЭ;
- число повторяющихся, аналогичных событий, для которых был доступен предыдущий ОЭ;
- отношение числа внутренних событий, которые были включены в последующий процесс учёта опыта эксплуатации после скрининга, к общему числу выявленных на станции событий;
- отношение числа внешних событий, которые были включены в последующий процесс учёта опыта эксплуатации после скрининга, к общему числу предоставленных станции событий;
- отношение числа событий, классифицированных с помощью скрининга по уровню анализа (коренные причины, очевидные причины, анализ тенденций), к общему числу отобранных событий для учёта ОЭ;
- отношение числа событий, классифицированных с помощью скрининга по уровню приоритетности рассмотрения, к общему числу отобранных событий для учёта ОЭ.

### 3.5. Анализ тенденций по СНУ:

- количество выполненных оценок тенденций по СНУ и ПС;
- отношение количества выполненных оценок тенденций к количеству запланированных;

- количество выявленных негативных тенденций, по которым были рекомендованы дополнительные меры (например, анализ причин).

### 3.6. Расследование и анализ причин событий и тенденций:

- доля расследований событий с привлечением специалистов по человеческому фактору в общем количестве расследований, которые требовали участия таких специалистов в соответствии с установленными критериями для анализа неправильных действий человека;
- доля инициированных анализов коренных причин неправильных действий человека в общем количестве расследований, которые требовали проведения такого анализа в соответствии с установленными критериями определения глубины анализа неправильных действий человека;
- доля выполненных оценок качества анализа коренных причин неправильных действий человека (включая адекватность глубины расследования причин) в общем количестве проведённых таких анализов событий, обусловленных проблемами человеческого фактора;
- доля анализов причин неправильных действий человека, инициированных (выполненных) в установленные сроки, в общем объёме проведённых анализов событий, обусловленных проблемами человеческого фактора;
- доля выполненных оценок качества отчётов по анализу коренных причин неправильных действий человека в общем количестве событий, обусловленных проблемами человеческого фактора.

### 3.7. Корректирующие меры:

- число находящихся на рассмотрении, ожидающих решения корректирующих мер;
- отношение числа ожидающих решения корректирующих мер к количеству согласованных и утверждённых мер;
- число открытых (на стадии реализации) корректирующих мер в течение определённого периода времени (обычно одного месяца или квартала);
- число корректирующих мер, для которых были увеличены сроки выполнения;
- наиболее частые временные сроки задержек при изменении графиков выполнения корректирующих мер;
- число корректирующих мер с просроченной датой рассмотрения и принятия решения по выполнению;

- доля дисциплинарных мер, мер по пересмотру процедур и дополнительной подготовки персонала в общем количестве корректирующих мер, обусловленных проблемами человеческого фактора;
- доля корректирующих мер на уровне организационных (системных) факторов (процессов и программ) в общем количестве корректирующих мер, обусловленных проблемами человеческого фактора;
- число неэффективных корректирующих мер (выявленные причины событий не устранены);
- отношение числа неэффективных корректирующих мер к общему числу реализованных мер;
- число корректирующих мер, по которым был затребован повторный анализ причинных факторов;
- отношение числа повторяющихся событий к общему числу событий;
- число повторяющихся причин событий;
- число успешно выполненных корректирующих мер (устранение причин событий);
- число корректирующих мер, отклонённых руководством;
- количество корректирующих мер, основанных на учёте внешнего ОЭ.

### 3.8. Использование ОЭ:

- число внутренних/внешних отчётов по учёту ОЭ, которые были распространены внутри организации;
- число передовых методов, внедрённых и используемых организацией как результат анализа внутреннего/внешнего ОЭ;
- отношение числа передовых методов, которые были распространены и которые эффективно используются в организации;
- доля извлечённых уроков из анализа событий, обусловленных человеческим фактором, использованных в деятельности персонала (при планировании и организации работ, при проведении целевых инструктажей, при выполнении работ), в общем количестве извлечённых уроков из анализа причин неправильных действий человека;
- доля извлечённых уроков из анализа событий, обусловленных человеческим фактором, использованных в учебных материалах и курсах подготовки и переподготовки персонала в общем количестве извлечённых уроков из анализа причин неправильных действий человека;

- число событий, обусловленных неправильными действиями человека, включённых в программы подготовки персонала за последние 3 года;
- число отчётов по внутреннему ОЭ, переданных для использования в своей деятельности внешним организациям (регулятору, эксплуатирующей компании, станциям).

