

## Культура безопасности: Принципы анализа событий на АЭС

**Машин В.А.**

Машин Владимир Анатольевич - Старший специалист Обнинского научно-исследовательского центра «Прогноз».

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

Принципы, на которых строится анализ причин событий, возникающих на АЭС, являются важным инструментом для формирования и поддержания надлежащей культуры безопасности на станции. Это в первую очередь касается событий, вызванных неверными действиями человека. Если анализ фокусируется не на причинах события, а на ошибке, которая его вызвала, не на барьерах, которые должны были предупредить ошибку и минимизировать последствия, а на индивидуальной виновности допустившего ошибку, в этом случае поиск эффективных корректирующих мер будет крайне затруднен, а вероятность повторения подобных событий в будущем очень высока [1, 2, 3, 4]. Как в организации понимают природу ошибки человека, причины, которые ее могут вызвать, а также меры, которые могут предупредить ошибку или минимизировать ее последствия, определяет содержание культуры безопасности этой организации.

Опыт эксплуатации АЭС позволяет сформулировать ряд важных для обеспечения культуры безопасности принципов анализа событий, вызванных ошибочными действиями человека [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Рассмотрим некоторые из них:

*1. Людям свойственно ошибаться и даже самые лучшие специалисты допускают ошибки.*

Примером этого принципа может служить авария, которая произошла 17 июня 1997 года, во Всероссийском научно-исследовательском институте экспериментальной физики (ВНИИЭФ, Арзамас-16) [8]. В ходе эксперимента с критической сборкой ответственный научный руководитель работ, старший инженер управления, получил смертельную дозу облучения. Три года ранее он защитил кандидатскую диссертацию по теме, касающейся критическихборок, и проработал в ВНИИЭФ с радиоактивными материалами уже более 22 лет, лично выполнив несколько сот подобных экспериментов. Его квалификация в области ядерной критичности была безусловной. Эксперимент проводился на знакомой сборке с целью подтвердить полученные ранее результаты. Расследование аварии установило, что при выборе размера отражателя в критической сборке экспериментатором была допущена ошибка: он выписал из журнала измерений размер отражателя 167/265 мм вместо 167/205 мм. Кроме этого, в нарушение процедур, операции по сборке выполнялись одним экспериментатором без участия ответственного контролера, в функции которого

входила сверка всех действий с инструкцией. Используя ошибочные данные, экспериментатор собрал на столе стенда нижнюю часть критической сборки, и при попытке установить первую верхнюю полусферическую медную оболочку уронил ее на сборку, что привело к самоподдерживающейся цепной реакции (СЦР).

Эта авария была вызвана действиями очень квалифицированного и опытного специалиста. Но даже такие специалисты, как доказывают многочисленные примеры из практики, могут допустить ошибку: проявить невнимательность при выписке показателей размеров элементов сборки из журнала измерений (неверная оценка степени критичности экспериментальной сборки); потерять контроль при выполнении рутинной операции с элементами критической сборки (возникновение неконтролируемой СЦР). Подобные ошибки не носят преднамеренный характер. У экспериментатора не было цели вызвать неконтролируемую СЦР и получить смертельную дозу облучения. Именно непреднамеренный характер отклонений действий от заданного алгоритма является главным признаком ошибки человека [9].

Суть в том, что такие отклонения заложены в природе человека. Они могут быть результатом переключения внимания человека на внешний или внутренний раздражитель на фоне выполнения хорошо знакомой, рутинной операции. Они могут быть результатом прерываний в работе, которые запускают процесс забывания в кратковременной памяти с неверной последовательностью шагов процедуры при возобновлении действий. Вот почему современные подходы к ошибке человека не рассматривают "невнимательность", "забывчивость" и т.п. в качестве коренных причин [3, 4].

Согласно принятому МАГАТЭ определению, используемому во многих отраслях промышленности, коренная причина это основная или наиболее фундаментальная причина исходного события, при устранении которой предотвращается его повторение [10, 11]. А поскольку никакой подготовкой, никакой квалификацией и опытом нельзя исключить ошибку человека полностью (случаи невнимательности, забывчивости будут иметь место, несмотря на все наши усилия и старания), она не может рассматриваться в качестве коренной причины.

Отечественные нормативные документы в атомной отрасли понимают под коренной причиной обстоятельство, создавшее условия для наличия или проявления непосредственной причины, которая обусловила нарушение нормального протекания технологического процесса [12, 13]. Такое определение не требует от аналитика углубленного анализа причинно-следственных связей с поиском основной, фундаментальной причины, устранение которой предотвращает повторение события.

Достаточно определить причину, следствием которой стал отказ оборудования, неверное действие или бездействие человека (непосредственная причина события). Для ошибок человека в РД ЭО 1.1.2.09.0095-2010 [13] предлагается использовать категорию коренной причины "Недостатки системы подготовки и поддержания квалификации персонала АС", к первому "признаку" которой относят различные "Психологические источники неправильных действий персонала". Например, разбирая отключение энергоблока от сети из-за неправильных действий оперативного персонала при переключении в электрической схеме собственных нужд, в РД ЭО 1.1.2.09.0095-2010 определяются следующие непосредственная и коренная причины:

- Непосредственная причина: "Ошибочное отключение электромонтером рабочего ввода ВН02А вместо вывода АВР секции ВН";
- Коренная причина: "Недостатки системы подготовки и поддержания квалификации персонала" (Психологический источник неправильных действий: "Снижение внимания и самоконтроля при переключениях в электроустановках").

