

УДК 621.039.58
© 2003

**СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И ДИНАМИКА ПОСТУПЛЕНИЯ
РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ
ИЗ ИСТОЧНИКОВ КОМПЛЕКСА РТ ЗА ПЕРИОД 1977–2000 гг.**

*Ю.В. Глаголенко, С.И. Ровный, Н.П. Пятин, К.Н. Страшевский,
В.Д. Ушаков, А.П. Паздников, Н.И. Мистрюков
Россия, г. Озерск, ПО «Маяк»*

Приведено краткое описание действующей на заводе по переработке отработавшего ядерного топлива (комплекс РТ) ПО «Маяк» системы контроля мощности выбросов в атмосферу радиоактивных веществ. Представлены основанные на результатах контроля данные о динамике поступления в атмосферный воздух ряда радионуклидов за период с 1977 по 2000 гг. Проведен анализ причин изменения мощности выбросов. Отмечено, что в первое десятилетие деятельности комплекса РТ значения мощности выбросов подвергались существенным колебаниям, в дальнейшем выбросы в атмосферу радиоактивных веществ источниками комплекса РТ были существенно снижены и стабилизированы на достигнутом уровне.

Бурное развитие атомной энергетики в 1960–1970-е гг., создание атомного флота и научно-исследовательских реакторов вплотную поставили проблему обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ). В России, как и в ряде других промышленно-развитых стран, решение этой проблемы предполагается в рамках концепции замкнутого топливного цикла. Эта концепция предусматривает регенерацию ОЯТ с целью повторного использования делящихся материалов и утилизацию всех видов радиоактивных отходов с получением отвержденных материалов, пригодных для длительного хранения или захоронения.

В целях реализации концепции замкнутого топливного цикла на ПО «Маяк» в 1977 г. был введен в эксплуатацию завод по переработке ОЯТ (завод РТ), обеспечивающий переработку отработавшего топлива реакторов ВВЭР-440, БН-600, транспортных и научно-исследовательских реакторов. Завод РТ создавался на базе радиохимического производства, существующего на предприятии с первых дней его работы.

Строительство комплекса РТ осуществлялось в два этапа. Первая очередь завода рассчитана на переработку топлива реакторов ВВЭР-440 (60–70 т/год по урану). В рамках создания первой очереди решались также вопросы регенерации ОЯТ на основе высокообогащенного урана. Ввод в эксплуатацию второй очереди комплекса РТ позволил повысить мощность переработки по топливу ВВЭР-440 до 150–200 т/год [1], и обеспечить утилизацию высокоактивных отходов (ВАО), что было достигнуто с пуском установки по упариванию ВАО и последующему их отверждению методом остекловывания.

Технически комплекс РТ представляет три независимые технологические цепочки регенерации ОЯТ, на которых осуществляются однотипные операции по регенерации ОЯТ. Образующиеся в процессе регенерации жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) в начальный период работы завода подвергались временному хранению с обеспечением безопасности в специальных емкостях. В последующем были решены вопросы локализации ЖРО

в твердых матрицах, пригодных для длительного хранения.

Используемая на комплексе РТ технология обеспечивает, в процессе переработки ОЯТ, вывод из технологического процесса самого широкого спектра продукции: диоксид энергетического плутония-239 (поступает на временное хранение на склад); плав гексагидрата нитрата уранила (направляется на изготовление топлива реакторов РБМК); окись-закись урана среднего и высокого обогащения (поступает на склад и частично используется для изготовления топлива реакторов БН-600 и БН-350); диоксид нептуния-237 (используется для реакторного получения Pu-238); диоксид плутония или смешанные диоксиды плутония и урана (используются для экспериментального топлива быстрых реакторов); концентраты стронция, цезия, технеция и др. (для технического использования и исследовательских целей); фосфатное стекло с фиксированными отходами высокого уровня активности [1].

Таким образом, технология обращения с ОЯТ, используемая на заводе РТ, позволяет эффективно замкнуть топливный цикл по «вторичному» урану и обеспечить надежное хранение образующихся в процессе работы ТРО и ЖРО различной степени активности [1].

Однако в течение всего технологического процесса, осуществляемого на заводе РТ, помимо жидких и твердых образуются также газообразные радиоактивные отходы (радиоактивные газы и аэрозоли), являющиеся источником загрязнения окружающей среды.

Под радиоактивными аэрозолями подразумевается аэродисперсная система (газообразная среда и твердая или жидкая дисперсная фаза), в которую, как часть, входят радиоактивные вещества. Аэрозоль является системой неустойчивой и изменяется в зависимости от физических условий (температуры, давления, наличия ядер конденсации и т.д.). Агрегатное состояние радиоактивных изотопов, присутствующих в системе, обусловлено физико-химическими характеристиками соединений, в которые они включены. В соответствии с эти-

ми характеристиками радиоизотопы можно условно разделить на три группы:

1. Группа изотопов, всегда устойчивых в интервале «источник образования – атмосфера». Сюда относятся инертные газы (ксенон, криптон, аргон), а также углерод. Эти изотопы присутствуют в газообразной среде (газ).
2. Группа изотопов, соединения которых достаточно устойчивы и обладают низкой упругостью пара. В интервале «источник образования – атмосфера» эти изотопы всегда входят в дисперсную фазу аэрозоля, т.е. находятся в виде частиц. К этой группе относятся соли стронция, церия, циркония и т.д.
3. Группа изотопов, которые могут находиться как в дисперсной фазе, так и в газовой среде, причем это распределение весьма неустойчиво и сильно зависит от физико-химических условий. В эту группу входят йод, рутений, сурьма и т.д.

