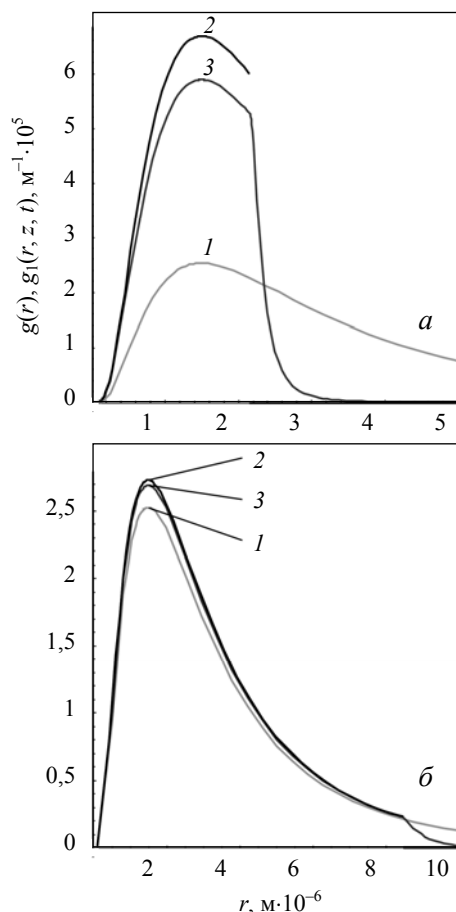




Распределение радиуса аэрозольных частиц уранил-фторида (а) и фтористого водорода (б) на высоте $z_0 = 1,5$ м в момент времени 10 мин: 1 — $g(r)$; 2 — $g'_1(r, z, t)$, первая модель; 3 — $g''_1(r, z, t)$, вторая модель

ние $g_1(r, z, t)$ описывается логарифмически нормальным законом лишь приближенно. При этом характер зависимостей $g'_1(r, z, t)$ и $g''_1(r, z, t)$ (рассматривается зависимость от переменной r , переменные z и t выступают как параметры) для обеих моделей близок. Их отличие заключается в том, что во второй модели усечение кривой логарифмически нормального распределения размыто относительно некоторого значения r . Функции распределения нормированы.

По виду этих кривых можно сказать следующее. За реальное время, которое человек может находиться в аварийной ситуации, распределение радиуса аэрозольных частиц уранил-фторида меняется от своего исходного в момент выброса гексафторида урана значительно, а распределение радиуса аэрозольных частиц фтористого водорода почти не меняется. Это связано с тем, что при заданном размере частицы уранил-фторида значительно тяжелее и соответственно усечение исходной функции распределения происходит при гораздо меньшем радиусе. Поэтому функция $g(r)$ хорошо описывает поступление фтора в организм в составе аэрозольных частиц фтористого водорода. Однако для расчета поступления урана в составе аэрозольных частиц уранил-фторида в организм человека, задержавшегося в аварийной ситуации более 10 мин, необходимо пользоваться более сложной зависимостью $g_1(r, z, t)$. Оценка показывает, что при этом рассчитанную по функции $g(r)$ дозу следует увеличить в 1,5 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Uranium Hexafluoride** — Safe Handling, Processing, and Transporting. Proc. Conf. Oak Ridge, USA, May 24—26, 1988.
2. **Петрянов-Соколов И.С., Сутугин А.Г.** Аэрозоли. М.: Наука, 1989. 144 с.
3. **Гастева Г.Н., Бадьин В.И., Молоканов А.А., Мордашева В.В.** Клиническая токсикология химических соединений урана при хронической экспозиции. — Рад. медицина, 2001, т. 2, с. 369—389.
4. **Пределы** поступления радионуклидов для работающих с ионизирующим излучением. Публикация № 30 МКРЗ. Ч. 1. Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат. 1982. 136 с.
5. **Human respiratory tract model for radiological protection.** ICRP Publication 66. — An. ICRP, 1994, v. 24, № 4, p. 1—482.
6. **Бабенко С.П., Бадьин А.В.** Методы определения функции распределения радиуса аэрозольных частиц уранил-фторида. — Атомная энергия, 2005, т. 99, вып. 5, с. 353—358.