Но согласно первому принципу анализа событий, вызванных ошибочными действиями человека, никакая система подготовки и поддержания квалификации (хотя это, безусловно, важный фактор в обеспечении надежности деятельности человека) не может полностью исключить ошибку в действиях человека, несмотря на высокий уровень его "мотивации", "профессионально важных личностных психологических качеств", "психофизиологических качеств", "характеристик мышления, памяти, внимания", "функционального состояния" и "профессиональной подготовки" (пункты "Психологических источников неправильных действий персонала" [12, 13]).

Отдельно оставляем за скобками вопрос о связи этих "Психологических источников неправильных действий" (например, функционального состояния человека или объема его памяти и внимания) с коренной причиной "Недостатки системы подготовки и поддержания квалификации персонала АС". Ситуация становится еще более запутанной, когда мы обратимся ко второму признаку данной коренной причины "Внешние условия и средства деятельности", к которому отнесены: "Эргономические характеристики эксплуатационной документации" (качество документации), "Эргономические характеристики условий труда" (включая режим труда и отдыха, организацию рабочего места), "Скрытые эргономические ошибки проекта и монтажа", "Конфликты в группе и в быту", "Социальные условия", "Социально-политическую ситуацию" и "Организационные факторы". Каким образом все это может служить признаками системы подготовки и поддержания квалификации персонала АС совершенно непонятно. В любом случае, здесь

мы имеем дело с попыткой переложить на подготовку и поддержание квалификации решение всех проблем с ошибочными действиями исполнителей. Но знание человеком того, как правильно следует действовать, не означает, что он будет действовать именно так [14]. Знания, умения, навыки, усвоенные на занятиях, могут быть очень далеки от реальной практики выполнения работ - от культуры.

Следует заметить, что перечисленные внутренние (психологические) и внешние (условия и средства деятельности) источники неправильных действий человека в НП 004-08 [12] входят в состав коренной причины "Недостатки персонала АС". В этом случае классификация имеет определенную логику, но еще дальше отдаляет нас от решения проблемы ошибки человека, поскольку основная, фундаментальная причина видится в отдельном исполнителе и его "недостатках", которыми может обладать, в соответствии с первым принципом анализа событий, любой самый квалифицированный и опытный специалист.

Каждый человек может допустить ошибку, но чтобы ошибка возникла, необходимо наличие определенных неблагоприятных условий или способствующих факторов. Определение этих способствующих ошибке человека факторов представляет собой центральную задачу для предупреждения событий. Ошибка человека это исходный пункт для углубленного анализа ее источников. В этой связи рассмотрим второй принцип анализа событий, вызванных ошибочными действиями человека:

*2. Ошибки человека являются следствием воздействия способствующих факторов, которые определяются, в первую очередь, процессами и культурой организации.*

Современный взгляд на ошибку человека заключается в том, что ошибка человека не является главной угрозой для безопасности системы, а скорее скрытые системные недостатки создают основу для ошибок и определяют серьезность последствий. Ошибки человека не случайны, они связаны с особенностями выполняемой задачи, условиями выполнения, с используемыми инструментами, с факторами, которые способствуют ошибкам [3, 4].

Способствующий фактор это обстоятельство, условие, действие или бездействие, которое повышает вероятность ошибки человека [15, 16]. Другое название этого термина - "способствующая причина" [11, 13, 17].

Следует помнить, что причина это "явление, действие которого производит, определяет или вызывает другое явление; последнее называется следствием" [18]. Существенной характеристикой причинно-следственной связи выступает необходимость: полная

детерминированность следствий причинами (одни и те же причины необходимо приводят к одним и тем же следствиям) [18]. Казалось бы, принцип причинности (каждое следствие имеет свою причину) приложим к непосредственной причине (отказ оборудования, действие или бездействие человека) [10, 12, 13], которая вызвала событие. Но очевидно, что устранение непосредственной причины не гарантирует исключения повторения события в будущем (например, отказ и ремонт оборудования из-за некачественно выполненного технического обслуживания не устраняет возможность повторения отказа).

Любое значимое событие имеет в своем основании длинную разветвленную цепочку причинно-следственных связей, где каждое явление, которое мы определяем как причина, на следующем шаге анализа занимает место следствия. Выполняя анализ коренных причин, аналитик на каком-то шаге фиксирует цепочки причинно-следственных связей, определяя конечные звенья как основные, фундаментальные причины. Этот момент является одним из наиболее дискуссионных в отношении анализа коренных причин. По сути, идентификация коренной причины в ходе анализа носит гипотетический характер. Мы можем только предполагать, что устранение данной коренной причины позволит избежать повторения значимого события в будущем. Но доказательством этому могут служить только данные реального эксперимента, в ходе которого мы должны подтвердить нашу гипотезу: устранив коренную причину, мы устраняем ее следствие - повторение значимого события. Если в результате мы имеем повторение значимого события, мы должны отвергнуть нашу гипотезу и выдвинуть новую, как результат дополнительного анализа коренных причин [11]. И здесь аналитиков подкарауливает главная опасность. Отсутствие повторения значимого события формирует убежденность, что в ходе анализа была идентифицирована действительно коренная причина, вызвавшая значимое событие.

Здесь мы позволим вспомнить историю программы многоразовых пилотируемых кораблей "Space Shuttle" космического агентства НАСА (США). 28 января 1986 года многоразовый корабль "Челленджер" взорвался на 73 секунде после старта. Погибло 7 астронавтов. Одна из важнейших рекомендаций президентской комиссии, расследовавшей причины катастрофы (материалы расследований опубликованы в 5 томах), заключалась в разработке и внедрении необходимых программ, которые могли бы обеспечить безопасность полетов многоразовых кораблей. НАСА разработала и внедрила специальные меры по выполнению рекомендаций комиссии. В течение 17 лет она безаварийно эксплуатировала космические челноки, которые за эти годы совершили 87 полетов. Это позволяло руководству считать, что НАСА смогло эффективно учесть уроки

"Челленджера", устранить коренные причины и обеспечить высочайший уровень безопасности полетов.