Характерной особенностью радиоактивных аэрозолей, образующихся на заводе РТ в процессе осуществления технологических операций, является то, что все они, за исключением криптона-85, относятся ко второй и третьей группе из вышеперечисленных. Непосредственно процессы, приводящие к образованию на РТ больших объемов воздуха, содержащего радиоактивные аэрозоли, аналогичны процессам образования, присутствующим на любом производстве ядерно-химического комплекса. Они подробно и многократно описаны в соответствующей литературе и в данной статье не рассматриваются.

Поступление радиоактивных веществ (выброс) в атмосферу на комплексе РТ производится по двум каналам: с вытяжным вентиляционным воздухом из помещений I–III зон и с технологическими сдувками. При этом объемные активности радиоактивных веществ в газовой смеси (особенно во втором случае) могут достигать значительных величин. Поэтому поступление такого воздуха непосредственно в атмосферу недопустимо по соображениям экологической безопасности.

Обеспечение приемлемой объемной активности радиоактивных веществ в выбрасываемом воздухе достигается в процессе его глубокой очистки на газоочистном оборудовании.

Системы газоочистки завода РТ разрабатывались и вводились в эксплуатацию одновременно с пуском основного технологического оборудования комплекса и представляют собой набор соответствующих аппаратов и фильтров, позволяющих осуществлять очистку загрязненного воздуха от всех образующихся в процессе работы завода радиоактивных веществ.

Принцип действия конкретных используемых аппаратов, их количество, набор и последовательность в цепочках газоочистки зависят от конкретных физико-химических характеристик подвергающейся очистке газовой смеси (температура, влажность, наличие агрессивных химических веществ и т.д.), свойств (агрегатное состояние, дисперсность и т.д.) и объемных активностей радиоактивных веществ, по которым производится очистка. Однако необходимо учитывать, что технически невозможно и экономически невыгодно осуществить полную очистку от радиоактивных аэрозолей газовой смеси. Реально системы газоочистки комплекса РТ обеспечивают коэффициенты очистки в пределах от 10^3 до 10^6 .

Таким образом, в результате деятельности завода РТ в атмосферный воздух поступает некоторое количество радиоактивных аэрозолей, что может оказывать определенное влияние на экологическую обстановку в районе расположения ПО «Маяк».

Целью данной статьи является анализ величины и динамики поступления радиоактивных веществ, образующихся в результате деятельности завода РТ, в атмосферный воздух, т.е. мощности и состава выбросов.

Системы удаления газовой смеси, обслуживающие технологическое оборудование и помещения завода РТ можно условно разделить на две группы: общеобменные вентиляционные системы и системы технологических сдувок (технологические вытяжные системы).

Воздух общеобменных систем характеризуется низкими температурами ($20-25^{\circ}\text{C}$), влажностью близкой к нормальной. Для технологических сдувок, в отличие от общеобменных, характерны меньшие объемы удаляемой газовой смеси, высокая ее температура и влажность, более высокая концентрация радиоактивных веществ и наличие агрессивных химических соединений. В связи со значительными различиями в физико-химических свойствах газовой смеси общеобменных и технологических систем очистка и выброс ее в атмосферу осуществляется отдельно (вентиляционные выбросы и технологические выбросы).

Вентиляционный воздух из помещений I, II и, частично, III зон поступает в атмосферу через полость большой трубы высотой 150 м и диаметром устья 5,5 м. Туда же, наряду с вентиляционным воздухом, поступают сдувки дыхания и пульсационного воздуха экстракционных отделений. Непосредственно в полости указанной трубы расположена изготовленная из нержавеющей стали труба высотой 150 м и диаметром 0,8 м, через которую в атмосферу поступают сдувки основного технологического оборудования комплекса РТ [2]. Таким образом, на заводе РТ действует два основных источника выбросов загрязняющих атмосферу радиоактивных веществ: источник выброса газовой смеси технологических систем (обозначается Т) и источник выброса газовой смеси общеобменных вентиляционных систем (обозначается В).

Для оценки экологической опасности и своевременного обнаружения нарушений в работе основного технологического оборудования или систем газоочистки, с самого начала деятельности завода РТ осуществляется контроль над величиной и нуклидным составом выбросов радиоактивных веществ в атмосферу. Основной контролируемой величиной с точки зрения радиологического контроля является суммарная величина выброса радиоактивных веществ в единицу времени (т.е. мощность выброса), а также величина выброса отдельных, наиболее опасных изотопов.