Поступило в Редакцию 11.12.06

УДК 621.039.58

ПЕНООБРАЗУЮЩИЕ СОСТАВЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЯТЦ

Степанов А.И., Тишков В.П. (НПО «Радиевый ин-т им. В.Г. Хлопина»),
Степанов И.К. (Ленинградский спецкомбинат «Радон»),
Доильницын В.А. (СПб гос. технологический ин-т)

При штатной эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов, а также возникновении на них аварийных ситуаций возникает необходимость проведения профилактических противопожарных

мероприятий или прямых действий по тушению пожаров. Так, на АЭС нашей страны в период с 1981 по 1997 г. было зарегистрировано 144 пожара и возго-

рания различной степени опасности, причем во многих случаях могло произойти радиоактивное загрязнение [1]. Особое внимание пожарам необходимо уделять при ликвидации тяжелых запроектных аварий, сопровождающихся, например, разрушением активной зоны реактора и созданием условий для протекания неуправляемой самоподдерживающейся цепной реакции.

Тушение пожаров на радиационно и ядерно опасных объектах имеет специфические особенности:

высокая радиационная опасность, определяющая необходимость дистанционного выполнения работ в короткий промежуток времени, что требует применения высокопроизводительного оборудования, в том числе пенных генераторов;

вынос за пределы зоны горения радиоактивных, в том числе и высокоактивных продуктов горения, создающий условия для формирования вторичных радиоактивных загрязнений объектов;

большие площади радиоактивно загрязненных поверхностей;

слабая фиксация радиоактивных продуктов горения и других мелкодисперсных, например, пылевых загрязнений на поверхностях;

возможность возникновения самоподдерживающейся цепной реакции при подаче в зону горения водных растворов, в состав которых не входят вещества — замедлители нейтронов.

Целью настоящей работы является разработка пенообразующих составов многоцелевого назначения на основе штатных, модифицированных добавками, опробованных ранее в ограниченных масштабах или не использовавшихся ранее побочных продуктов целлюлозно-бумажной промышленности. Эти составы предназначены для тушения ядерно и радиационно опасных пожаров, предотвращения пыления в помещениях аварийного энергоблока АЭС и энергоблоков, снимаемых с эксплуатации, а также локализации радиоактивных загрязнений в помещениях и на местности.

Поиск составов и выбор добавок к штатным пенообразователям проводили с учетом опыта применения пено- и пленкообразующих составов при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, а также выполненных ранее исследований [2, 3]. Сравнительное сопоставление пылеподавляющих рецептур и возможных для использования пенообразующих составов с учетом технологических, эксплуатационных, экономических и экологических аспектов их применения показывает, что наиболее перспективными являются побочные продукты целлюлозно-бумажной промышленности [4—7].

Процесс образования пен различной степени кратности, т.е. с различным отношением объема пе-

гих

ны к объему раствора может осуществляться с применением следующих технических устройств: аппараты барботажного типа, например, аппараты Иванова — пена низкой кратности (менее 30), штатные автоцистерны, например, АЦ-40 (131) модели 137 с пеногенераторами ГПС-200 (600) — пена средней кратности (от 30 до 200), штатные автоцистерны с промышленными пеногенераторами ГП-3, ГП-3М разработки ВНИПИЭТ — пена высокой кратности (более 200). В табл. 1 приводятся основные технические характеристики генераторов пены, используемых в пожаротушении [8].

Т а б л и ц а 1. Технические характеристики генераторов пены

Марка	Производительность по пене, $\text{дм}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	Расход 4—6%-ного раствора типа ПО-1, $\text{дм}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	Кратность
ГПС-200	200	1,6—2	100 ± 30
ГПС-600	600	4,8—6	100 ± 30
ГП-3	2000	8—10	600 ± 400
ГП-3М	10 000	40—50	600 ± 400

Примечание. Производительность указана при максимальном расходе раствора пенообразователя, давлении перед распылителем 0,4—0,6 МПа.

Установлено, что пенообразующие составы на основе побочных продуктов целлюлозно-бумажной промышленности — омыленного таллового пека, сульфатного мыла, технических лигносульфонатов, модифицированных хлористым кальцием, позволяют получать пену всех трех типов кратности. Водные растворы омыленного таллового пека дают пену кратностью до 1000, стойкостью до 1 ч и предназначены для использования в закрытых помещениях и при снятии объектов с эксплуатации (табл. 2). Для получения пены высокой кратности со стойкостью от десятков минут до 1 ч целесообразно также применять штатные пенообразователи для пожаротушения целевого и общего назначения, например, ПО-1, ПО-ЗНП, «Морпен», ПО-ЗАИ («Ива»), ПО-6НП, ТЭАС и др.