Все эти представления рухнули утром 1 февраля 2003 года, когда космический корабль "Колумбия" разрушился в плотных слоях атмосферы при сходе с орбиты. Погибли все 7 астронавтов. Тщательное расследование независимой комиссии позволило установить, что внедренные программы обеспечения безопасности оказались абсолютно неэффективными, и позволили руководству сформировать и поддерживать культуру исключительности и успешности НАСА как организации, способной справиться с любыми рисками и вызовами, невосприимчивой при этом к любым внешним критическим замечаниям и рекомендациям [19].

Пример с трагедиями космических челноков доказывает, что длительная, многолетняя успешная деятельность организации еще не гарантия того, что мы действительно выявили коренную причину значимого события. После катастрофы "Челленджера" НАСА внедрила две программы по обеспечению вопросов безопасности, согласно рекомендациям президентской комиссии. Но при этом отношение к вопросам безопасности не изменилось. Сохранилась практика отступлений от строгого соблюдения установленных технических стандартов к критическим элементам челнока. Для "Колумбии" имелось 3233 таких отступления в отношении элементов, отказ которых мог привести к гибели людей и орбитального корабля [19]. Отступления от требований официально принимались (под давлением выполнения графика полетов) в случае, когда элемент не мог быть изменен или заменен. Именно такое отступление действовало для уплотнительных колец твердотопливных ускорителей челноков, у которых были обнаружены проблемы с герметизацией. Именно оно привело к гибели "Челленджера", когда прорвавшиеся под высоким давлением через уплотнительные кольца правого ускорителя горячие газы, образующиеся от сгорания топлива, вызвали взрыв внешнего топливного бака, высотой с десятиэтажный дом и вмещающего около 2 млн. литров жидкого кислорода и водорода. Именно такое отступление от технических требований действовало на постоянные удары по керамическим плиткам теплозащитного слоя орбитального корабля кусков пеноматериала, которые отрывались от теплоизоляционного покрытия внешнего топливного бака при старте. Именно такой оторвавшийся при старте "Колумбии" обломок пеноматериала образовал в теплоизоляционной обшивке нижней поверхности левого крыла дыру в полметра, через которую перегретая плазма проникла во внутренние структуры корабля при вхождении его в плотные слои атмосферы, что привело к распаду челнока на части. Уже после трагедии была составлена обширная база

данных, в которую занесли около 10 тысяч случаев, когда куски теплоизоляции, оторвавшиеся от внешнего топливного бака, поражали корпуса кораблей "Space Shuttle".

Трудности использования принципа причинности для объяснения технических отказов и коренных причин для их предупреждения становятся еще более очевидными при анализе ошибочных действий человека. Для преодоления этих трудностей предлагается использовать подход, основанный на вероятностной модели события, в которой на человека могут влиять ряд факторов, способствующих повышению вероятности его ошибки [15, 16, 20].

Так компания Boeing разработала и внедрила метод принятия решений в отношении ошибок технического обслуживания (MEDA) на основе выявления и анализа способствующих факторов [15]. Ее исследования показали, что в среднем 3-4 способствующих фактора задействовано даже в малозначимых происшествиях с техническим обслуживанием воздушных судов. Метод анализа событий SOL (Обеспечение безопасности через организационное обучение) был разработан для атомной промышленности Германии и адаптирован для химической промышленности и гражданской авиации [20]. В нем исследуются такие категории способствующих факторов как: индивид, группа, организация, внешняя организационная среда и технология. Еще одним примером может служить анализ аварийных облучений при лучевой терапии, опубликованном в докладе МАГАТЭ [16]. Этот анализ не рассматривал коренные причины, а выделил следующие наиболее важные способствующие факторы ошибочных действий персонала: недостаточная подготовка в области физики лучевой терапии; отсутствие программы обеспечения качества для процедур и протоколов или отсутствие контроля за ее соблюдением; отсутствие подготовки персонала к действиям в нештатных ситуациях.

К способствующим факторам можно отнести и предвестников ошибок, которые представляют собой неблагоприятные условия на рабочем месте, повышающие вероятность совершения человеком неверного действия [3, 4, 6, 7, 11]. Их предложено рассматривать по четырем категориям: требования задачи, индивидуальные возможности, условия на рабочем месте и человеческая природа [3, 4, 7]. Не трудно заметить, что перечисленные в НП 004-08 [12] и РД ЭО 1.1.2.09.0095-2010 [13] "Психологические источники неправильных действий персонала" и "Внешние условия и средства деятельности" представляют собой способствующие факторы (предвестники), которые могут повысить вероятность ошибки человека, но не могут рассматриваться как коренные причины или ее признаки.

По результатам масштабного исследования ошибок человека при выполнении работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) воздушных судов, компания Boeing установила, что 80-90% факторов, способствующих совершению ошибок, находятся под управления различных звеньев управления предприятия, при этом оставшиеся 10÷20% находятся под контролем самих специалистов по ТОиР [15]. Вот почему руководство организации может внести определяющий вклад в снижение влияния большинства факторов, способствующих возникновению ошибок, и, таким образом, снизить вероятность совершения ошибок в будущем.

На рисунке 1 наглядно представлено, как способствующие факторы, связанные с различными уровнями управления предприятием, производства и работ (на примере ТОиР), оказывают влияние на содержание задачи и контекст ее выполнения, и, самое главное, на деятельность человека, повышая вероятность его неверных действий (типы неверных действий подробно рассмотрены в статье [9]).

