

Культура безопасности: Вопросы контроля и надзора

Машин В.А.

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

E-mail: mashin-va@mail.ru

Культура безопасности определяется соблюдением и выполнением организацией и ее персоналом требований, методов и принципов в области обеспечения надлежащего уровня безопасности. Эти требования, методы и принципы должны быть четко сформулированы и доведены до исполнителей и руководства, а их соблюдение и выполнение должно быть обеспечено при планировании, организации и проведении работ [1].

Процессный подход к формированию, поддержанию и повышению культуры безопасности [1] предполагает обязательную стадию внешнего и внутреннего контроля и надзора за соблюдением и выполнением персоналом и руководителями всех уровней организации установленных требований, методов и принципов в области обеспечения безопасности (см. рис. 1).

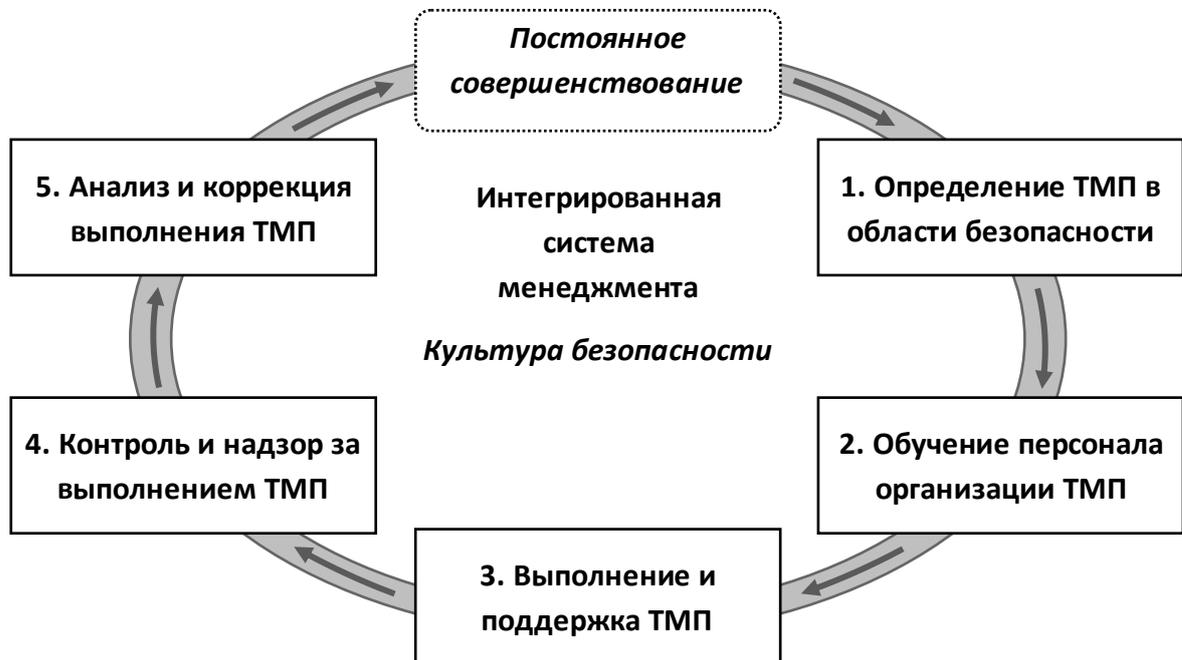


Рисунок 1. Процесс формирования и развития культуры безопасности на основе требований, методов и принципов (ТМП) обеспечения безопасности.

Анализ аварий в различных отраслях промышленности доказывает, что большинство из них можно было бы предупредить через эффективные процессы внутреннего и внешнего контроля и надзора. Трагическим событиям, как правило, предшествует цепочка решений и действий при планировании, организации и выполнении работ с постепенным отходом от соблюдения установленных в технических регламентах и процедурах требований к обеспечению безопасности ("нормализация отклонений" [2]).

В данной статье мы рассмотрим аварию, которая произошла 30 сентября 1999 года в здании опытной реконверсии радиохимического завода компании JCO в городе Токаймура, Япония [3, 4, 5]. Благодаря многочисленным материалам, посвященным этой аварии [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14], предоставляется редкая возможность показать, насколько важна роль регулирующих и контролирующих органов в установлении и поддержании требований, методов и принципов в области обеспечения безопасности. Как небольшие отклонения от них, продиктованные благими намерениями (повышением эффективностью производства), шаг за шагом могут приблизить к трагедии без должного контроля и надзора. Уроки, которые можно извлечь из этой аварии, будут полезными для обеспечения безопасной эксплуатации электростанций. Они могут оказаться ценными при организации и выполнении таких операций на АЭС, как перемещение топливных сборок ядерных реакторов, подготовка нейтронно-поглощающих растворов, ввод "чистого конденсата" в теплоноситель первого контура и ряда других.

В начале кратко представим хронологию основных событий, которые привели к аварии на заводе JCO 30 сентября 1999 года.

Компания JCO, с офисом в Токио, была создана в 1979 году как дочернее подразделение частной японской горнодобывающей компании Sumitomo Metal Mining (SMM), которая специализировалась на цветных металлах. Под управлением компании JCO находился единственный завод в городе Токаймура (население 35 тыс. человек), расположенном в 150 км к северу от Токио. Завод предназначался для производства порошка диоксида урана (UO_2), который далее использовался на предприятиях по изготовлению топлива для коммерческих легководных реакторов Японии. На территории завода располагались два цеха по реконверсии низкообогащенного ($< 5\% \text{ }^{235}U$) гексафторида урана (UF_6) в порошок UO_2 , которые были рассчитаны на крупномасштабное производство 220 и 718 тонн диоксида урана в год.

В 1984 году на территории завода было пущено модернизированное здание опытной реконверсии, которое предполагало производство небольших партий (до 3 тонн в год) порошка UO_2 из среднеобогащенного ($\leq 20\%$) UF_6 или закиси-оксида урана (U_3O_8). Эта

продукция производилась по контракту с государственной корпорацией по разработке энергетических реакторов и ядерного топлива (PNC) для экспериментального ядерного реактора-размножителя на быстрых нейтронах Дзёё (Jojo) в рамках реализации национального проекта. В 1998 году PNC, вовлеченная в аварии на АЭС Мондзю (Monju, 1995), с реактором на быстрых нейтронах, и на перерабатывающем заводе Токае (To카이, 1997), была переименована в Японский институт по разработке ядерного топливного цикла (JNC).