В общем случае, и на заводе РТ в частности, контроль мощности и нуклидного состава выбросов включает в себя три основных этапа: отбор проб аэрозолей из контролируемых венсистем, измерение полученных проб на радиометрической и спектрометрической аппаратуре и расчет мощности выбросов радиоактивных веществ на основании результатов измерения проб.

Для осуществления полноценного контроля мощности выброса радиоактивных веществ и своевременного обнаружения нарушений в работе технологического и газоочистного оборудования, контроль над величиной выброса завода РТ осуществляется непрерывно. Требованию непрерывности контроля удовлетворяет непрерывный интегрирующий отбор проб аэрозолей с последующим измерением их активности. При интегрирующем пробоотборе с периодическими измерениями активности проб показания прибора (N) пропорциональны интегралу от измеряемой величины (Q), то есть:

$$N(t) = \int_{t'}^t Q(t') dt',$$

Такой тип контроля осуществляется путем непрерывной прокачки части газовой смеси из газопроводов венсистем комплекса РТ через устройства, полностью улавливающие аэрозольную фазу и накапливающие (интегрирующие) активность, которая периодически измеряется.

Отбор проб из газовой смеси непосредственно в газопроводе практически невозможен, поэтому пробы отбираются через пробоотборные трубки. Поскольку при отборе пробы и транспортировке ее к улавливающему элементу физико-химические характеристики радиоактивных веществ и параметры газа могут изменяться, то должна обеспечиваться представительность пробы, т.е. концентрация отдельного изотопа в пробе должна соответствовать концентрации этого изотопа в газопроводе.

Основными факторами, влияющими на представительность проб, являются:

- непостоянство концентраций радиоактивных аэрозолей по сечению газопровода, из которого отбирается проба;
- анизокинетичность пробоотбора;
- изменение физических характеристик газа в системе газопровод–пробоотборная схема;
- осаждение в пробоотборных трубках;
- негерметичность пробоотборных трубок и пробоотборной схемы.

С учетом этих факторов удельная концентрация радиоактивных аэрозолей в газопроводе q_r связана с удельной концентрацией в отобранной пробе $q_{пр}$ следующим соотношением:

$$q_r = q_{пр} \cdot k_{ос} \cdot k_{тп} \cdot k_{н} \cdot k_p,$$

где $k_{ос}$ – коэффициент осаждения в пробоотборной трубке;

$k_{тп}$ – коэффициент, учитывающий изменение физических параметров газа (температура, давление, влажность);

$k_{н}$ – коэффициент, учитывающий отклонение условий пробоотбора от изокинетичности;

k_p – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения концентрации радиоактивных веществ по сечению газопровода.

Следует отметить, что для обеспечения полноты контроля мощности выбросов и работы газоочистного оборудования, отбор проб радиоактивных аэрозолей на заводе РТ осуществляется из газопроводов всех общеобменных и технологических систем по отдельности, до и после газоочистки и непосредственно перед поступлением газовой смеси в выбросную трубу. Поэтому физико-химические характеристики исследуемого газового потока и условия отбора проб существенно различаются. Значит влияние на представительность проб тех или иных из вышеперечисленных факторов и их вклады в суммарную поправку различны. Соответственно и способы их определения, учета и устранения, используемые в каждом конкретном случае, различны.

Во избежание ошибок за счет неравномерного распределения радиоактивных аэрозолей по сечению газопровода пробоотборная трубка

устанавливается так, чтобы ее входное отверстие находилось в точке со средней скоростью газового потока.

Пробоотборные трубки располагаются на прямолинейных участках газоходов, на значительном удалении от задвижек, дросселей, диффузоров и вентиляторов параллельно течению газа в газоходе навстречу газовому потоку. Изакинетический пробоотбор характеризуется равенством линейных скоростей в газоходе и заборной трубке. Соблюдение условия изакинетичности пробоотбора достигается путем правильной установки пробоотборной трубки (навстречу и параллельно газовому потоку) и выбором диаметра носика заборной трубки. Объемная скорость прокачки воздуха через носик пробоотборной трубки, удовлетворяющая условию изакинетического пробоотбора, определяется как:

$$v = 0,047 \cdot W_r \cdot d_n^2,$$

где v – скорость отбора пробы при рабочих условиях, л/мин;

W_r – линейная скорость газа в газоходе при рабочих условиях, м/с;

0,047 – коэффициент, учитывающий соотношение размерностей.

При соблюдении указанных условий поправкой на отклонение условий пробоотбора от изакинетичности пренебрегают. Если же условия изакинетичности не соблюдаются, то поправка определяется экспериментально путем параллельного отбора проб с соблюдением и без соблюдения условий изакинетичности.

Однако экспериментальным путем установлено, что отклонение от принципа изакинетичности допустимо для аэрозолей с размером частиц 1 мкм и менее, которые и преобладают в выбросах завода РТ. Поэтому некоторыми отклонениями в правильности установки пробоотборных трубок, обусловленными практическими трудностями в условиях действующего производства, можно пренебречь.