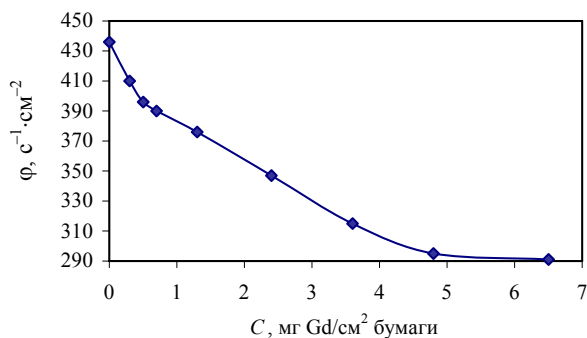
Исследование локализирующей (фиксирующей) способности пен и пленок на их основе по отношению к радиоактивным загрязнениям показало, что пленки надежно закрепляют поверхностный слой материала. В случае пленок на основе омыленного таллового пека удаляемая масса материала не превышала 1% в отсутствие пленок. Вторыми по качеству являются пленки, сформировавшиеся из растворов сульфатного мыла.

Т а б л и ц а 2. Возможные области применения разработанных пено-, пленкообразующих составов на основе побочных продуктов целлюлозно-бумажной промышленности

Состав	Кратность пены	Технические средства нанесения	Решаемые задачи
Омыленный талловый пек	Низкая	Авторазливающие станции APC-14, поливочно-мочные машины, установки УМП-1 на шасси БелАЗа	Предотвращение пыления на радиоактивно загрязненной местности. Создание защитной пленки на поверхности угля, руды, песка и других сыпучих материалов при их хранении и транспортировке.
	Средняя	Штатные автоцистерны АЦ-40	Тушение обычных пожаров. Тушение пожаров на радиационно и ядерно опасных объектах. Нанесение на поверхность графита, фрагментов активной зоны нейтронопоглощающих элементов. Локализация радиоактивных веществ на металлических и неметаллических поверхностях.
	Высокая	Установка с генератором ГП-3	Организация пенных завес для ограничения распространения радиоактивного загрязнения при монтажно-демонтажных работах. Проведение радиационно опасных и пылящих работ под слоем пены. Очистка воздуха от радиоактивных аэрозолей.
Сульфатное мыло	Низкая	Авторазливающие станции APC-14, поливочно-мочные машины	Предотвращение пыления на радиоактивно загрязненной местности. Создание защитной пленки на поверхности угля, руды, песка и других сыпучих материалов при их хранении и транспортировке.
Технические лигно-сульфонаты, модифицированные хлористым кальцием	Низкая	То же	То же

Введение в пенообразующие составы нейтронопоглощающих добавок снижает основные пожаротушающие характеристики пен (кратность и стойкость). В качестве нейтронопоглощающих добавок использовали соли бора и гадолиния. Бор, значительно

уступая гадолинию в отношении захвата нейтронов, более доступен, дешев, стабилен, термостоек, его соединения более устойчивы к гидролизу и характеризуются большей полнотой включения в пенообразующие составы. Экранирование поверхности источника тепловых нейтронов пленками, полученными из неоднократно наносимых гадолиний- или борсодержащих пен, позволяет значительно снизить плот-



Р и с. 1. Ослабление плотности потока тепловых нейтронов при прохождении через бумагу, пропитанную раствором гадолиния различной концентрации

ность потока нейтронов (рис. 1).

Эксперименты по удалению с поверхности различных конструкционных и строительных материалов предварительно нанесенных модельных радиоактивных загрязнений в виде смеси порошкообразного графита с золой от сгорания отходов низкой и средней активности показали, что пленки, полученные из пенообразующих составов на основе побочных продуктов целлюлозно-бумажной промышленности, надежно закрепляют радиоактивные загрязнения на всех поверхностях. После обработки образцов раствором омыленного таллового пека загрязнение мазков было на уровне фоновых значений, тогда как после обработки пенообразующими составами на основе пенообразователя для пожаротушения ПО-1 она была соизмерима с обнаруженной до обработки.

Установлено, что при обработке реакторного графита борсодержащими пенами на основе побочных продуктов целлюлозно-бумажной промышленности масса образца увеличивалась примерно на 5%. Согласно расчетам раствор проникает в графит на сотни микрон и обеспечивает приповерхностную пропитку.