Кроме использования среднеобогащенного урана, контракт с PNC дополнительно предполагал возможность приготовления из порошка U_3O_8 (после его очистки) раствора уранилнитрата - $UO_2(NO_3)_2$. В ходе выполнения работ по приготовлению раствора уранилнитрата (UNH) и произошло событие с возникновением самоподдерживающейся цепной реакции (СЦР).

В 1984 году, по заявке JCO, государственными регулирующими органами Японии в области ядерной безопасности было проведено лицензирование здания опытной реконверсии для выполнения работ со среднеобогащенным ураном ($\leq 20\%$) по контракту с PNC. Основной анализ был выполнен Агентством по науке и технологии (STA) с последующей проверкой и утверждением Комиссией по ядерной безопасности (NSC).

Весь комплекс оборудования в здании, за исключением реактора-осадителя, был спроектирован с учетом безопасной геометрии по контролю критичности (возможности возникновения СЦР). Опасная геометрия реактора-осадителя (высота 61 см, диаметр 45 см, объем около 100 л) была обусловлена технологией образования кристаллов диуранат аммония (промежуточного продукта при производстве UO_2 и очищенного порошка U_3O_8). Для обеспечения ядерной безопасности были предусмотрены и согласованы с регулирующими органами процедурные меры, а также определены следующие нормативные условия безопасного выполнения работ:

- предельная масса урана в одной партии производимой продукции - 2.4 кг,
- предельная масса урана в единичной производственной емкости - 2.4 кг.

Переход в критическое состояние растворов определяется рядом факторов: температурой раствора, геометрией сосуда, концентрацией делящегося вещества, расположением емкостей и т.д. Вероятность события с возникновением критичности в здании опытной реконверсии, с учетом соблюдения персоналом нормативных условий безопасного выполнения работ, была оценена регулирующими органами как крайне низкая.

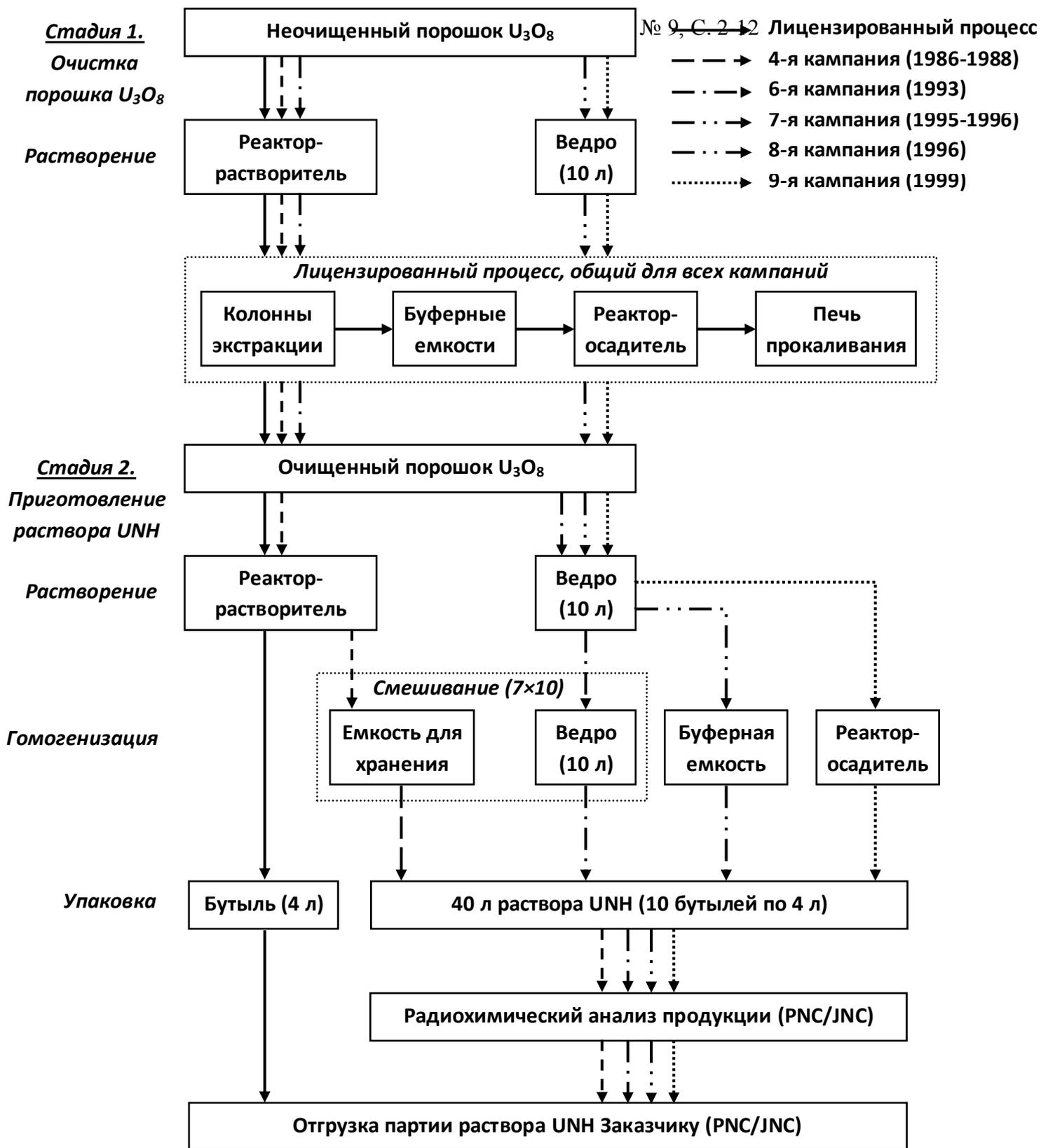


Рисунок 2. Общая хронология нарушений лицензированного процесса производства раствора UNH на заводе JCO.

Итоговый лицензированный процесс производства UNH представлял собой растворение очищенного порошка U_3O_8 весом 2.4 кг в азотной кислоте (HNO_3) с использованием

реактора-растворителя. Далее полученным раствором заполнялась четырехлитровая бутылка и отгружалась Заказчику (см. рис. 2).