Представленные критерии и показатели служат важным элементом проактивного подхода к управлению процессами и видами деятельности в области обеспечения надёжности и безопасности персонала на основе регулярного контроля и аудита, отражая уровень культуры безопасности, сформированный и поддерживаемый в организации.

Но само использование критериев и опережающих показателей для управления процессами не гарантирует их улучшения и совершенствования. Например, показатели на основе времени работы подразделений без событий, связанных с неправильными действиями человека (процесс учёта человеческого фактора), и система сбора информации о внутреннем ОЭ (процесс учёта ОЭ) предполагают, что персонал будет активно, свободно и без опасений сообщать о СНУ и ПС в своей деятельности, включая собственные ошибки и нарушения процедур. Но это возможно лишь при условии создания в организации атмосферы доверия и открытости [27], проведения некарательной политики к ошибкам персонала на основе культуры справедливых отношений [5, 6, 26].

В 2008 г. одна из самых крупных и авторитетных консалтинговых фирм мира McKinsey & Company провела опрос руководителей 3199 компаний из разных отраслей и регионов земного шара, установив, что только 30% всех организационных изменений и преобразований были успешными и достигли поставленных целей [28]. Основными причинами неуспеха были определены два фактора (72%): сопротивляемость персонала изменениям (39%) и менеджмент, не оказывающий поддержку проводимым в организации изменениям (33%). Значительно меньшую роль играл третий фактор: отсутствие необходимых ресурсов и финансирования (14%).

Результаты приведённого исследования служат ещё одним доказательством важности для формирования культуры безопасности двух базовых принципов: приверженности руководства и вовлечённости персонала в конкретные процессы и виды деятельности обеспечения надёжности безопасности [1]. При этом вовлечённость персонала не может быть сформирована без создания в организации атмосферы доверия и открытости [27], которая опирается на личный пример руководителей всех уровней и поощрения ими активного участия персонала в процессах, таких как учёт человеческого фактора и ОЭ. Проиллюстрируем примерами, как при наличии опережающих показателей отсутствие

приверженности руководства вопросам обеспечения безопасности приводило к опасным инцидентам, авариям, а иногда и трагедиям.

Например, ключевым моментом аварии на АЭС Три-Майл-Айленд 28 марта 1979 г. (повреждение активной зоны в результате потери теплоносителя) стало заклинивание импульсного предохранительного устройства (ИПУ) компенсатора давления (КД) в открытом положении и последующая неспособность операторов своевременно определить его состояние. Позже комиссией по расследованию аварии было установлено 9 предшествовавших СНУ с заклиниванием ИПУ КД на аналогичных типах реакторов, как на АЭС Три-Майл-Айленд. Но никакого анализа этих событий не было проведено, и корректирующие меры, которые могли бы предупредить ядерную аварию, не были предприняты [2].

Инциденту на АЭС Дэйвис-Бесси, когда 6 марта 2002 г. была обнаружена выраженная коррозия крышки корпуса реактора из-за течи теплоносителя через сквозную трещину патрубка СУЗ (системы управления и защиты ядерного реактора), предшествовали многочисленные СНУ: с июня 1998 г. был отмечен резкий рост показателей течи теплоносителя из неустановленного места утечки; с августа 1998 г. резко возросла частота обслуживания фильтров системы радиационного контроля воздуха под гермооболочкой (ГО) реактора, которые стали забиваться кристаллами борной кислоты; с ноября 1998 г. потребовалось неоднократное удаление отложения борной кислоты с теплообменных поверхностей воздухоохлаждателей ГО [10]. Все эти предупредительные сигналы от СНУ были проигнорированы руководством в угоду достижения максимальных показателей эффективности работы АЭС.