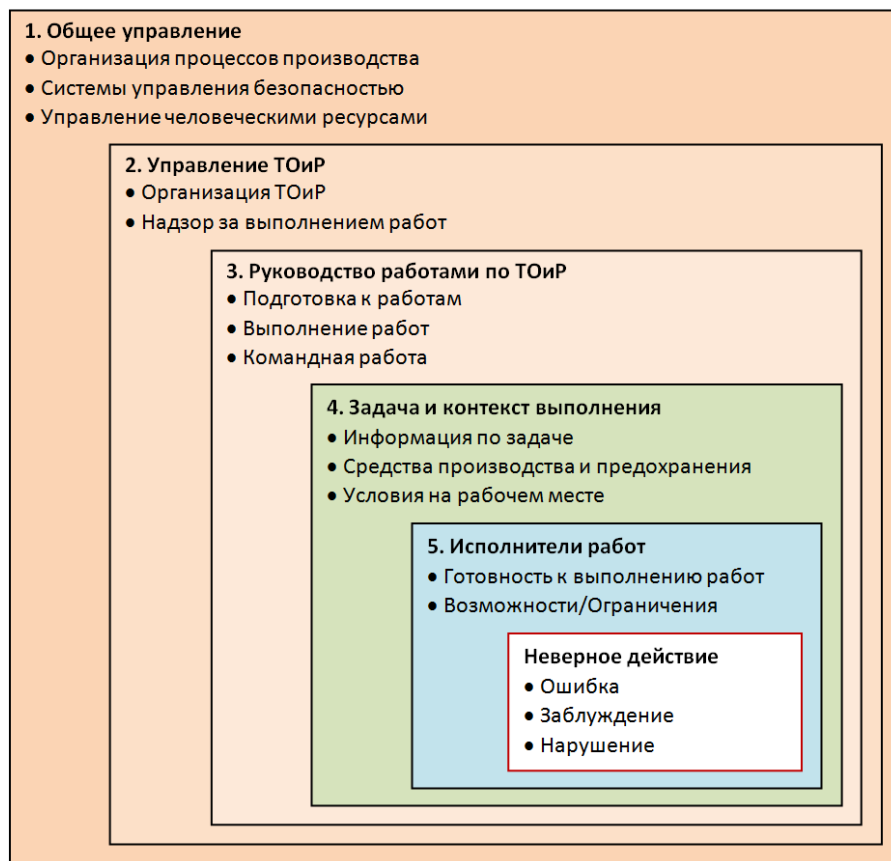


Рисунок 1. Модель факторов, способствующих ошибкам в деятельности человека.

На рисунке 2 представлена таксономия способствующих факторов (на примере ТОиР), сгруппированных в подгруппы 5 базовых категорий: Общее управление, Управление ТОиР, Руководство работами по ТОиР, Задача и контекст выполнения, Исполнители работ. Данная таксономия развивает идеи, изложенные в системе анализа и



классификации человеческого фактора в сфере технического обслуживания (HFACS-ME), разработанной Федеральным управлением гражданской авиации США (FAA) и космическим агентством НАСА для ВМС США [21]. Система HFACS-ME основана на идентификации факторов, способствующих ошибкам человека.

1 Общее управление	1.1 Организация процессов производства	1.1.1 Требования, правила, документация	1.1.2 Обмен информацией (Каналы коммуникации)	1.1.3 Общий надзор за производством
	1.2 Системы управления безопасностью	1.2.1 Система менеджмента качества	1.2.2 Управление рисками (включая БТиОЗ)	1.2.3 Система учета опыта эксплуатации
	1.3 Управление человеческими ресурсами	1.3.1 Отбор, кадровая политика, система поощрений	1.3.2 Обучение и развитие персонала	1.3.3 Повышение надежности деятельности персонала
2 Управление ТОиР	2.1 Организация ТОиР	2.1.1 Планирование и подготовка работ	2.1.2 Проверка готовности к выполнению работ	2.1.3 Оценка качества результатов работ
	2.2 Надзор за выполнением работ	2.2.1 Наблюдения на рабочих местах	2.2.2 Мониторинг показателей работ	2.2.3 Анализ опыта выполнения работ
3 Руководство работами по ТОиР	3.1 Подготовка к работам	3.1.1 Анализ задачи и исполнителей	3.1.2 Анализ условий на рабочих местах	3.1.3 Проведение совещаний, инструктажей
	3.2 Выполнение работ	3.2.1 Главные приоритеты при выполнении	3.2.2 Контроль выполнения	3.2.3 "Разбор полетов" / обсуждение работ
	3.3 Командная работа	3.3.1 Командное взаимодействие	3.3.2 Давление группы/ Внешнее давление	3.3.3 Атмосфера открытости и доверия
4 Задача и контекст выполнения	4.1 Информация по задаче	4.1.1 Документация (плановая, исполнительная)	4.1.2 Специфика задачи	4.1.3 Опыт эксплуатации
	4.2 Средства производства и предохранения	4.2.1 Средства технологического оснащения	4.2.2 Детали, запчасти и материалы	4.2.3 Предохранительные устройства, ограждения
	4.3 Условия на рабочем месте	4.3.1 Опасные и вредные производственные факторы	4.3.2 Оргоснастка, чистота и порядок	4.3.3 Ремонтопригодность оборудования
5 Исполнители работ	5.1 Готовность к выполнению работ	5.1.1 Общая и специальная подготовка	5.1.2 Функциональное состояние и мотивация	5.1.3 СИЗ, спецодежда
	5.2 Индивидуальные особенности	5.2.1 Физические ограничения	5.2.2 Психические ограничения	5.2.3 Человеческая природа

Рисунок 2. Таксономия факторов, способствующих ошибкам в деятельности человека.