Фактическое производство раствора UNH, согласованное JCO с PNC уже после получения лицензии, представляло собой растворение 16.8 кг урана (по 7 партий очищенного порошка U_3O_8 весом 2.4 кг) для получения 40 литров продукции, которым заполнялись 10 пластиковых бутылок объемом 4 литра. Поскольку состав раствора в бутылках мог различаться, правила ядерной безопасности при транспортировке радиоактивных материалов требовали от PNC экспертизы радиохимического состава каждой отгружаемой партии (бутылки) продукции [6, 10]. На анализ 10 бутылок уходило несколько дней. С целью сократить затраты на рабочую силу и время проведения проверок, PNC попросила поставщика о дополнительной гомогенизации 40 литров раствора UNH. Для удовлетворения запроса Заказчика, JCO предложила распространенный при производстве ядерного топлива в Японии метод перекрестной гомогенизации (10×10): раствор заливается впервые 10 бутылок (по 4 литра в каждой), затем из каждой бутылки берется 1/10 часть (400 мг) и последовательно выливается в следующие 10 бутылок, предназначенных для транспортировки готовой продукции. В итоге получается однородная партия раствора объемом 40 литров (10 бутылок по 4 литра) и возможность проведения одного радиохимического анализа вместо 10. Заметим, что при этом фактически нарушается нормативное требование безопасного выполнения работ, связанное с предельной массой урана в одной партии производимой продукции 2.4 кг, поскольку в 40 литрах раствора UNH было свыше 15 кг урана [6].

Заметим, что гомогенизация раствора UNH, которую JCO выполняла по просьбе и с ведома PNC/JNC, являлась явным нарушением условий лицензии, выданной регулирующими органами для проведения работ в здании опытной реконверсии. В процедуре производства раствора UNH, утвержденной регулирующими органами, стадия гомогенизации отсутствовала. Кроме этого, сам проект здания не учитывал возможности гомогенизации раствора UNH и представлял собой небольшой одноэтажный корпус (15×16 м), плотно заставленный многочисленным радиохимическим оборудованием.

Уже через год после получения JCO лицензии на выполнение работ со среднеобогаченным ураном в здании опытной конверсии, в 4-й кампании (1986-1988 гг.) была выполнена заявка PNC на производство раствора UNH (296 кг урана) с гомогенизацией отгружаемой продукции. Следует отметить, что уже в этой кампании JCO изменила метод гомогенизации, который был согласован с PNC. Полученный после растворения каждой партии очищенного порошка U_3O_8 (2.4 кг урана) раствор UNH

заливался в специальную емкость из нержавеющей стали с безопасной геометрией для контроля критичности, а не в пластиковые бутылки по 4 литра (см. рис. 2). Далее выполнялся тот же перекрестный метод гомогенизации, но только с использованием семь раз данной емкости (7×10): $1/10$ полученного объема раствора UNH последовательно выливалась из емкости в 10 бутылей (объемом 4 литра). Данный метод был реализован без рассмотрения и утверждения регулятором, а также без анализа вопросов контроля критичности. Например, не была выполнена маркировка расположения на полу 10 бутылей с раствором UNH, согласно требованиям ядерной безопасности.

В следующей 6-й кампании (1992-1993 гг.), в производство раствора UNH (203 кг урана) были внесены новые изменения, направленные на повышение его эффективности (сокращения временных затрат). В процедуре производства раствора UNH, утвержденной регулирующими органами, растворение очищенного порошка U_3O_8 должно было проводиться в реакторе-растворителе, имевшем безопасную геометрию по контролю критичности. Для 6-й кампании начальник производственного отдела завода предложил вместо реактора-растворителя использовать для растворения очищенного порошка U_3O_8 нержавеющие ведра объемом 10 литров (см. рис. 2). Очищенный порошок U_3O_8 (2.4 кг урана) высыпался в нержавеющее ведро, в которое добавлялась теплая вода и 1.7 л HNO_3 . Все это нагревалось на небольшой электрической плитке и перемешивалось рабочим с помощью половника из нержавеющей стали. Далее добавлялась еще вода и объем раствора доводился до 6.5 л (с концентрацией урана 370 г/л). Полученный раствор фильтровался и переливался в другое нержавеющее ведро, где остывал до выполнения описанного выше перекрестного метода гомогенизации (7×10). Использование нержавеющего ведра вместо реактора-растворителя сокращало время растворения одной партии очищенного порошка U_3O_8 приблизительно на один час. В итоге, в последующих кампаниях реактор-растворитель был полностью заменен на нержавеющие ведра, как при производстве раствора UNH (стадия очистки порошка U_3O_8 и стадия приготовления раствора UNH), так и при производстве порошка UO_2 (стадия очистки порошка U_3O_8 с добавлением печи восстановления).

Как и в случае 4-й кампании, данные изменения в процедуре производства раствора UNH были реализованы без рассмотрения и утверждения регулятором, а также без анализа вопросов контроля критичности. Использованные десятилитровые ведра не имели безопасной геометрии по критичности [6]. Контроль возникновения СЦР осуществлялся лишь через утвержденную предельную массу урана в одной партии производимой продукции (2.4 кг). Кроме этого, проект здания опытной реконверсии не предполагал

возможности выполнения работ по растворению порошка U_3O_8 с помощью ведер. Рабочим приходилось работать в стесненных условиях при высоких рабочих нагрузках.

В 7-й кампании (1995-1996 гг.) в процедуру производства раствора UNH (130.5 кг урана) были внесены изменения, которые еще более отклонялись от утвержденной регуляторами процедуры, и которые, по сути, сделали возможной ситуацию возникновения СЦР. Для улучшения перекрестного метода гомогенизации (медленного, трудоемкого, небезопасного для здоровья рабочих), новый ведущий инженер здания опытной реконверсии предложил использовать буферную емкость (предназначенную для временного хранения раствора UNH), имеющую безопасную геометрию по контролю критичности (см. рис. 2). Данное предложение было утверждено техническим отделом завода. В результате, 7 партий очищенного порошка U_3O_8 (2.4 кг урана) последовательно растворялись в нержавеющей ведре, полученный раствор UNH фильтровался и заливался в одну буферную емкость. Была оборудована временная система трубопроводов для перемешивания путем циркуляции раствора и барботаж его азотом в течение около 200 мин. После этого гомогенизированный раствор разливался в бутылки по 4 литра через временную пластиковую трубу, которая прикреплялась к сливному крану в нижней части буферной емкости.