16 января 2003 г. после взлёта космического корабля многоцелевого использования "Колумбия" на 82-й секунде от топливного бака оторвался фрагмент изоляционной пены и ударился в нижнюю поверхность левого крыла корабля, покрытого теплозащитной плиткой, мгновенно испарившись после этого в виде белого облачка. Требования безопасной эксплуатации космического корабля исключали отрыв изоляционной пены, поскольку материал теплозащитных плиток был крайне хрупким. Но уже после первого полёта корабля "Колумбия" в 1981 г., специалисты вынуждены были заменить свыше 300 плиток из-за воздействия кусков изоляционной пены (СНУ). Вскоре проблема частичного разрушения теплозащитных плиток была переведена руководством из области безопасности в область технического послеполётного обслуживания. Была разработана экспериментальная математическая модель, которая обосновывала низкие риски воздействия кусков изоляционной пены на теплозащитную плитку. Модель была рассчитана для фрагментов объёмом не более  $49.16 \text{ см}^3$ . При взлёте же 16 января 2003 г.,

согласно данным комиссии по расследованию, от топливного бака оторвался кусок изоляционной пены объёмом  $19664 \text{ см}^3$ , в 400 раз превышающий предельный объём, используемый в модели оценки рисков. Этот кусок нарушил теплозащиту левого крыла и 1 февраля 2003 г. при посадке, когда корабль вошёл в плотные слои атмосферы, он развалился на множество пылающих обломков. Расследование показало, что значительные по объёму куски изоляционной пены, летящие от топливного бака, были зафиксированы на 10% видеозаписей всех пусков космических челноков. Более того, в 1992 г. обломок изоляционной пены несколько меньшего размера, чем 16 января 2003 г., разрушил теплоизоляционную плитку корабля "Колумбия" примерно на 3 см в глубину и 10 см в длину. Защитный слой, к счастью, остался целым. Корабль благополучно вернулся на Землю, а полёт был признан успешным [29]. Менеджмент Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА), руководствуясь экономическими интересами и выполнением графика полётов космических челноков, долгие годы игнорировал многочисленные СЧУ, связанные с повреждением теплозащитного слоя, которые служили предупредительными сигналами будущей катастрофы. Как установила комиссия по расследованию, после трагедии с космическим кораблём "Челленджер" в 1986 г. НАСА так и не внедрила процедуру для систематического выявления и отслеживания тенденций показателей безопасности полётов.

28 января 1986 г. в 11 час 38 мин космический корабль многоцелевого использования "Челленджер" стартовал с мыса Канаверал, штат Флорида (США). На 59-й секунде у нижнего соединения секций правого твёрдотопливного ускорителя появилось яркое белое пламя. На 74-й секунде произошёл взрыв топливного бака и корабль "Челленджер" исчез в чудовищном шаре огня и пара. Ранее, вечером 27 января, состоялась телеконференция представителей НАСА и подрядной организации Morton-Thiokol, отвечавшей за готовность двух твёрдотопливных ускорителей к запуску. Инженеры Morton-Thiokol были обеспокоены влиянием беспрецедентно низких температур в предстоящую ночь на резиновые уплотнительные кольца соединений секций твёрдотопливных ускорителей (дул ледяной северо-западный ветер и температура упала до рекордных для Флориды  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Свои опасения они основывали на результатах анализа состояния соединений секций твёрдотопливных ускорителей после запусков (через 130 сек штатного полёта челнока ускорители сбрасываются и опускаются на парашютах в море). Осмотры соединений секций указывали на признаки нарушения герметичности при понижении температуры воздуха при старте (СЧУ). Около 2 часов инженеры настаивали на переносе запуска корабля и рекомендовали, на основе своих данных, запуск лишь при температуре выше

12 °С. После этого старший вице-президент Morton-Thiokol собрал на внутреннее совещание только руководящий состав, обратившись к ним со словами: "Мы должны принять решение, достойное звания менеджера". Затем он посоветовал вице-президенту по техническим вопросам, отстаивавшему мнение инженеров: "Снимите кепку инженера и наденьте шляпу менеджера". После этого положительное решение по готовности твёрдотопливных ускорителей к запуску было получено [30]. При запуске "Челленджера" температура воздуха составила всего 2 °С, что привело к потере упругости материала уплотнительных колец и нарушению герметичности одного межсекционного соединения правого твёрдотопливного ускорителя с прорывом раскалённых газов наружу. Уже позже комиссия по расследованию установит прямую связь между температурой и упругостью уплотнительных колец, которая ухудшалась в 5 раз при снижении температуры с 24 °С до –1 °С.