Каждый способствующий фактор имеет развернутый набор признаков для идентификации. Например:

#### 5.2.3. Человеческая природа

- a. Стресс (ухудшает процессы восприятие, внимание, память, мышление)
- b. Привычки (выработанные временем индивидуальные способы выполнения работ)
- c. Самоуспокоенность/Чрезмерная уверенность
- d. Восприятие риска в зависимости от ситуации
- e. Использование предположений в ситуации неопределенности.
- f. Ограничения мышления (влияние прошлого опыта)
- g. Ограничения объема памяти, внимания, скорости восприятия

#### 4.1.2. Специфика задачи

- a. Часы выполнения
- b. Длительность
- c. Дефицит времени (давление графика работ)
- d. Задержки/Отвлечения
- e. Сложность/Ответственность

f. Новизна

g. Рутинность/Монотония

Воспользуемся представленной таксономией способствующих факторов для аварии на Арзамас-16, рассмотренной выше. Из описания аварии можно выделить рутинный характер эксперимента с критической сборкой, который многократно и успешно выполнялся ранее основными его участниками (*4.1.2. Специфика задачи*). Природа человека такова, что с каждой успешной попыткой выполнения сложной и ответственной задачи, его уверенность возрастает, а уровень воспринимаемого риска снижается. Одним из факторов, способствующим грубым ошибкам самых квалифицированных и опытных специалистов, является их самоуспокоенность и чрезмерная уверенность, которая базируется на успешном выполнении своих обязанностей в течение длительного периода времени (*5.2.3. Человеческая природа*). В нашем случае, ответственный выбор размера элементов сборки (влияющей на оценку степени ее критичности - важнейшего условия безопасности эксперимента) выполнялся одним человеком без дополнительной независимой проверки. Задача, когда надо было просто выписать нужные значения из журнала измерений, рассматривалась как рутинная, не требующая дополнительного контроля. Точно также операции по сборке, успешно выполняемые сотни раз в течение многих лет, проводились одним человеком без обязательного, согласно инструкции, внешнего контроля независимого наблюдателя. В итоге грубейшая ошибка при выполнении рутинной операции была следствием не отсутствия у экспериментатора мастерства, подготовки, квалификации, опыта, а чрезмерной самоуспокоенности и уверенности в себе, в успех своих действий, в конечный успех всего эксперимента, одного из сотен уже успешно выполненных.

При анализе событий, в первую очередь идентифицируются способствующие факторы на уровне исполнителей и задачи (содержание, условия). На следующем шаге следует проанализировать связанные с ними способствующие факторы на более высоких уровнях руководства и управления. Например, для аварии на Арзамас-16 необходимо выяснить, почему за организацией, руководством и выполнением особо радиационно-опасных работ стоял один человек? Каким образом был организован надзор за организацией, руководством и выполнением экспериментов с критической сборкой? Какими документами регламентировались эксперименты с критической сборкой? Учитывали эти документы требования системы менеджмента качества и управления рисками? Была разработана и внедрена система повышения надежности деятельности персонала? Была разработана и внедрена система учета опыта эксплуатации?

На последний вопрос можно ответить отрицательно. Если бы такая система действительно функционировала, руководством были бы предприняты необходимые предупреждающие меры по результатам расследования аварии во Всесоюзном научно-исследовательском институте приборостроения (ВНИИП, Челябинск-70), которая произошла еще 5 апреля 1968 года [8]. В ходе эксперимента с критической сборкой произошел аварийный выброс, который привел к смерти двух знающих и полностью квалифицированных специалистов по ядерной критичности. Первый, ответственный руководитель, кандидат технических наук (тема диссертации касалась критическихборок), проработал с делящими материалами более 10 лет, а второй, оператор, старший инженер, более 6 лет. Авария произошла в пятницу вечером, когда два экспериментатора решили продолжить дневную работу и завершить исследования по второй сборке. Расследование аварии установило, что ответственный руководитель сделал ошибочную оценку реактивности системы, а также нарушил несколько рабочих инструкций при монтаже сборки. Также было установлено, что руководитель сам выписал себе наряд на работу, что было категорически запрещено. Выключенная после дневного эксперимента измерительная система не была включена при проведении вечерней сборки в целях ее ускорения. В диспетчерской отсутствовал третий специалист, который должен был присутствовать при вечерних сборках. Также отсутствовал дозиметрист, поскольку он не был уведомлен о работе вечером. Расследование пришло к заключению, что специалисты были очень опытными в работе с критическими сборками. Но именно их чрезмерная уверенность и торопливость (оба имели театральные билеты на вечер аварии) привела к трагедии.

Как и на Арзамас-16, здесь мы также имеем дело со "знающими и полностью квалифицированными специалистами по ядерной критичности", "ошибочной оценкой реактивности системы", "нарушением нескольких рабочих инструкций при монтаже сборки". И, главное, вывод, который сделала комиссия по результатам расследования: "чрезмерная уверенность привела к трагедии". Комиссия отметила еще "торопливость", которая могла иметь место и при аварии на Арзамас-16 (по быстрому повторить рутинный эксперимент для дополнительной проверки данных). К сожалению, мы не знаем, проанализировала ли комиссия организационные факторы, которые способствовали аварии в Челябинск-70. Но, очевидно, что они не были учтены руководством Арзамас-16.

Идентификация и анализ всех способствующих событию факторов не является самоцелью. Но это дает возможность на следующем шаге определить те меры, которые позволят предупредить повторение событий или минимизировать их последствия.