И вновь предложенные изменения в процедуру производства раствора UNH были реализованы без рассмотрения и утверждения регулятором, а также без анализа вопросов контроля критичности. Данные изменения вели к тому, что в буферной емкости накапливалось свыше 16 кг урана, что приводило к нарушению базового нормативного требования: предельная масса урана в единичной производственной емкости не должна превышать 2.4 кг. По факту, предельная масса урана превышалась почти в 7 раз. Единственным барьером, который оставался в этом случае для предотвращения возникновения СЦР, была безопасная геометрия буферной емкости. Буферная емкость для гомогенизации раствора UNH была использована и в 8-й кампании (1996 год, 100 кг урана).

9-я кампания, в которую произошла авария, началась 10 сентября и должна была завершиться 8 октября 1999 года. Всего планировалось произвести 57 кг урана (обогащением 18.8%) в виде раствора UNH с концентрацией урана 370 г/л. Все работы выполняли 3 рабочих специальной бригады, в обычные функции которой входила переработка радиоактивных отходов производства порошка UO_2 в цехах № 1 и 2, промывка и подготовка к работе оборудования.

29 сентября, рабочие, следуя общепринятой на заводе практике, предложили и согласовали с начальником группы планирования использование для гомогенизации раствора UNH реактора-осадителя вместо буферной емкости. Это позволяло уже 30 сентября завершить все работы по гомогенизации раствора UNH, чтобы на следующий день приступить к выполнению своих основных обязанностей.

Исследование записей выполнения работ показало, что первая стадия очистки порошка U_3O_8 была завершена рабочими специальной бригады на 8 дней раньше запланированного графика работ (к 28 сентября). Согласно нормативным требованиям, указанным в лицензии на выполнении работ в здании опытной реконверсии, очистку следовало проводить одиночными партиями урана 2.4 кг. По рабочей программе, в процессе очистки в емкостях технологического цикла могло находиться одновременно от 2 до 3 партий U_3O_8 (4.8÷7.2 кг урана). Согласно журналу учета выполненных работ, количество партий U_3O_8 , которые одновременно находились в емкостях технологического цикла, достигало 10 (24 кг урана). Это и определило 8 дневное опережение графика запланированных работ, которое никоим образом не привлекло внимание ни технического руководства завода, ни главного специалиста по вопросам ядерного топлива, который утверждал программу 9-й кампании.

Расследование также показало, что при растворении очищенного порошка U_3O_8 для приготовления раствора UNH, фактическая масса урана, которая загружалась в нержавеющие ведра для растворения, варьировалась около 2.6 кг (при нормативном требовании не более 2.4 кг).

30 сентября 1999 года, в 10 час 35 мин помощник бригадира в небольшом помещении заполнял рабочие документы. За стеной двое рабочих специальной бригады выливали последние 5 л раствора UNH из лабораторного стакана в реактор-осадитель, имевший опасную геометрию по контролю критичности. В этот момент, из-за многократного превышения предельной массы урана в реакторе-осадителе возникла СЦР. Рабочие немедленно покинули здание опытной реконверсии, оставив лабораторный стакан с небольшим количеством раствора UNH около реактора-осадителя. В нем оставалось всего лишь 183 г урана. В реактор-осадитель было залито свыше 16.6 кг урана.

Рабочий (35 лет), который стоял лицом к реактору-осадителю и держал воронку для заливки раствора, получил дозу облучения 16÷25 зивертов и умер через 82 дня. Рабочий (40 лет), выливавший раствор из лабораторного стакана в воронку стоя на лестнице реактора-осадителя, получил дозу облучения 6÷9 зивертов и умер через 210 дней.

Помощник бригадира (56 лет), который заполнял документы за стеной, получил дозу облучения 2÷3 зиверта и выжил.

По результатам расследования правительство Японии отозвало у компании JCO лицензию на выполнение работ с урановыми материалами. Компания SMM выплатила к 2004 году по гражданским искам 136 млн. долларов и полностью отказалась от ядерных контрактов, закрыв завод в Токаймура.

После краткой хронологии событий, которые предшествовали аварии на заводе JCO 30 сентября 1999 года, подробнее остановимся на недостатках внешнего и внутреннего контроля и надзора за обеспечением ядерной безопасности при производстве раствора UNH (см рис. 3).



Рисунок 3. Основные виды контроля и надзора при производстве раствора UNH на заводе JCO для обеспечения ядерной безопасности.

Внешний контроль и надзор со стороны регулятора (STA, NSC)

В ходе анализа вопросов безопасности при лицензировании работ в здании опытной реконверсии завода компании JCO, STA не рассмотрела возможность производства раствора UNH (с 1985 года из 7 кампаний, выполненных JCO по контракту с PNC/JNC, 5

были связаны именно с производством раствора UNH). Это было обнаружено лишь при проверке NSC. Но и после этого данный процесс не был детально изучен регулирующими органами. Например, не было принято во внимание высокая концентрация урана в растворе UNH, которая, согласно спецификации, предоставленной PNC, составляла 350 ± 30 г/л, что уменьшало до минимума запас до критической массы урана с обогащением $\leq 20\%$, рассчитанный для установленных нормативных условий безопасного выполнения работ. В ходе лицензирования концентрация раствора UNH никогда не детализировалась и не обсуждалась (в основных производственных цехах завода концентрация урана в растворах не превышала 100 г/л).

Еще один важный момент, который также не был рассмотрен для производства раствора UNH при лицензировании, это возможность гомогенизации готового раствора UNH и риски, связанные с этим процессом. В итоге вероятность события с возникновением критичности в здании опытной реконверсии, с учетом соблюдения персоналом нормативных условий безопасного выполнения работ, была оценена регулирующими органами как крайне низкая.

После выдачи лицензии JCO на работы в здании опытной реконверсии, контроль и надзор регулирующего органа (STA) за производством раствора UNH не проводился. Отсутствовал он для всех 5 кампаний по производству раствора UNH, в которых отклонения от требований лицензии с каждым разом только увеличивались. К 4-й кампании регулирующий орган (STA) полностью отказался от контроля и надзора за деятельностью завода JCO, посчитав минимальными риски, с точки зрения ядерной безопасности. Последняя инспекция завода регулирующим органом была выполнена в 1991 году. В 1998 году STA открыло офис в Токаймура и сотрудник этого офиса проводил ежемесячные обходы и осмотры завода JCO, которые также не выявили никаких нарушений в производственных процедурах. Часто можно встретить замечание, что инспекционные проверки и обходы на заводе проводились в то время, когда работы в здании опытной конверсии не производились. Но для выявления нарушений при производстве раствора UNH не требовалось непосредственного присутствия представителя регулятора. Все операции и полный перечень выполняемых работ тщательно фиксировались в рабочих журналах. Достаточно было лишь ознакомиться с содержанием этих записей, а также с процедурой и программой работ.