В заключение остановимся на общих вопросах применения запаздывающих и опережающих показателей в управлении процессами, обеспечивающими безопасность и надёжность АЭС. Базовые для оценки безопасной и надёжной эксплуатации энергоблоков атомных станций показатели (например, коэффициент вынужденных потерь электроэнергии, неплановые автоматические аварийные остановки реактора, показатель потерь рабочего времени в результате несчастных случаев) являются запаздывающими по своей природе, поэтому они не могут в полной мере обеспечить эффективное управление процессами, внедрёнными для безопасной и надёжной работы энергоблоков атомных станций [31]:

- Запаздывающие показатели предоставляют информацию слишком поздно, чтобы можно было своевременно отреагировать на нежелательные изменения в управляемой системе (значительная задержка времени между предпринимаемыми усилиями в области обеспечения безопасности и конечными результатами) [10];
- Конечные результаты предпринимаемых усилий в области обеспечения надёжности и безопасности являются следствием многих факторов. В этой ситуации запаздывающие показатели могут определить, насколько хороши были эти усилия, но не могут дать информацию о том, почему что-то нежелательное происходит, на что необходимо сфокусировать внимание, в какой области предпринять корректирующие меры, которые могут потребоваться для улучшения процесса.
- Незначительное число нарушений в работе станции, иногда полное отсутствие случаев производственного травматизма в течение нескольких лет, делает такие измерения недостаточными, чтобы обеспечить адекватную обратную связь для

эффективного управления процессами, предоставляя больше "шума", чем "сигнала" [11, 32].

- Конечный результат предпринимаемых усилий в области обеспечения надёжности и безопасности может быть настолько серьёзным, что руководство не может ждать, пока это произойдёт и укажет на отказ в управляемом процессе. Для производства, в котором существует возможность событий с катастрофическими последствиями, но вероятность таких событий чрезвычайно мала, само их отсутствие (в запаздывающих показателях деятельности) не может являться достаточным индикатором хорошего управления и того, что потенциальные опасности в настоящее время находятся под контролем.
- Запаздывающие показатели могут не выявить скрытые опасности, которые имеют значительный потенциал, чтобы привести к серьёзным последствиям. Например, показатель КИУМ (коэффициент использования установленной мощности, один из базовых показателей работы атомных станций) достиг для АЭС Дэйвис-Бессе к 2001 г. рекордные 99,8%. При этом в течение нескольких лет продолжалась течь теплоносителя из патрубка СУЗ, что привело к выраженной коррозии крышки корпуса реактора и угрозе целостности контура охлаждения реактора - важнейшего барьера безопасности ядерной установки [10].

Опережающие показатели используются для оперативного контроля и управления процессами, обеспечивая своевременное информирование об отклонениях в их реализации, которые могут блокировать достижение поставленных целей в области обеспечения надёжности и безопасности эксплуатации АЭС. Укажем несколько важнейших особенностей использования опережающих показателей [33]:

- предоставляют информацию о ключевых областях, в которых организации следует сосредоточить основные усилия и ресурсы для улучшений;
- направляют внимание организации на проактивные меры управления надёжностью и безопасностью, а не на реактивное следование за негативными явлениями и событиями;
- обеспечивают признаки раннего предупреждения о потенциальных слабых местах или уязвимостях в системе управления организационными рисками и обеспечения надёжности и безопасности деятельности персонала;
- сфокусированы на предвестниках значимых событий, а не на самих этих событиях;
- дают информацию об эффективности усилий, предпринимаемых в области обеспечения надёжности и безопасности;

- говорят об организационном здоровье (уровне культуры безопасности), а не только о "болезни" или отсутствии её.

Представим себе ситуацию, в которой у оператора блочного щита управления ядерным реактором отсутствует информация для контроля отклонений параметров технологического процесса от установленных норм (таких, как температура, давление, расход теплоносителя в контуре охлаждения реактора, уровень теплоносителя в компенсаторе давления и др.). Более того, у него отсутствует технологическая предупредительная сигнализация об отклонениях параметров технологического процесса за допустимые пределы. В этом случае у оператора нет возможности отслеживать по показаниям приборов и регистраторов (опережающие показатели) негативные тренды параметров технологического процесса за допустимые пределы и получать предупредительные сигналы при выходе параметров за допустимые пределы, чтобы переключить внимание на системы и параметры, требующие принятия оперативных мер по нормализации процесса. У оператора остаётся в распоряжении только аварийная сигнализация, которая срабатывает при выходе параметров технологического процесса за пределы безопасной эксплуатации и запуске аварийных и технологических защит с последующим остановом реактора (запаздывающие показатели). Очевидно, что у оператора нет возможности управлять технологическим процессом на основе запаздывающих показателей, он может лишь реагировать на возникновение аварийной ситуации.