Сформулируем третий принцип анализа событий, вызванных ошибочными действиями человека:

3. Для предупреждения событий, вызванных ошибками человека, необходимо рассмотреть все стратегии, направленные на уменьшение и перехват ошибочных действий, а также на повышение устойчивости систем и оборудования к событиям.

Способствующие факторы позволяют понять источники ошибочных действий человека и предложить меры по их устранению, которые основываются на понимании риска ошибки человека. Риск ошибки человека ( $R$ ) можно выразить следующей функцией:

$$R = P(o) \times P(c) \times P(t),$$

где  $P(o)$  - вероятность совершения человеком *ошибки*;

$P(c)$  - вероятность возникновения *события* из-за ошибки человека;

$P(t)$  - вероятность *тяжести* последствий события из-за ошибки человека.

Способствующие факторы оказывают влияние на все компоненты риска ошибки человека (см. рис. 3):

$P(o)$  - негативно воздействуя на деятельность человека (содержание задачи, условия на рабочем месте), данные факторы способствуют повышению вероятности ошибочных действий;

$P(c)$  - негативно воздействуя на барьеры, перехватывающие допущенные человеком ошибки (методы контроля и проверок), данные факторы способствуют повышению вероятности события, обусловленного ошибкой человека;

$P(t)$  - негативно воздействуя на барьеры, предупреждающие развитие события (методы и средства повышения устойчивости технологических систем к отказам), данные факторы способствуют повышению вероятности тяжести последствий события, обусловленного ошибкой человека.

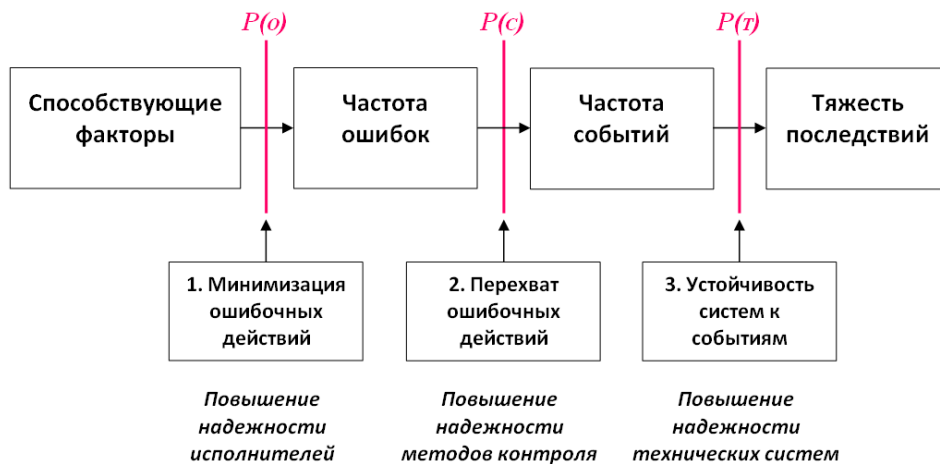


Рисунок 3. Модель риска ошибки человека и стратегий его минимизации.

Представленная модель риска ошибочных действий человека предполагает три основных класса стратегий предупреждения ошибок человека и связанных с ними событий [15, 22]:

1. Снижение числа неверных действий (*минимизация числа ошибок человека*);
2. Перехват ошибочных действий (*минимизация числа событий, связанных с ошибками человека*);
3. Повышение устойчивости систем к событиям (*минимизация тяжести последствий от событий, связанных с ошибками человека*).

Рассмотрим кратко представленные стратегии.

### **1. Минимизация ошибочных действий**

Стратегии этого класса предназначены для воздействия на факторы, которые могут способствовать ошибочным действиям в процессе деятельности человека. Применение этих стратегий повышает надежность деятельности исполнителей с целью снижения вероятности совершения ими ошибки:  $1-P(o)$ . Примерами таких стратегий, согласно таксономии способствующих факторов, являются:

- Передача знаний и формирование умений для выполнения исполнителем конкретной задачи, включая понимание критических шагов процедуры и последствий неверных действий (*5.1.1. Общая и специальная подготовка*);
- Обеспечение полноты, ясности, не противоречивости, актуальности документации и процедур для выполнения работ, с выделением критических шагов (*4.1.1. Документация*);
- Обеспечение благоприятных условий в зоне выполнения работ: должного освещения, снижения шума, вибрации и т.д. (*4.3.1. Опасные и вредные производственные факторы*);
- Обеспечение понимания критических шагов и последствий выполнения конкретной задачи в конкретных условиях с учетом опыта эксплуатации (*3.1.3. Проведение совещаний, инструктажей; 1.2.3. Система учета опыта эксплуатации*);
- Обеспечение доступа к обслуживаемым элементам оборудования, его ремонтпригодность и контролируемость (*3.3.3. Ремонтпригодность оборудования*);
- Обеспечение соответствия квалификации и подготовки конкретных исполнителей содержанию выполняемых работ (*3.1.1. Анализ задачи и исполнителей*);
- Учет возможностей и ограничений человека в процессе организации работ (*2.1.1. Планирование и подготовка работ*);

- Обеспечение подготовки персонала методам повышения надежности деятельности с целью минимизации вероятности ошибочного действия (*5.1.1. Общая и специальная подготовка; 1.3.3. Повышение надежности деятельности человека*).

Анализируя и выявляя факторы, которые способствовали неверным действиям человека, мы должны всегда помнить о многообразии внешних и внутренних факторов, которые воздействуют на человека в процессе его деятельности. Даже если мы сможем создать идеальные условия на рабочем месте, идеально спланировать и организовать выполнение задачи, мы не сможем до конца проконтролировать внутренние факторы, связанные с состоянием человека. Например, переживание радости или грусти, вызванные жизненными обстоятельствами, могут повлиять на снижение концентрации внимания и пропуск ошибки в процессе деятельности. Вот почему в ходе анализа важно также рассматривать стратегии, направленные на перехват ошибочного действия и повышение устойчивости систем и оборудования к событиям, вызванным ошибками человека.