Внешний контроль и надзор со стороны Заказчика (PNC/JNC)

Надзор Заказчика за исполнением контрактных обязательств поставщиком продукции, после получения JCO лицензии на проведение работ со среднеобогащенным ураном,

выполнялся только в 3-ю и 4-ю кампании. В последующем надзорные функции были исключены из контракта, поскольку JCO зарекомендовало себя как надежный и ответственный поставщик качественной продукции с первых дней работы с Заказчиком, В отчете МАГАТЭ по аварии в Токаймура [6] специально рассмотрены вопросы взаимодействия JCO с Заказчиком (PNC/JNC). Согласно выводам МАГАТЭ, Заказчик имел достаточно возможностей для взаимодействия с JCO, чтобы значительно уменьшить вероятность аварии. Следуя нормам МАГАТЭ по безопасности, изложенным в SF-1 [15, п. 3.5] и GS-R-3 [16, п.п. 5.23-5.24], Заказчику следовало бы более тщательно проанализировать процесс производства продукции на JCO, оценить возможные риски гомогенизации раствора UNH на оборудовании поставщика и рассмотреть безопасный вариант приготовления раствора UNH из очищенного порошка U_3O_8 на своем оборудовании [6]. Регулярные наблюдения Заказчика за процессом гомогенизации UNH могли бы предотвратить изменения в технологических операциях, которые, в итоге, привели к использованию реактора-осадителя [6].

Внутренний контроль и надзор со стороны поставщика продукции (SMM, JCO)

Для горнодобывающей компании SMM, ее дочернее подразделение JCO было единственным, работающим с ядерными материалами. Тот же урановый концентрат (U_3O_8) поставлялся из Франции. Создание компании JCO и постройка завода были обусловлены стремлением SMM вписаться в ядерный топливный цикл и перспективами национальной программы развития атомной энергетики в Японии. Компания не имела опыта работ в области атомной энергетике. Вывод регулирующих органов о крайне низких рисках в области ядерной безопасности при выполнении работ на заводе JCO, отсутствие внимания регулирующих органов к заводу как к ядерному объекту, привели к тому, что надзор SMM за ядерной безопасностью завода JCO фактически отсутствовал.

Надлежащие процессы контроля и надзора за производством раствора UNH не были созданы и в компании JCO. Показателен процесс разработки, пересмотра и соблюдения производственных процедур для выполнения работ в здании опытной реконверсии [14]:

- Нормативное требование соблюдения предельной массы урана в единичной производственной емкости (2.4 кг) никогда не было представлено в процедурах.
- В процедурах отсутствовало упоминание важного условия ядерной безопасности выполнения работ - безопасная геометрия емкостей по контролю критичности, с единственным ограничением для реактора-осадителя.

- Нормативное требование соблюдения предельной масса урана в одной партии производимой продукции (2.4 кг) отсутствовало в процедурах вплоть до 1995 года (7-я кампания), когда это требование было, наконец, прописано в документах в качестве критерия ядерной безопасности по контролю критичности.
- Использование метода перекрестной гомогенизации раствора UNH в 4-й кампании (1986-1988 гг.) было официально оформлено внутренней процедурой лишь в 1989 году. Как мы отмечали выше, ни в этот раз, ни во все последующие случаи, внесенные в процедуру производства раствора UNH изменения, нарушавшие лицензионные требования, не были доведены, рассмотрены и утверждены регулятором (STA).
- Использование вместо реактора-растворителя нержавеющей ведер для растворения очищенного порошка U_3O_8 , а также для гомогенизации раствора UNH в 6-й кампании (1992-1993 гг.) так и не было оформлено в виде официальной процедуры.
- Использование нержавеющей ведер для растворения очищенного порошка U_3O_8 и буферной емкости для гомогенизации раствора UNH в 7-й (1995-1996 гг.) и 8-й (1996 г.) кампаниях было оформлено в виде официальной процедуры лишь в 1997 году.

Процесс пересмотра процедур на заводе JCO включал в себя внесение изменений производственной группой, согласование руководителем группы обеспечения качества и утверждение начальником производственной группы (по совместительству начальник группы управления безопасностью [14]). При этом изменения в процедурах не требовали утверждения/согласования главным специалистом по вопросам ядерного топлива или комитетом по управлению безопасностью. Изменения, связанные с нарушением лицензионных требований, не проходили рассмотрения и утверждения в регулирующем органе.

Ни группа управления безопасностью, ни главный специалист по ядерному топливу, ни комитет по управлению безопасностью не участвовали в подготовке производственной документации, которой руководствовались рабочие при выполнении операций в здании опытной реконверсии. В ней излагались, в основном, важные для производства порошка UO_2 и раствора UNH вопросы обеспечения качества конечной продукции, такие как количество порошка U_3O_8 , азотной кислоты и воды в процессе растворения. Но в этой документации отсутствовали важные вопросы управления ядерной безопасностью, такие как предельная масса урана в единичной производственной емкости, которые указывались в нормативных требованиях для контроля критичности при выполнении работ в здании опытной реконверсии.

Техническое руководство завода, главный специалист по ядерному топливу, комитет по управлению безопасностью были в курсе многочисленных отклонений от утвержденной регулятором процедуры. Но на ядерном объекте существовала практика постоянных отклонений от процедур, которая базировалась на принятой в JCO системе "кайдзен" - постоянном совершенствовании с участием высшего руководства, менеджеров и рабочих. Поощрялась активность сотрудников на внесение изменений в методы и способы выполнения работ, при этом акцент делался на производительности, на снижении затрат и улучшении качества продукции, а не на вопросах ядерной безопасности. Ярким примером такой политики может служить решение сократить полное название компании (Japan Nuclear Fuel Conversion Co. Ltd) до трех букв (JCO) с целью уменьшения расхода чернил при печати, которое было принято в 1998 году, в условиях глубокого спада объемов производства [12].