Негативные тенденции в опережающих показателях процессов учёта человеческого фактора и опыта эксплуатации - это предупредительные сигналы для организации о наличии недостатков в этих процессах, которые могут развиваться в серьёзные проблемы, и потому требующие анализа и принятия проактивных корректирующих мер. Если в организации отсутствует такая система мониторинга и анализа опережающих показателей, она вынуждена реактивно реагировать на события, имеющие серьёзные последствия.

## **Выводы**

1. Культура безопасности формируется и развивается на основе процессов и программ, соответствующих требований, методов и принципов, которые организация внедряет и поддерживает с целью обеспечения надёжности и безопасности производства. Ошибочно рассматривать культуру безопасности как отдельный процесс или программу в отрыве от задач обеспечения качества, экологической, ядерной, радиационной и производственной безопасности, надёжности деятельности персонала.

2. Управление процессами и видами деятельности, связанными с обеспечением надёжности и безопасности, требует их постоянного контроля (мониторинга) и аудита для своевременного выявления и проактивной коррекции отклонений от установленных руководством ожиданий и целей.

3. Для проведения мониторинга и аудита процессов и видов деятельности необходим набор критериев и показателей, в первую очередь, опережающих, выполняющих функцию сигналов предупреждения об отклонениях, которые могут препятствовать достижению поставленных целей в области обеспечения надёжности и безопасности.

4. Для перехода к проактивному подходу в управлении процессами и видами деятельности в области обеспечения надёжности и безопасности на основе выработанных критериев и опережающих показателей персонал организации должен быть активно вовлечён в эти процессы и виды деятельности. Для этого в организации должна быть сформирована атмосфера доверия и открытости на основе приверженности руководства целям и задачам обеспечения надёжности и безопасности. Оценка приверженности руководства и вовлечённости персонала также должна опираться на опережающие показатели.

5. Необходимо помнить, что формальное внедрение критериев и опережающих показателей для управления процессами и видами деятельности не гарантирует улучшения в области обеспечения надёжности и безопасности производства. Примером может служить программа НАСА по обеспечению безопасности полётов многоразовых космических кораблей, которая собирала и обрабатывала до 600 показателей в месяц непосредственно перед последним стартом корабля "Колумбия" и оказалась совершенно беспомощной, чтобы предупредить трагедию [34].

### **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. *Машин, В.А.* Культура безопасности: система учёта опыта эксплуатации [Текст] / В. А. Машин // Электрические станции. – 2017. – № 7. – С. 2 – 13.
3. *Машин, В.А.* Культура безопасности: система учёта человеческого фактора [Текст] / В. А. Машин // Электрические станции. – 2017. – № 8. – С. 11 – 22.
4. *Машин, В. А.* Культура безопасности: методы предупреждения неверных действий человека [Текст] / В. А. Машин // Электрические станции. – 2018. – № 2. – С. 2 – 12.
5. *Human Performance Tools for Managers and Supervisors. General Practices for Organizing, Planning, Monitoring, and Feedback That Promote Excellence in Human Performance [Text]: INPO 07-006, Good Practice.* – Institute of Nuclear Power Operations, 2007. – 62 p.