## **2. Перехват ошибочных действий**

Данный класс стратегий подразумевает, что ошибочное действие уже совершено и делается попытка "перехватить" его до ввода оборудования или системы в эксплуатацию, чтобы предупредить возникновение события. Для этих целей специально выполняются операции для обнаружения возможных ошибочных действий, которые были совершены, например, в ходе ТОиР. Данные проверки необходимо проводить после завершения любого задания или операции ТОиР, ненадлежащее выполнение которых может создать угрозу безопасности при эксплуатации оборудования. Применение этих стратегий повышает надежность методов контроля и проверок с целью уменьшения вероятности событий по вине ошибочных действий человека:  $I-P(c)$ . Несложно заметить, что  $I-P(c)$  представляет собой вероятность событий по вине ошибочных действий человека, которые удалось избежать (*Near Miss*) [10, 11, 13, 23]. Примерами таких стратегий для ТОиР, опираясь на таксономию способствующих факторов, могут служить:

- Знания и умения исполнителей работ в области контроля и проверки правильности выполнения отдельных операций, а также задач или процедур ТОиР в целом (*5.1.1. Общая и специальная подготовка*);
- Понимание важности контроля наблюдателями-контролерами вносимых и выносимых из производственной зоны предметов, с целью обеспечения качества работ со вскрытием оборудования (*5.1.1. Общая и специальная подготовка*);

- Понимание важности контроля специалистами-контролерами чистоты оборудования, с целью обеспечения качества работ со вскрытием оборудования (*5.1.1. Общая и специальная подготовка*);
- Понимание важности контроля специальными контролерами качества выполнения сложных ответственных операций при сборке оборудования классов безопасности 1 и 2 (*5.1.1. Общая и специальная подготовка*);
- Контроль руководителями работ за действиями наблюдателей-контролеров, специалистов-контролеров, специальных контролеров с целью обеспечения качества выполнения работ (*3.2.2. Контроль выполнения*);
- Назначение и подготовка наблюдателей-контролеров, специалистов-контролеров, специальных контролеров для обеспечения качества выполнения работ (*2.1.1. Планирование и подготовка работ*);
- Надзор руководителей подразделений за действиями наблюдателей-контролеров, специалистов-контролеров, специальных контролеров с целью обеспечения качества выполнения работ (*2.2.1. Контрольные проверки на рабочих местах*);
- Программа проверки систем и оборудования после ТОиР, с учетом опыта эксплуатации, предусматривающая несколько возможностей выявить дефекты до того, как система или оборудование будут введены в эксплуатацию (*2.1.1. Планирование и подготовка работ; 1.2.3. Система учета опыта эксплуатации*);
- Приемочные проверки (испытания) оборудования и систем, проводимые после выполнения конкретной задачи или процедуры ТОиР (*2.1.3. Оценка качества результатов работ*);
- Подготовка персонала по методам повышения надежности деятельности с целью перехвата ошибочных действий и минимизация вероятности возникновения событий (*5.1.1. Общая и специальная подготовка; 1.3.3. Повышение надежности деятельности человека*)

Проверки могут носить характер самопроверок, выполняться напарником или специально назначенным человеком (например, специальным контролером). Но программы проверок могут быть несовершенны, а контролеры сами допускать ошибки. Поэтому важно обеспечить устойчивость систем и оборудования к последствиям возможных неверных действий человека.

### **3. Повышение устойчивости систем и оборудования к событиям**

Под устойчивостью понимается свойство систем и оборудования реагировать на неверные действия без серьезных последствий, сохраняя свою работоспособность. Это достигается

через проектные и организационные меры. Применение этих стратегий уменьшает вероятность тяжести последствий событий, вызванных ошибочными действиями человека:  $1-P(t)$ . Если  $P(t)$  - вероятность значимых событий, то  $1-P(t)$  это вероятность событий низкого уровня (*Low Level Events*) [23, 24]. Примерами стратегий этого класса, согласно таксономии, являются:

- Наличие резервирования и физического разделения систем или оборудования, чтобы неверное действие человека могло вывести из строя только одну систему или одно оборудование (*1.2.2. Управление рисками; 1.1.3. Общий надзор за производством*);
- Оценка эффективности, с учетом опыта эксплуатации, устойчивости систем или оборудования к неверным действиям человека (*1.2.2. Управление рисками; 1.2.3. Система учета опыта эксплуатации*);
- Запрет на выполнение одним и тем же специалистом одного и того же задания по техническому обслуживанию как основного оборудования, так и резервного (даже если ошибочное действие будет допущено на основном оборудовании, резервное останется работоспособными) (*2.1.1. Планирование и организация работ; 2.2.1. Наблюдения на рабочих местах; 3.2.2. Контроль выполнения*);
- Подготовка исполнителей по методам повышения надежности деятельности с целью обеспечения устойчивости систем и оборудования к событиям (*5.1.1. Общая и специальная подготовка; 1.3.3. Повышение надежности деятельности персонала*).

Анализ факторов, способствующих неверным действиям и событиям, и выбор стратегий для их предупреждения, служат, в конечном счете, поиску мер по укреплению барьеров с целью обеспечения качества и безопасности работ. К барьерам, образующим глубоко эшелонированную защиту, относятся и административные методы, и физические защитные устройства и устойчивость технических систем и оборудования к событиям [13].