Другой пример, это "революционное" решение использовать нержавеющие ведра в производстве UNH. К 1993 году компания JCO достигла максимума выручки от продаж своей продукции, но именно в этот период, следуя принципам "кайдзен", техническим руководством было предложено использовать нержавеющие ведра вместо реактора-растворителя для повышения эффективности производства раствора UNH (при этом доля выручки от продажи продукции, произведенной в здании опытной конверсии, составляла в общем объеме не более 2%). Последующее снижение производства на заводе JCO под давлением факторов рынка (падение объемов продаж на 47%) и связанная с этим программа реорганизации компании, лишь усилили дисбаланс между производственными задачами и ядерной безопасностью (количество технических специалистов сократилось с 34 до 20, общая численность персонала уменьшилась с 162 до 110, количество бригад в цехах было сокращено с 8 до 4, что привело к росту производства урана с 10.3 до 18.7 т в год на одного рабочего).

Важно отметить, что баланс между производственными задачами и обеспечением ядерной безопасности был нарушен с самого начала выпуска раствора UNH: на всех уровнях организации возобладало мнение, что событие с возникновением критичности в здании опытной реконверсии невозможно. Так нарушение нормативного требования соблюдения предельной массы урана в единичной производственной емкости (2.4 кг) при использовании буферной емкости для гомогенизации раствора UNH в ходе 7-й и 8-й кампаний, не рассматривалось техническим руководством завода, главным специалистом по ядерному топливу, комитетом по управлению безопасностью как опасное, поскольку они

полагали, что безопасная геометрия буферной емкости надежно обеспечивает подкритическое состояние раствора UNH.

На заводе JCO отсутствовал надлежащий процесс обучения персонала в области ядерной безопасности. Например, вводный курс для новичков и ежегодная подготовка по вопросам безопасности для рабочих содержали материалы по физике критичности, а также по принципам контроля критичности, но содержание по этим темам было крайне поверхностным и знания, необходимые для обнаружения опасности возникновения критичности, отсутствовали. В начальный период работы завода компания JCO предоставляла своим работникам углубленную подготовку по вопросам контроля критичности. Но рабочие пожаловались на трудности понимания материала и JCO решила сократить содержание учебных курсов, касающихся вопросов критичности, полагая, что следование производственным процедурам будет достаточно. В результате рабочие рассматривали ограничение массы урана в одной партии (2.4 кг) как условие обеспечения качества, а не как требование ядерной безопасности. Они не имели представления о нормативном требовании предельной массы урана в единичной производственной емкости (2.4 кг), не были осведомлены о безопасной геометрии сосудов в здании опытной реконверсии и нарушении этого свойства для реактора-осадителя. Как показало расследование аварии, даже ведущий инженер здания опытной реконверсии, который предложил для улучшения перекрестного метода гомогенизации раствора UNH использовать буферную емкость, не имел должной подготовки в вопросах критичности.

На заводе JCO также отсутствовал надлежащий процесс учета внешнего опыта событий с возникновением СЦР. Предполагая, что авария с возникновением критичности ядерных материалов невозможна, руководство завода игнорировало аварии с возникновением критичности на объектах по переработке урановых материалов, которые произошли ранее в других странах [7]. Например, анализ инцидента на заводе по химпереработке топлива компании «United Nuclear Corporation» (США, 24 июля 1964 г.) [13], повлекший гибель одного оператора (37 лет) и облучение двух сотрудников, мог бы позволить исключить возникновение критичности на заводе JCO. В этом инциденте оператор по ошибке вместо раствора трихлорэтана (ТХЭ, концентрация урана 0.75 г/л) залил в открытую емкость (расчетная предельная концентрация урана в растворе 5 г/л) раствор UNH с концентрацией урана 256 г/л. Емкость изначально предназначалась для приготовления раствора карбоната натрия и имела опасную геометрию по контролю критичности (высота 67 см, диаметр 45.7 см, объем 110 л, винт для размешивания раствора). Возникла СЦР с выплеском раствора UNH на оператора. Доза облучения составила 100 зивертов. Смерть

наступила через 49 часов. Сами работы с раствором ТХЭ (промывка раствором карбоната натрия для извлечения урана перед захоронением ТХЭ) не были предусмотрены лицензией, выданной заводу. К сожалению, из этого инцидента не были извлечены уроки ни компанией JCO, ни регулирующими органами Японии.

Необходимо отметить, что в компании JCO был установлен надлежащий процесс обеспечения безопасности труда и охраны здоровья (БТиОЗ), которому уделялось значительное внимание (как и вопросам качества продукции). Поощрялись сообщения рабочих о событиях низкого уровня и потенциальных событиях, связанных с безопасностью труда. Были организованы комитеты по БТиОЗ, на которых обсуждались эти сообщения и принимались меры по выявленным проблемам. Регулярно проводились обходы рабочих мест для контроля вопросов БТиОЗ. В результате компания добилась впечатляющих результатов: отсутствие несчастных случаев на производстве в течение последних двух лет [14].

В связи с этим руководство компании могло рапортовать о высоком уровне безопасности и культуры безопасности на заводе в Токаймура. Но этот завод был включен в цепочку ядерного топливного цикла, и для обеспечения высокого уровня безопасности необходимо было должное внимание не только к вопросам качества и БТиОЗ, но и к вопросам ядерной безопасности. К сожалению, существовавшие внешние и внутренние формы контроля и надзора за производством раствора UNH в здании опытной реконверсии не позволили своевременно выявить низкую ядерную культуру безопасности на заводе и устранить ее причины.

Оперативный контроль за производством продукции

Оперативный контроль за выполнением работ по приготовлению раствора UNH в здании опытной реконверсии 29 и 30 сентября фактически отсутствовал. Бригадир не разобрал с членами бригады новую для них задачу, включая процедуру производства раствора UNH, особенности оборудования в здании опытной реконверсии. Инструктаж по ядерной безопасности, по контролю критичности перед началом работ также отсутствовал. Бригадир обязан был периодически контролировать и наблюдать за выполнением работ. 29 сентября он побывал в здании опытной реконверсии и оставил без внимания то, что рабочие залили первые 4 партии из 7 раствора UNH в реактор-осадитель, а не в буферную емкость. 30 сентября, когда рабочие продолжили растворение оставшихся трех партий очищенного порошка U_3O_8 и заливку раствора UNH в реактор-осадитель, он отсутствовал, занимаясь подготовкой выполнения основных работ специальной бригады в производственных цехах.