Пены, полученные из штатных и новых пенообразующих составов, обладают сопоставимыми огнегасящими характеристиками, причем собранные от-



Р и с. 2. Опытная стендовая установка для получения пены средней и высокой кратности: 1, 2 — узел приготовления и подачи раствора соответственно; 3—5 — генератор пены высокой кратности ГП-3, средней кратности ГПС-600 и ГПС-200 соответственно

ходы пен могут перерабатываться по штатной схеме вместе с другими жидкими отходами объекта.

Адгезия и условная твердость покрытий на основе побочных продуктов целлюлозно-бумажной промышленности возрастают по мере увеличения поглощенной дозы (≥ 1 МГр). Радиолитическое газовыделение из покрытий возможно с полной уверенностью считать безопасным.

Омыленный талловый пек — твердый хрупкий при обычных условиях продукт коричневого или темно-коричневого цвета с температурой размягчения не ниже 70°C , в твердом состоянии может храниться неограниченное время. Состав на основе омыленного таллового пека готовится путем его растворения в горячей (70°C и выше) воде [9]. Рабочие растворы сохраняются до 6 месяцев. Срок хранения концентрированных растворов штатных пенообразователей для пожаротушения — 3 года, рабочие растворы готовятся непосредственно перед применением (тушением пожара).

В рамках исследования создан и испытан стенд, состоящий из трех узлов: приготовления, подачи раствора, генераторов пены высокой и средней кратности (рис. 2).

Эксперименты позволяют рекомендовать исследованные пенообразующие составы для решения разных задач:

ликвидация очагов возгорания при запроектных авариях с разрушением активной зоны реактора и тушение пожаров на ядерно опасных объектах типа объекта «Укрытие»;

тушение пожаров при возгорании горючих твердых и жидких отходов;

доставка и нанесение на поверхность топливо-содержащей массы и других фрагментов разрушенной

активной зоны аварийного реактора нейтронопоглощающих элементов (бор и гадолиний);

снижение выноса радионуклидов в аэрозольной и пылевой форме из аварийных объектов, пылеподавление при консервации и выводе из эксплуатации, а также на радиоактивно загрязненной местности и транспортных магистралях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Микеев А.К.** Пожары на радиационно опасных объектах. Факты. Выводы. Рекомендации. М., ВНИИПО, 1999. 324 с.
2. **Нормализация** радиационной обстановки при ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС. Под ред. Е.А. Константинова. Сосновый Бор, ЛАЭС, 2006. 208 с.
3. **Патриляк К.И., Благоев В.В., Бойко В.В. и др.** Опыт пылеподавления и закрепления пылящих территорий в зоне отчуждения и за ее пределами. — В сб.: I Всес. НТС по итогам ЛПА на ЧАЭС. Чернобыль-88. Т. 6. Меры по уменьшению миграции и захоронению радиоактивных отходов. М., 1989, с. 190—206.
4. **Степанов И.К., Мартынов Д.А., Степанова О.И., Степанов А.И.** Пенообразующий состав. Патент РФ № 2191200. — Бюл. «Изобретения. Полезные модели», 2002, № 29, с. 336.
5. **Степанов И.К., Степанов А.И., Доильницын В.А.** Разработка новых пенообразующих составов для тушения радиационно и ядерно опасных пожаров. — В сб.: Экология и атомная энергетика. Сосновый Бор, 2004, вып. 2, с. 71—76.
6. **Степанов И.К., Степанов А.И., Доильницын В.А., Тишков В.П.** Применение пенных технологий при проведении аварийно-восстановительных работ на объектах атомной энергетики. — В сб.: Безопасность ядерных технологий-2005. Экономика безопасности и обращение с источниками ионизирующих излучений. VIII Межд. конф. Санкт-Петербург, 26—30 сентября 2005, с. 336—339.
7. **Степанов И.К., Степанов А.И., Доильницын В.А., Тишков В.П.** Разработка новых пенообразователей, предназначенных для решения некоторых задач на предприятиях ядерно-топливного цикла. — В сб.: Безопасность ядерных технологий-2004. Обращение с РАО. VII Межд. конф. Санкт-Петербург, сентябрь 2004, с. 426—428.
8. **Генераторы** пены средней кратности. Технические условия. ОСТ Р 50409-92. М., ВНИИПО, 1994.
9. **Пек** талловый омыленный. Технические условия. ТУ 13-0281078-146-90. М.: Изд-во стандартов, 1990.