Учет изменений физических параметров газовой смеси, происходящих при транспортировке газа от газохода к пробоот-

борной схеме, производится путем приведения параметров газа пробоотборной системы к параметрам газа в газоходе или приведением газа в газоходе и пробоотборной системе к идентичным нормальным условиям. Но в большинстве случаев на комплексе РТ в этом нет необходимости, там же, где требуется достижение определенных физических параметров газовой смеси, используются различные технические устройства (холодильники, нагреватели и т.д.).

Осаждение в пробоотборных трубках вносит основную неопределенность при определении концентрации радиоактивных аэрозолей. Осаждение зависит от множества факторов: диаметра и плотности частиц аэрозоля, скорости газового потока, диаметра и состояния внутренней поверхности трубок, их длины и конфигурации, температуры газа и стенок трубок.

Для снижения осаждения радиоактивных аэрозолей в пробоотборных трубках на заводе используется целый комплекс общепринятых мер. Пробоотборные системы монтируются на основе по возможности коротких металлических трубок с диаметром сечения 10–30 мм. Трубки не имеют острых углов, сужений и других препятствий, а также максимально уменьшена длина горизонтальных участков, хотя полностью избежать их наличия практически не удалось. К уменьшению осаждения приводит и обогрев стенок трубок выше температуры проходящего в них газа.

При постоянном, очень высоком влагосодержании газовой смеси, осаждение сводится к минимуму посредством конденсации пара в трубке и смывом осажженной на стенках активности. В этом случае пробоотборная система имеет сборник конденсата.

Также осаждение радиоактивных аэрозолей в пробоотборных трубках снижается за счет создания высоких скоростей газового потока. Однако в этом случае может возникнуть турбулентность потока, что недопустимо. Характеристикой турбулентности или ламинарности служит число Рейнольдса Re . Считая $Re = 1200$ границей турбулентного и ламинарного

потоков, максимальную скорость отбора пробы получают из соотношения:

$$v \text{ (см}^3/\text{с)} = 150 \cdot d_{\text{мп}} \text{ (см)},$$

где $d_{\text{мп}}$ – диаметр пробоотборной трубки;
 v – скорость отбора пробы.

Следующей важнейшей стадией контроля мощности выбросов является процесс улавливания аэрозольной составляющей из отобранной из газохода газоаэрозольной смеси. Данная операция осуществляется на устанавливаемых в пробоотборной схеме фильтрующих элементах (фильтрах). Фильтры, используемые при пробоотборе, должны обладать целым рядом определенных свойств, таких как наиболее полное улавливание радиоактивных аэрозолей, влагуустойчивость, определенная устойчивость к агрессивным химическим средам, отсутствие проскока аэрозоля и в то же время малое сопротивление газовому потоку. Всем этим требованиям удовлетворяют фильтры из ткани Петрянова АФА-РМП-20 или ФМС на основе стеклокартона, которые и используются на РТ для отбора проб радиоактивных аэрозолей.

Однако подлежащие контролю выбросы завода РТ значительно различаются по физическим характеристикам. Условно их можно разбить на три группы:

- выбросы, имеющие невысокую температуру (20–25 °С) и относительную влажность менее 100% с различной весовой концентрацией сухого аэрозоля;
- выбросы с температурой 20–50 °С, с переменной относительной влажностью, наличием тумана или капельной влаги с невысокой (менее 3 мг/м³) весовой концентрацией;
- выбросы с температурой 30–100 °С, высокой (около 100%) относительной влажностью и наличием тумана высокой весовой концентрации.

В связи с этим невозможно использовать единую универсальную схему отбора проб аэрозолей, и действующие на заводе схемы пробоотбора состоят из различных элементов и

различаются режимами работы. Рассмотрим подробнее их основные варианты применительно к вышеизложенной классификации групп выбросов.

Для первой группы используется простейшая схема отбора проб, состоящая из фильтродержателя и измерителя расхода газа, проходящего через пробоотборную схему.

При фильтрации влажных аэрозолей (вторая группа) для устойчивой работы аналитических фильтров без повышения сопротивления, проводится предварительная подготовка газа, обеспечивающая снижение его влажности. Снижение влажности необходимо и для обеспечения полноты улавливания аэрозоля аналитическими фильтрами, так как при фильтрации влажных аэрозолей увеличивается проскок аэрозольных частиц через фильтр.

Снижение влажности достигается путем предварительной конденсации влаги в пробоотборных трубках за счет естественной разницы температур газа в газоходе и воздуха в помещении, где расположена пробоотборная трубка, со сбором конденсата в сборнике конденсата. Для предотвращения намочения аналитических фильтров газ в фильтродержателе обогревается не менее чем на 15 °С выше температуры поступающего в фильтродержатель газа.