Следование перечисленным принципам анализа ошибок человека лежит в едином русле формирования и поддержания высокой культуры безопасности в организации. Объяснение причин аварии в Челябинск-70 чрезмерной уверенностью и торопливостью двух экспериментаторов, без рассмотрения системных, организационных факторов отсутствия барьеров, которые учитывали бы особенности природы человека, позволило состояться аварии в Арзамас-16, практически по тем же причинам. Формальное введение космическим агентством НАСА программ обеспечения безопасности после трагедии "Челленджера", с сохранением многочисленных отступлений в технических требованиях



при подготовке к полетам, позволило состояться трагедии с "Колумбией", и, в итоге, привело к полному отказу от программы полетов кораблей "Space Shuttle".

Подход, основанный на выявлении факторов, которые способствуют ошибкам и событиям по вине человека, а также определении стратегий для их минимизации, может служить не только инструментом анализа событий, вызванных действиями человека, но также инструментом предупреждения таких событий в ходе:

- Проведения независимых инспекционных проверок на предприятии за организацией, подготовкой и исполнением работ;
- Проведения руководителями всех уровней внутреннего надзора за организацией, подготовкой и исполнением работ;
- Планирования и подготовки работ, которые бы учитывали факторы, способствующие ошибкам и событиям по вине человека;
- Выполнения работ, с пониманием и контролем персоналом факторов, способствующим ошибкам.

В заключении еще раз сформулируем принципы, которые обеспечивают культуру безопасности в процессе анализа событий, вызванных действиями человека.

1. Людям свойственно ошибаться.

Даже самые лучшие, хорошо подготовленные, квалифицированные и опытные специалисты допускают ошибки, которые могут иметь значимые последствия. Ошибки не носят преднамеренный характер. Важно разобраться в источниках ошибочных действий, а не искать "виновных", извлечь ценные уроки, а не раздавать "наказания". Ошибка человека это лишь исходная точка анализа событий.

2. Ошибки человека являются следствием воздействия ряда способствующих факторов, которые определяются, в первую очередь, процессами и культурой организации.

Способствующие факторы на рабочих местах повышают вероятность совершения человеком ошибки. Человеческое поведение крайне редко поддается причинно-следственному объяснению и полной детерминированности следствий (ошибок человека) причинами (содержанием задачи и условиями на рабочем месте). Способствующие факторы определяются, в первую очередь, процессами и культурой организации, что предполагает возможность их управления.

3. Для предупреждения событий, вызванных ошибками человека, необходимо рассмотреть все стратегии, направленные на уменьшение и перехват ошибочных действий, а также на повышение устойчивости систем и оборудования к событиям.

Многие способствующие факторы можно устранить на стадии организации и подготовки работ, через оптимизацию содержания задачи и условий ее выполнения. Но мы не можем гарантировать полное исключение влияния способствующих факторов, поэтому должны предусмотреть меры по перехвату возможных ошибок человека, а также по повышению устойчивости технических систем и оборудования к отказам.

## Литература

1. Maurino D., Reason J., Johnston N., Lee R. Beyond Aviation Human Factors. 1995.
2. Dekker S.W.A. The Field Guide to Human Error Investigations. 2002.
3. INPO. Human Performance Reference Manual. INPO 06-003. 2006.
4. DOE. Human Performance Improvement Handbook. Volume 1: Concepts and Principles. USDOE-1028-2009. 2009.
5. ВАО АЭС. Принципы эффективной работы персонала. WANO GL 2002-02. 2003.
6. IAEA. Managing Human Performance to Improve Nuclear Facility Operation. Nuclear Energy Series No. NG-T-2.7. 2013.
7. Машин В.А. Повышение эффективности деятельности персонала АЭС // Электрические станции. № 5. 2013.
8. Обзор ядерных аварий с возникновением СЦР. Отчет Лос-Аламосской национальной лаборатории LA-13638-TR. 2003.
9. Машин В.А. О нарушениях в работе атомных станций, обусловленных человеческим фактором // Электрические станции, № 3. 2012.
10. МАГАТЭ. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. Терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты. 2007.
11. IAEA. Root Cause Analysis Following an Event at a Nuclear Installation: Reference Manual. TECDOC-1756. 2015
12. НП 004-08 Положение о порядке расследования и учета нарушений в работе атомных станций. 2008.
13. РД ЭО 1.1.2.09.0095-2010 Методические указания по анализу причин событий, значимых для безопасности и надежности, пожаров, несчастных случаев, повреждений зданий и сооружений на атомных станциях.
14. INPO. Human Performance Fundamentals Course Reference. 2002.
15. Maintenance Error Decision Aid (MEDA). Users Guide. Boeing. 2004.

16. IAEA. Lessons Learned from Accidental Exposures in Radiotherapy. Safety Reports Series No. 17. 2000.
17. DOE HANDBOOK Accident and Operational Safety Analysis. Volume I: Accident Analysis Techniques. DOE-HDBK-11208-2012. 2012.
18. Новая философская энциклопедия: В 4 тт. Гл. ред. В.С. Степин. М.: Мысль. 2010.
19. Columbia Accident Investigation Board. Report Volume 1. 2003.
20. Fahlbruch B. Event analysis as a tool to enhance safety culture in nuclear power plants / B. Wilpert, N. Itoigawa (Eds.) Safety culture in nuclear power operations. 2001.
21. Human Factors Analysis and Classification System – Maintenance Extension (HFACS-ME). Naval Aviation, FAA, NASA. 2003.
22. ИКАО. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). Doc 9859 AN/474. 2013.
23. Машин В.А. Культура безопасности и система сбора, учета, классификации и анализа событий низкого уровня // Электрические станции, № 8. 2012.
24. СТО 1.1.1.04.005.0797-2012 Учет, классификация и анализ малозначимых событий (событий низкого уровня).