Действия рабочих при производстве UNH

Рабочие имели значительный опыт работы в основных производственных цехах и впервые выполняли работы в здании опытной реконверсии. Программа сокращения персонала на заводе привела к тому, что к 1999 году специальная бригада, которую обычно привлекали к подобным работам, не имела в своем составе рабочих с опытом выполнения задач в здании опытной реконверсии.

Решение членов специальной бригады использовать реактор-осадитель вместо буферной емкости, в нарушение внутренней процедуры, было согласовано с начальником группы планирования, который непосредственно занимался составлением и утверждением программы работ для 9-й кампании. Еще один немаловажный момент, начальник группы планирования был по совместительству главным специалистом по ядерному топливу на заводе. 29 сентября, в обеденное время, помощник бригадира специальной бригады встретился с начальником группы планирования и предложил использовать для гомогенизации раствора UNH реактор-осадитель вместо буферной емкости. Немного подумав, начальник группы планирования одобрил это изменение в процедуре. Согласно его показаниям комиссии по расследованию аварии, он по ошибке полагал, что в здании опытной реконверсии используется уран с обогащением 5% (как в основных производственных цехах), хотя программа была составлена для переработки порошка U_3O_8 с обогащением 18.8% (среднеобогащенный уран постоянно использовался в модернизированном здании опытной реконверсии с 1986 года).

Решение рабочих использовать реактор-осадитель вместо буферной емкости в процессе гомогенизации 40 литров раствора UNH (16.8 кг урана, при нормативной предельной массе урана в единичной производственной емкости 2.4 кг) было определено несколькими факторами:

- Программа реорганизации и сокращения персонала JCO привела к тому, что к 1996 году из специальной бригады выбыл последний работник, который имел опыт работы на оборудовании здания опытной реконверсии.
- Рабочие специальной бригады самостоятельно не смогли разобраться в процедуре гомогенизации раствора UNH, которая описывала использование буферной емкости для этих целей. Им было неясно, как установить временную пластиковую трубу к сливному крану в нижней части буферной емкости. Сам кран располагался на расстоянии 10 см от пола, что делало невозможным заполнение пластиковых четырехлитровых бутылей.

- Наличие временных трубопроводов, а также использование нержавеющей ведер для растворения порошка U_3O_8 усиливало у рабочих представление о "временном" характере процедуры. Следуя принципам "кайдзена" (постоянное совершенствование на основе непрерывных изменений) рабочие сформулировали улучшения к действующей процедуре гомогенизации раствора UNH.
- Помощник бригадира (13 лет стажа в производственном цехе № 1) предложил использовать для гомогенизации раствора UNH реактор-осадитель, что было проще и быстрее. Не требовалось устанавливать временную систему трубопроводов для перемешивания раствора через циркуляцию и барботаж азотом, временную пластиковую трубу на слив в нижней части буферной емкости. Реактор-осадитель имел внутренний винт для перемешивания раствора, в него легко можно было залить раствор UNH с помощью лабораторного стакана. Кран для слива располагался на расстоянии 1 м от пола, позволяя заливать раствор сразу в пластиковые бутылки. Реактор-осадитель было легче промыть и подготовить к использованию.
- В процедуре гомогенизации раствора UNH в буферной емкости детально рассматривалось, как приготовить качественный продукт, при этом отсутствовали какие-либо указания по ядерной безопасности и контролю критичности. Реактор-осадитель не имел предупреждающего плаката об отсутствии безопасной геометрии по контролю критичности для данной емкости и угрозы возникновения СЦР при нарушении требования предельной массы урана в емкости (2.4 кг).
- Рабочие специальной бригады не имели нужных знаний по ядерной безопасности, включая условия возникновения критичности: предельная масса и обогащение урана, концентрация раствора UNH, геометрия производственных емкостей. В 7-ю и 8-ю кампании не менее 16 кг урана заливалось в буферную емкость в ходе гомогенизации раствора UNH, поэтому рабочие не видели проблем в использовании для этих целей реактора-осадителя.
- Рабочие спешили побыстрее закончить все работы в здании опытной реконверсии. Это было вызвано крайне тяжелыми рабочими условиями. Кроме этого, работы по приготовлению раствора UNH воспринимались специальной бригадой как второстепенными к их основным обязанностям в производственных цехах, к которым они спешили вернуться. Также на 1 октября, дополнительно к работам по приготовлению раствора UNH, был запланирован ввод в специальную бригаду 3 новых рабочих. Рабочие специальной бригады рассчитывали провести обучение новичков полному циклу переработки отходов производства UO_2 в цехах № 1 и 2 (в JCO основной формой подготовки было принято обучение на рабочих местах).

Перечисленные выше недостатки внешнего и внутреннего контроля и надзора сыграли решающую роль в формировании и развитии низкой культуры ядерной безопасности при производстве раствора UNH, которая определялась следующими требованиями, методами и принципами.

Требования

- Нормативные требования в области ядерной безопасности и контроля критичности при производстве раствора UNH не были четко определены или отсутствовали в лицензии, выданной регулируемыми органами на проведение работ в здании опытной реконверсии (вопросы высокой концентрации урана в растворе UNH, вопросы гомогенизации отдельных партий раствора UNH, вопросы небезопасной геометрии реактора-осадителя).
- Нормативные требования в области ядерной безопасности либо не были отражены в производственной документации, либо воспринимались персоналом как требования обеспечения качества.
- Нормативные требования в области ядерной безопасности не были должным образом доведены до персонала завода и недостаточно освещались в ходе ежегодной подготовки.
- Отсутствовал надлежащий внешний и внутренний контроль и надзор за соблюдением требований в области ядерной безопасности при производстве раствора UNH в здании опытной реконверсии.
- Отсутствовали меры по коррекции нарушений нормативных требований в области ядерной безопасности в условиях "нормализации" техническим руководством завода отклонений от лицензированного процесса производства раствора UNH в здании опытной реконверсии.

Методы

- Практика отклонений от утвержденных процедур персоналом завода для повышения эффективности производства.
- Практика санкционирования и поощрения техническим руководством отклонений от утвержденных процедур без должного анализа вопросов ядерной безопасности.
- Практика сокращения сложных для персонала вопросов ядерной безопасности при обучении и компенсация через "следование процедурам".