При работе с третьей группой выбросов для снижения температуры до 20–25 °С необходимо охлаждение газа в холодильнике, расположенном перед сборником конденсата. Конденсат из холодильника собирается в сборнике конденсата, размеры которого выбираются исходя из влагосодержания газа. После сборника конденсата газ подогревается либо в специальном подогревателе, либо в фильтродержателе. Температура газа на фильтродержателе устанавливается на уровне не менее чем на 20 °С выше, чем на выходе из сборника конденсата. Обеспечение наиболее полного улавливания радиоактивных аэрозолей достигается, в том числе, и путем установки в фильтродержатели двух, трех аналитических фильтров последовательно для каждой из вышеперечисленных схем.

При осуществлении непрерывного интегрирующего пробоотбора смена фильтров производится ежесуточно. Однако при контроле части общеобменных венсистем с очень низкой концентрацией радиоактивных аэрозолей в воздухе, замена фильтров производится ежедекадно.

Измерению подлежат все фильтры и конденсат, собранный за время отбора. В ходе измерений определяется суммарная альфа-активность проб, суммарная бета-активность проб и нуклидный состав проб.

Измерение суммарной альфа-активности проб производится на установке со сцинтилляционным детектором, при этом каждый фильтр измеряется отдельно, а суммарная активность определяется по формуле:

$$A_{\alpha} = \sum_{i=1}^n A_i,$$

где n – количество фильтров при пробоотборе.

При измерении альфа-активности вводится поправка на поглощение излучения в слое осадка и ткани фильтра. Погрешность определения поправки составляет $\pm 30\%$.

При определении суммарной бета-активности пробы производится измерение всех фильтров из одного фильтродержателя сразу. Измерение суммарной бета-активности производится на установке с торцевым счетчиком. Точность измерения суммарной бета-активности составляет $\pm 20\%$.

Способ определения активности собранного конденсата зависит от величины удельной активности и объема собранного конденсата.

В случае высокой удельной активности конденсата из начального объема v_0 берутся три параллельные пробы, переносятся на мишень и выпариваются под термолампой. Активность конденсата A_k определяется как

$$A_k = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3} \cdot \frac{v_0}{v_n},$$

где A_1, A_2, A_3 – активность каждой мишени; v_n – объем конденсата, нанесенного на одну мишень.

При малой удельной активности конденсата проводится предварительное его упаривание (с добавлением азотной кислоты) до объема 1–2 мл, затем он переносится на мишень и упаривается досуха под термолампой.

В случаях очень больших объемов конденсата, собираемых за время отбора пробы, из начального объема v_0 берется проба объемом v_n , упаривается до объема 1–2 мл, переносится на мишень и упаривается под термолампой. Полная величина активности конденсата A_k определяется как:

$$A_k = A_1 \cdot \frac{v_0}{v_n},$$

где A_1 – активность конденсата на мишени.

Исходя из полученных результатов измерений фильтров и конденсата среднесуточная концентрация аэрозолей q определяется по следующей формуле:

$$\bar{q} = \frac{A_{\phi} + A_k}{v \cdot T \cdot \epsilon} \cdot k_{oc} \cdot k_{tp} \cdot k_n,$$

где A_{ϕ}, A_k – активность, измеренная на фильтрах и в конденсате;

$v \cdot T$ – объем газа, прошедшего через пробоотборную схему за время T (погрешность определения v достигает $\pm 10\%$);

ϵ – эффективность улавливания.

Суточная мощность выброса радиоактивных аэрозолей Q определяется по формуле:

$$Q = \bar{q}_a \cdot V,$$

где \bar{q}_a – среднесуточная концентрация аэрозолей;

V – расход газа.

С учетом всех присутствующих на всех этапах контроля погрешностей и неточностей, суммарная погрешность определения мощности выброса альфа-активных аэрозолей составляет $\pm 42\%$, а бета-активных аэрозолей – $\pm 28\%$.

После измерения альфа- и бета-активности фильтры и пробы конденсата складываются. Определение изотопного состава радиоактивных аэрозолей производится один раз в месяц по суммарной месячной пробе.

При большом объеме суммарной пробы фильтры предварительно сжигаются и озольются в муфельной печи, а конденсат упаривается до объема 50 мл. Зола фильтров, как и пробы конденсата, наносятся на алюминиевую мишень, или помещаются в алюминиевую (стеклянную) чашку. Определение изотопного состава проб производится на гамма-спектрометре. Определение стронция-90 осуществляется радиохимическим выделением его из пробы с последующим радиометрическим измерением бета-активности.

Среднесуточная концентрация q_i отдельного изотопа определяется по формуле:

$$q_i = \frac{A_i}{v},$$

где A_i — измеренная в суммарной пробе активность изотопа;

v — суммарный объем прокачанного через измеряемые фильтры газа.

Мощность выброса отдельных изотопов определяется аналогично мощности выброса суммы альфа-, бета-активности. Погрешность определения мощности выброса отдельных изотопов обусловлена в основном погрешностью определения величины активности гамма-спектрометрическим методом и может колебаться в больших пределах.