6. *Инструменты* обеспечения качества работы персонала для руководителей верхнего и среднего уровня. Положительная практика [Текст]: GP ATL-08-003. – ВАО АЭС, 2009. – 70 с.
7. *Human Performance Tools for Workers. General Practices for Anticipating, Preventing, and Catching Human Error During the Performance of Work* [Text]: INPO 06-002, Good Practice. – Institute of Nuclear Power Operations, 2006. – 46 p.
8. *Инструменты* обеспечения качества работы персонала. Положительная практика [Текст]: GP ATL-08-002. – ВАО АЭС, 2009. – 52 с.
9. *Human Performance Key Performance Indicators. General Practices for Tracking, Trending, and Communicating Station Human Performance* [Text]: INPO 08-004, Good Practice. – Institute of Nuclear Power Operations, 2008. – 30 p.
10. *Машин, В.А.* Культура безопасности: анализ коренных причин [Текст] / В. А. Машин // Электрические станции. – 2018. – № 11. – С. 2 – 14.
11. *Машин, В.А.* Культура безопасности: вопросы контроля и надзора [Текст] / В. А. Машин // Электрические станции. – 2016. – № 9. – С. 2 – 12.
12. *Low level event and near miss process for nuclear power plants: Best practices* [Text]: Safety Reports Series No 73. – IAEA, 2012. – 104 p.
13. *Глоссарий* МАГАТЭ по вопросам безопасности. Терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты [Текст]: МАГАТЭ, 2007. – 303 с.
14. *Методические указания по анализу причин событий, значимых для безопасности и надёжности, пожаров, несчастных случаев, повреждений зданий и сооружений на атомных станциях* [Текст]: РД ЭО 1.1.2.09.0095-2010. – ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2011. – 133 с.
15. *ИНЕС* Руководство для пользователей международной шкалы ядерных и радиологических событий [Текст]: МАГАТЭ, 2010. – 250 с.
16. *Анализ коренных причин инцидента на ядерной установке: справочное руководство* [Текст]: IAEA-TECDOC-1756. – IAEA, 2015. 178 с.
17. *Developing Human Performance Measures. Project Milestone Deliverable: Letter Report* [Text]: JCN Y6843. – Idaho National Laboratory; Battelle Energy Alliance, LLC. – March 7, 2006. – 54 p.
18. *Human Performance Process Benchmarking Report* [Text]: NEI/INPO/EPRI Industrywide Benchmarking Project LP002. – Nuclear Energy Institute, 2001. – 116 p.
19. *PROSPER Guidelines: Guidelines for Peer Review and for Plant Self-assessment of Operational Experience Feedback Process* [Text]: Services Series No. 10. – IAEA, 2003. – 45 p.

20. *Effective Corrective Actions to Enhance Operational Safety of Nuclear Installations* [Text]: IAEA-TECDOC-1458. – IAEA, 2005. – 60 p.
21. *Отслеживание* тенденций низкоуровневых событий и случаев, близких к ошибкам, с целью улучшения состояния безопасности на атомных электростанциях [Текст]: IAEA-TECDOC-1477. – IAEA, 2005. – 78 с.
22. *Руководящие* принципы ОСАРТ. Справочный доклад для групп по рассмотрению вопросов эксплуатационной безопасности (групп ОСАРТ) МАГАТЭ [Текст]: Серия услуг МАГАТЭ № 12. – IAEA, 2005. – 257 с.
23. *Best Practices in Identifying, Reporting and Screening Operating Experience at Nuclear Power Plants* [Text]: IAEA-TECDOC-1581. – IAEA, 2007. – 75 p.
24. *Best Practices in the Organization, Management and Conduct of an Effective Investigation of Events at Nuclear Power Plants* [Text]: IAEA-TECDOC-1600. – IAEA, 2008. – 49 p.
25. *Best Practices in the Utilization and Dissemination of Operating Experience at Nuclear Power Plants* [Text]: IAEA-TECDOC-1580. – IAEA, 2008. – 66 p.
26. *Машин, В.А.* Повышение эффективности деятельности персонала АЭС [Текст] / В. А. Машин // Электрические станции. – 2013. – № 5. – С. 2 – 10.
27. *Машин, В.А.* Культура безопасности: принцип атмосферы доверия в организации [Текст] / В. А. Машин // Электрические станции. – 2018. – № 9. – С. 2 – 14.
28. *McKinsey Global Survey Results: Creating organizational transformations* [Text] // McKinsey Quarterly. – July 2008. – 7 p. –  
(<http://gsme.sharif.edu/~change/McKinsey%20Global%20Survey%20Results.pdf>)
29. *Columbia Accident Investigation Board Report* [Text]: Volume 1. – Government Printing Office Washington, D.C. – 2003. – 248 p.
30. *Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle Challenger Accident* [Text]: Volume 1. – Government Printing Office Washington, D.C. – 1986. – 263 p.
31. *Leading Performance Indicators. A Guide for Effective Use* [Text]: Step-Change in Safety, 2001. – 23 p.
32. *Reason J.* *Managing the Risks of Organizational Accidents* [Text]: Ashgate Publishing, 2016. – 272 p.
33. *Indicators of safety culture - selection and utilization of leading safety performance indicators* [Text]: Swedish Radiation Safety Authority, 2010. – 72 p.
34. *Leveson, N.* *A systems approach to risk management through leading safety indicators* [Text] / N. Leveson // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2015. – № 136. – P. 17 – 34.