- Практика обучения новичков на рабочих местах без отрыва от производства (передача низкой культуры ядерной безопасности опытными рабочими).
- Практика переноса контрольных и надзорных функций в области обеспечения безопасности (включая ядерную) на исполнителей.

Принципы

- Фокус на клиенте: удовлетворение потребностей Заказчика (гомогенизация поставляемого раствора UNH при отсутствии разрешения регулятора).
- Непрерывные изменения: постоянный поиск любых возможностей для повышения производительности труда (отклонения от лицензионного процесса без согласования с регулятором).
- Делегирование полномочий в принятии решений, направленных на повышение производительности труда (крайне опасно при отсутствии у исполнителей должной подготовки в ядерной безопасности).
- Самоконтроль: регулярный анализ и корректировка своей деятельности (очевидно, что любой самоконтроль должен опираться на внешние формы контроля и надзора).

Заключение

Анализ аварии на заводе JCO 30 сентября 1999 года позволяет высветить определяющую роль внешнего и внутреннего контроля и надзора в обеспечении безопасности, в формировании и поддержании должной культуры безопасности.

Авария стала следствием общей практики отклонений и нормализации нарушений производственных процедур, утвержденных регулирующим органом, в условиях отсутствия должного внешнего контроля и надзора за производством раствора UNH в здании опытной реконверсии.

Один из уроков, который можно извлечь из аварии на заводе JCO, состоит в том, что нельзя обеспечить безопасность производства, делая акцент лишь на отдельных ее элементах (см. рис. 4).

На заводе JCO были созданы эффективные процессы обеспечения качества поставляемой продукции и БТиОЗ. При этом вопросам ядерной безопасности не уделялось должного внимания, следствием чего стала авария с возникновением СЦР. Не были четко определены необходимые требования, методы и принципы для обеспечения ядерной безопасности в ходе производства раствора UNH и его гомогенизации. Они не были в

полной мере отражены в рабочих документах, доведены до всего персонала. Отсутствовал надлежащий контроль и надзор за их соблюдением в процессе производства.

Действия исполнителей, которые привели к возникновению критичности, явились лишь следствием многочисленных латентных недостатков и нарушенных барьеров в обеспечении ядерной безопасности, включая слабости и недостатки внешнего и внутреннего контроля и надзора. Невозможно достичь высокой культуры ядерной безопасности при низкой культуре контроля и надзора.



Рисунок 4. Основные элементы системы управления безопасностью на заводе JCO.

Уроки аварии на заводе JCO важно учесть при внедрении на предприятиях и в организации «Росэнергоатом» Производственной системы «Росатом» (ПСР), в основу которой были положены принципы "кайдзен" [17]. Решение задач повышения эффективности производства предприятий атомной отрасли через уменьшение непроизводственных потерь, повышения прибыли и конкурентоспособности через снижение продажной цены, которые поставлены перед ПСР [17], должно обязательно опираться на системный подход к обеспечению безопасности, в котором мы имеем установленные и контролируемые процессы оценки всех рисков для безопасности (включая ядерную) предлагаемых улучшений (изменений) как на стадии рассмотрения,

так и на стадии их реализации. Следует помнить, как постоянное стремление к повышению эффективности производства и прибыли, когда риски ядерной безопасности надлежащим образом не оценивались, а должный контроль и надзор отсутствовали, привели к трагическому событию на заводе JCO [7].

Литература

1. Машин В.А. Формирование и развитие культуры безопасности: ТМП подход // Электрические станции. 2016, № 8. С. 2-9.
2. Vaughan D. The Challenger launch decision: Risky technology, culture, and deviance at NASA. Chicago: University of Chicago Press, 1996. P. 575.
3. IAEA. Report on the preliminary fact finding mission following the accident at the nuclear fuel processing facility in Tokaimura, Japan. IAEA, Vienna. Nov 1999. P. 35.
4. NRC. Review of the Tokai-mura criticality accident. 2000. P. 22.
5. Маклафлин Т.П., Монахан Ш.П., Прувост Н.Л., Фролов В.В., Рязанов Б.Г., Свиридов В.И. Обзор ядерных аварий с возникновением СЦП. Отчет Лос-Аламосской национальной лаборатории LA-13638-TR. 2003. С. 64-67.
6. IAEA. Lessons learned from the JCO nuclear criticality accident in Japan in 1999. IAEA, Vienna. Apr 2009. P. 83.
7. Tsuchiya S., Tanabe A., Narushima T., Ito K., Yamazaki K. An Analysis of Tokaimura nuclear criticality accident: A systems approach // Proceedings of the 19th International Conference of the system dynamics society. July 23 - 27, 2001, Atlanta, Georgia, USA. 2001. P. 10.
8. Tsuchiya S., Ito K., Sato M. High-leverage changes to improve safety culture: A systemic analysis of major organizational accidents // Proceedings of the 20th International Conference of the System Dynamics Society, July 28 - August 1, 2002, Palermo, Italy. 2002. P. 13.
9. Taylor R.H., Rycraft H.S. Learning from disasters // Proceedings of an international conference on topical issues in nuclear installation safety: continuous improvement of nuclear safety in a changing world. Beijing, China, 18–22 Oct 2004. IAEA, 2006. P. 138-140.
10. Sasou K., Goda H., Hirotsu Y. Human factor analysis on criticality accident // Proceedings of the 5th Nuclear Energy Symposium, Beijing, China, 27-29 March. 2000. P. 155-171.

11. Watanabe N. Study on analysis of incidents and accidents at nuclear installations. 2014. P. 279.
12. Mahaffey J. Atomic accidents. A history of nuclear meltdowns and disasters: From the Ozark Mountains to Fukushima. 2014. P. 346.
13. UNC Recovery Systems. Compliance investigation report. Volume 1: Report Details. 1964. P. 137.
14. Furuta K., Sasou K., Kubota R., Ujita H., Shuto Y., Yagi E. Human factor analysis of JCO criticality accident // Cognition, Technology & Work. 2000. No 2. P. 182-203.
15. МАГАТЭ. Основопологающие принципы безопасности. Основы безопасности. Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № SF 1. 2007, С. 34.
16. МАГАТЭ. Система управления для установок и деятельности. Требования безопасности. Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № GS-R-3. 2008, С. 45.
17. Производственная система «Росатом» // РЭА Росэнергоатом, 2011. №1, С. 1-59.