Таким образом, на заводе РТ с самого начала его деятельности действует достаточно эффективная и всеобъемлющая система контроля мощности выбросов радиоактивных веществ в атмосферу, которая основана на богатейшем опыте эксплуатации подобных систем на других производствах ФГУП ПО «Маяк». Данная система позволяет уверенно и оперативно осуществлять контроль работы газоочистных систем, определять мощности выбросов радиоактивных веществ в атмосферу в условиях как нормальной, так и аварийной работы основного технологического или газоочистного оборудования и своевременно локализовать источники повышенного поступления радиоактивных веществ в атмосферный воздух.

Представленные в статье данные о мощности выбросов радиоактивных веществ в ат-

мосферу комплексом РТ основаны именно на результатах измерений, полученных в ходе эксплуатации указанной системы.

С апреля 1977 г. начала работать на реальном продукте первая очередь завода РТ, что, соответственно, привело к появлению радиоактивных веществ в газовой смеси, поступающей через трубу в атмосферный воздух. При этом выбросы комплекса явились значимой составляющей суммарных по предприятию выбросов. Так, мощность выброса в атмосферу суммарной активности альфа-излучающих нуклидов (СААИН) в начальный период деятельности завода РТ составляла до 40% от общего по предприятию выброса, а суммарной активности бета-излучающих нуклидов (САБИН) — до 10%. Аналогичная картина наблюдалась и в отношении выбросов отдельных радионуклидов.

На диаграммах (рис. 1–6) представлена динамика изменения мощности выбросов в атмосферу радиоактивных веществ комплексом РТ за весь период его деятельности. Сразу следует оговориться, что здесь приведены данные о выбросах только наиболее радиационно-опасных нуклидов и нуклидов, характеризующих работу основного технологического и газоочистного оборудования комплекса. При этом под суммарной активностью альфа-излучающих нуклидов (СААИН) консервативно понимается активность плутония-239, как наиболее радиотоксичного альфа-излучателя. Непрерывный контроль мощности выбросов рутения-106 был начат в 1981 г., а сурьмы-125 в 1987 г. До этого времени содержание указанных радионуклидов (как и ряда других) в газовой смеси вентсистем комплекса РТ определялось только в случаях регистрации системами оперативного контроля повышенных значений мощности выбросов.

Анализ представленных данных показывает, что мощность выбросов в атмосферу радиоактивных веществ комплексом РТ достигала наибольших величин в первое десятилетие его деятельности. В дальнейшем наблюдается существенное снижение и стабилизация мощности выбросов на достаточно низ-



Рис. 1. Динамика изменения мощности выброса СААИН в атмосферу комплексом РТ в 1977–2000 гг.



Рис. 4. Динамика изменения мощности выброса цезия-137 в атмосферу комплексом РТ в 1977–2000 гг.



Рис. 2. Динамика изменения мощности выброса САБИН в атмосферу комплексом РТ в 1977–2000 гг.



Рис. 5. Динамика изменения мощности выброса рутения-106 в атмосферу комплексом РТ в 1981–2000 гг.



Рис. 3. Динамика изменения мощности выброса стронция-90 в атмосферу комплексом РТ в 1977–2000 гг.

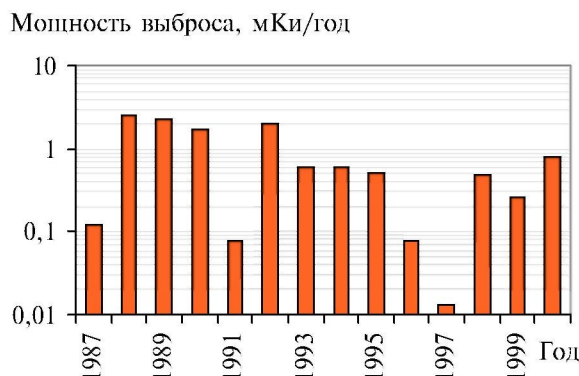


Рис. 6. Динамика изменения мощности выброса сурьмы-125 в атмосферу комплексом РТ в 1987–2000 гг.

ком (для такого производства) уровне. Причем сколь либо четкая зависимость между величиной выброса и объемом перерабатываемого ОЯТ прослеживается лишь в последние десять-пятнадцать лет работы завода.

Такая ситуация вызвана целым рядом причин. К наиболее существенным из них можно отнести следующие:

- возникающие в период освоения новой технологии и оборудования нештатные ситуации, приводившие к росту поступления радиоактивных веществ в системы вентиляции.
- большой объем ремонтных и наладочных работ, проводившихся как на основном технологическом, так и на газоочистном оборудовании в первое десятилетие работы комплекса.
- недостаточные объем и эффективность работы в реальных условиях эксплуатации установленного газоочистного оборудования, что особенно было заметно в периоды проведения ремонтных работ и возникновении нештатных ситуаций на технологическом оборудовании.

В дальнейшем, по мере освоения технологических процессов, устранения недостатков используемого оборудования и проведения целого комплекса мероприятий, направленных на подавление источников повышенного поступления радионуклидов в общеобменные и технологические вытяжные системы, выбросы существенно (до порядка величины) были снижены и стабилизированы на достигнутом уровне. Исключением является 1994 г., когда имела место нештатная ситуация на заводе РТ.

Рассмотрим динамику изменения мощности выбросов в атмосферу радиоактивных веществ комплексом РТ и причины их роста либо снижения более подробно. При этом в качестве «нормальной» будем считать среднегодовую мощность выбросов за период с 1989 по 2000 гг., исключая 1994 г., когда среднегодовые значения мощности выбросов достаточно стабильно оставались на низком уровне, не было отмечено каких либо серьезных

нештатных ситуаций, а объемы перерабатываемого ОЯТ были высоки.

В первый (1977) год работы комплекса можно отметить значимый, в сравнении с «нормальным», выброс в атмосферу СААИН [3], который обусловлен пусконаладочными работами в период освоения технологического процесса, что привело к загрязнению помещений первой зоны и, как следствие, росту выбросов по обслуживающим указанным помещения вентиляционным системам. При этом вклад вентиляционных выбросов в суммарные по заводу возросли с 2–12% до 33–67%.

Повышенное содержание СААИН в выбрасываемом в атмосферу воздухе имело место и в 1979 и 1980 гг. [3, 4]. Причины выбросов были связаны главным образом с загрязненными в начальные годы работы предприятия воздушными коммуникациями.

В 1980 г. существенно (в 8 раз относительно 1979 и в 200 раз относительно 1978 г.) возрос выброс САБИН. Такой рост мощности выброса был обусловлен частичной разгерметизацией технологического оборудования [5]. Действовавшей в то время на вентсистемах, обслуживавших указанное оборудование, одноступенчатой очистки воздуха на фильтрах ПФТС-1500Б оказалось явно недостаточно. Состав указанных выбросов в основном определялся радионуклидами стронций-90 и цезий-137 и практически соответствовал составу перерабатываемого топлива.

Следует отметить, что в 1980 г. в технологических выбросах комплекса РТ появился йод-131. Считалось, что его появление связано с началом использования в технологическом цикле регенерированной азотной кислоты, добавляемой в аппараты-растворители. Однако в дальнейшем было доказано, что источником его образования в ОЯТ ВВЭР-440 является процесс спонтанного деления трансурановых элементов, главным образом кюрия-244.

Существенный рост мощности выбросов в 1980 г. практически всех контролируемых радионуклидов активизировал разработку и проведение целого ряда мероприятий по по-

давлению и снижению поступления радиоактивных аэрозолей в атмосферу с выбросами завода РТ.

В частности, удалось добиться существенного снижения выбросов СААИН по вентсистемам, обслуживающих помещения первой и второй зон. Частичное покрытие пленкой, аккумулирующей загрязнение, коробов в вентцентре также способствовало снижению выбросов. Ликвидация свищей на технологическом оборудовании первой и второй ниток комплекса РТ, установка второй ступени аэрозольной очистки воздуха на основе фильтров ПФТС-1500Б позволили уже в 1981 г. почти в 10 раз снизить выбросы комплексом САБИН. Одновременно, почти в 3 раза снизился выброс стронция-90 и цезия-137.

Однако в 1982–1983 гг. выбросы как суммарной активности альфа-излучающих, так и суммарной активности бета-излучающих нуклидов по общеобменным вентсистемам комплекса РТ снова несколько возросли [4]. Основная причина этого роста была связана со старением вентиляционного оборудования, и, как следствие, снижением эффективности газоочистки. После замены вышедших из строя фильтров и отмывки ранее загрязненных систем выбросы нормализовались [4]. Установка в 1983 г. второй ступени очистки вентиляционного воздуха из каньонов выпарных аппаратов позволила в несколько раз снизить мощность выбросов САБИН. Модернизация систем газоочистки проводилась в 1983–1984 гг. [4].

В 1984 г. был проведен целый ряд мероприятий по снижению мощности выбросов как по технологическим, так и по общеобменным системам. В частности была смонтирована вторая ступень газоочистки на сдувках вентиляционного воздуха из камер химического пробоотбора; на линиях отсоса конденсата из фильтров ФАС были установлены более мощные эжекторы, что позволило улучшить схему отсоса накапливаемого конденсата и, соответственно, увеличить эффективность работы фильтров; был проведен целый ряд работ по устранению свищей на основном техноло-

гическом оборудовании комплекса РТ.

Все это позволило уже в 1985 г. значительно (на 20–50%) снизить мощность выбросов в атмосферу комплексом РТ практически всех радионуклидов. Наибольшее снижение было достигнуто в отношении выбросов СААИН, в меньшей степени снизились выбросы САБИН, стронция-90 и цезия-137, что связано с проводившимися в 1985 г. работами по ликвидации старого очага загрязнения в монтажном зале. Некоторое увеличение выбросов в отдельные месяцы 1985–1986 гг. были связаны с ремонтными работами и нестандартными ситуациями [4].

Начиная с 1989 г., изменение значений среднегодовых мощностей выбросов в атмосферу комплексом РТ практически по всем радионуклидам принимает более стабильный характер. Их отклонения от «нормальной» величины в большую или меньшую сторону связаны, прежде всего, с изменениями в производственной программе завода: изменения соотношения перерабатываемого топлива с энергетических и транспортных реакторов, различия во времени выдержки перерабатываемого ОЯТ, рост либо снижение объемов его переработки.

Исключение составляет 1994 г., когда был зафиксирован значительный рост мощности выбросов в атмосферу практически по всем радионуклидам. Причиной роста выбросов явилась нестандартная ситуация [6], когда при проведении операции электродуговой отрезки холостых концов отработанной тепловыделяющей сборки (ОТВС), электрическая дуга возникла не на штатных электродах, а между центральным прижимом и корпусом ОТВС. В результате прогара циркониевого корпуса и оболочек ТВЭЛов в систему вентиляции, обслуживающую отделение подготовки изделий к резке (ОПИР), поступило значительное количество бета-излучающих радионуклидов и цезия-137.

Имевшаяся на вентсистеме, обслуживающей ОПИР третьей нитки, одноступенчатая система очистки на фильтрах из ткани ФПП не обеспечила достаточного снижения концен-

траций радионуклидов. В результате этого в атмосферу поступило до 200 мКи САБИН. Однако, следует отметить, что даже такая нештатная ситуация не привела к превышению нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) радиоактивных веществ в атмосферу.

Обобщая результаты приведенного выше анализа динамики изменения мощности выбросов в атмосферу радиоактивных веществ комплексом РТ и причин тех или иных изменений, можно констатировать, что его деятельность характеризуется, по отношению к выбросам в атмосферу радиоактивных аэрозолей, следующими факторами:

- некоторая нестабильность среднегодовых значений мощности выбросов, наблюдавшаяся в первое десятилетие работы комплекса РТ, что связано со сложностями периода освоения новой технологии и оборудования, не всегда достаточно эффективной работой газоочистных систем и, в некоторых случаях, недостатком объемов установленного газоочистного оборудования;
- ряд нештатных ситуаций так же оказал влияние на повышение, относительно среднемноголетних значений, мощности выбросов;
- достаточно стабильный в последнее десятилетие характер изменения мощности выбросов комплексом РТ в атмосферу радиоактивных веществ, что связано с накопившимся к этому времени опытом эксплуатации и проведения технологических операций, обеспечением надежности работы основного технологического и газоочистного оборудования;
- постоянное совершенствование систем очистки выбросов комплекса РТ от радиоактивных аэрозолей и комплекс мероприятий по подавлению источников повышенного поступления радионуклидов в общенные и технологические вытяжные системы позволило значительно снизить и стабилизировать на практически безопасном уровне (с точки зрения радиацион-

ного воздействия на окружающую среду) их поступление в атмосферу;

- не превышение, даже при возникновении нештатных ситуаций, установленных нормативов предельно допустимых выбросов в атмосферу радиоактивных веществ;
- незначительная зависимость мощности выбросов радиоактивных веществ от объемов и типа перерабатываемого на комплексе РТ ОЯТ, что свидетельствует о высокой эффективности и достаточности используемых газоочистных систем и эксплуатационных качествах основного технологического оборудования;
- осуществление непрерывного инструментального контроля мощности и нуклидного состава выбросов в атмосферу радиоактивных веществ комплексом РТ и, как следствие, наличие официальной документации отчетного характера, содержащей результаты контроля, что позволяет говорить о достоверности представленных в статье данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глаголенко Ю.В., Дзекун Е.Г., Ровный С.И. и др. Переработка отработавшего ядерного топлива на комплексе РТ-1: история, проблемы, перспективы // Вопросы радиационной безопасности. — 1997. — №2. — С. 3—43.
2. Страшевский К.Н., Горелова Н.Д. Результаты инвентаризации источников выброса радиоактивных веществ в атмосферу, проведенной на ПО «Маяк» в 1999 г.: Отчет / ПО «Маяк». — Озерск, 1999. — С. 10—14.
3. Терновский И.А., Шестаков Ю.А., Андреев Е.И. и др. Величина выбросов радионуклидов в атмосферу и эффективность работы газоочистных устройств на заводах предприятия п/я А-7564 в 1977, 1978 гг.: Отчеты / ПО «Маяк». — 1978. — С. 18—24; 1979. — С. 22—31.
4. Шестаков Ю.А., Пятин Н.П., Кубасов В.Н. и др. Величина выбросов радионуклидов в атмосферу и эффективность работы га-

зоочистных систем на заводах предприятия п/я А-7564 в 1980 г., 1982–1984 гг., 1986 г., 1987 г.: Отчеты / ПО «Маяк».

5. Терновский И.А., Павлов В.П., Шестаков Ю.А. и др. Акт установления причин повышенных выбросов бета-активных аэрозолей в

цехе 5 / ПО «Маяк». – 1980.

12. В.И. Фетисов и др. Акт выяснения обстоятельств и причин повышенных выбросов в результате прогорания чехловой трубы сборки ВВЭР-440 при обрезке концевых деталей ТВС. – Челябинск-65, 1994.