

УДК 661.185:614.876
© 2003

ЛОКАЛИЗАЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВСПЕНЕННЫМИ КОМПОЗИЦИЯМИ НА ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ

Н.В. Арсентьева, Н.М. Емельянов, Ю.В. Казакевич, С.И. Ровный
Россия, г. Озерск, ПО «Маяк»

Рассмотрены основные закономерности взаимодействия локализирующих пен на основе поливинилового спирта и препарата ОП-10 с целью оценки возможности использования их для улучшения радиационной обстановки при выполнении работ по демонтажу строительных конструкций и выводу из эксплуатации ядерных объектов. Показано, что эффективность локализации загрязнений на пористых материалах зависит от многих характеристик пенообразующих растворов, пен, пористых материалов и свойств загрязняющих радионуклидов. Эффективность локализации на пористых поверхностях несколько ниже, чем на сплошных, но достаточна для практических целей.

При проведении работ по ремонту и демонтажу оборудования и сооружений предприятий ядерного топливного цикла, выводу из эксплуатации объектов часто возникает необходимость локализации поверхностных радиоактивных загрязнений. В условиях высоких радиационных полей или труднодоступных местах процесс нанесения защитных покрытий может быть упрощен за счет использования вспененных композиций, содержащих пленкообразователь [1]. При заполнении помещений локализирующей пеной и последующем ее разрушении на поверхностях формируются защитные пленки, характеристики которых определяются свойствами использованного пленкообразователя, состава пенообразующего раствора и характеристик пены. Заполнение технологических помещений локализирующей пеной может быть выполнено с малыми затратами ручного труда, что приводит к повышению уровня безопасности проведения работ и снижению дозовых нагрузок на персонал.

Выполненные ранее работы [2–3] по исследованию закономерностей формирования и разрушения пен, содержащих пленкообразователь, показали принципиальную возможность использования их для локализации радиоактивных загрязнений. Локализирующие пены подчиняются, в основном, закономерностям поведения классических пен. Изменением состава пенообразующего раствора и, соответственно, его физико-химических характеристик можно регулировать устойчивость пен, что весьма важно для практического использования, поскольку при малой устойчивости пен невозможно заполнение помещений большого объема.

Одним из возможных объектов локализации являются загрязненные строительные материалы, обладающие пористой структурой. Взаимодействие пористых тел с пенами имеет особенность, связанную с поглощением пенообразующих растворов за счет эффекта капиллярного впитывания. Влияние этого эффекта должно сказываться и на формирова-

нии поверхностных защитных пленок на пористых материалах, и на эффективности локализации загрязнений.

Главной целью использования вспененных композиций, содержащих пленкообразователь, является формирование на обрабатываемых поверхностях плотных локализирующих пленок, удерживающих радиоактивные загрязнения. В качестве основных условий надежной локализации поверхностных загрязнений следует отметить:

- качество пленкообразователя, позволяющего формировать плотные непроницаемые пленки;
- высокую адгезию пленкообразователя к обрабатываемым поверхностям;
- удовлетворительную смачиваемость поверхностей пенообразующим раствором;
- достаточную устойчивость пен, позволяющую повысить время контакта пен с поверхностью и заполнять большие объемы с использованием штатных средств пеногенерации.

Эффективность локализации радиоактивных загрязнений определяется многими характеристиками пенообразующих растворов, пен, поверхностей и загрязнений. При исследовании локализирующих характеристик вспененных композиций на основе поливинилового спирта (ПВС) и препарата ОП-10 применительно к металлическим материалам были проанализированы факторы, определяющие эффективность локализации [4–5]. Среди полутора десятков выявленных факторов наибольшую роль играют: концентрация и вязкость пенообразующего раствора, кратность и дисперсность пены, уровень загрязненности и растворимость загрязнений. В реальных условиях не все выявленные факторы могут быть учтены и оптимизированы.

На вертикальных металлических поверхностях толщина локализирующей пленки, формирующейся из пен на основе пенообразующей жидкости конкретного состава, определяется равновесием нескольких основных сил:

- адгезионного взаимодействия пенообразующей жидкости и поверхности мате-

риала;

- гравитационных сил;
- градиента капиллярного давления, возникающего в каналах Плато-Гиббса при синергизме пен [4].

Толщина локализирующих пленок, а соответственно и эффективность локализации, снижается с повышением кратности пены и мало зависит от высоты слоя пены. Пленки, формирующиеся из пен, толщиной 1,5–2,0 г/см² достаточно эффективно локализируют даже растворимые в воде радиоактивные загрязнения.

При контакте пленкообразующих растворов и пен с пористыми веществами (кирпич, бетон, штукатурка), помимо приведенных выше сил, появляются и не характерные для сплошных поверхностей силы:

- диффузионный перенос жидкости и пара внутрь материала;
- капиллярное впитывание жидкости.

Действие этих сил будет приводить к переносу жидкости, накапливающейся на поверхности пористого материала за счет адгезионного взаимодействия, во внутренние слои, т.е. будет происходить пропитка пенообразующей жидкостью обрабатываемого пеной материала. Толщина пропитанного слоя и скорость пропитки будут зависеть от многих факторов, характеризующих пену, пенообразующую жидкость и пористый материал.

Для оценки суммарного влияния указанных выше факторов на характер формирования локализирующих пленок из пен, на первом этапе целесообразно выявить закономерности пропитки пористых тел жидкостями. Механизм переноса жидкости в реальных капиллярно-пористых телах достаточно сложен, однако, основные закономерности можно рассмотреть на основе простого случая – переноса жидкости в элементарных капиллярах [6]. Движение смачивающей жидкости в одиночном капилляре, расположенном под углом Θ к горизонту, описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{d^2l}{dt^2} + \frac{1}{l} \left(\frac{dl}{dt} \right)^2 + \frac{8\mu}{r^2\gamma} \frac{dl}{dt} + g \sin \Theta - \frac{2\sigma}{\rho\gamma l} = 0, \quad (1)$$

где l – длина столбика жидкости в капилляре,
 ρ – радиус кривизны мениска,
 t – время,
 μ – динамическая вязкость жидкости,
 r – радиус капилляра,
 γ – плотность жидкости,
 σ – поверхностное натяжение жидкости,
 g – ускорение свободного падения.

При грубых оценках в условиях опытов первым и вторым членами в уравнении (1) можно пренебречь по сравнению с остальными. В этом случае уравнение можно записать как:

$$\vartheta = \frac{dl}{dt} = \frac{r^2 \gamma}{8\mu} \left(\frac{2\sigma}{r\gamma l} - g \sin \Theta \right), \quad (2)$$

где ϑ – средняя линейная скорость движения жидкости.

Из уравнения (2) следует, что скорость движения в капилляре будет выше в каналах большего радиуса и для жидкостей с большим поверхностным натяжением и малой вязкостью. В цилиндрических капиллярах скорость движения жидкости падает с увеличением высоты столба жидкости и гиперболически приближается к нулю. Для капилляров, не имеющих правильной цилиндрической формы, кривая кинетики пропитки видоизменяется в зависимости от характера изменения радиуса капилляра.

По характеру поведения жидкости в реальных капиллярно-пористых телах можно судить о распределении капилляров по их диаметру. В случае, если влажность пористого тела превышает максимальную гигроскопическую влажность, то капилляры частично заполняются жидкостью. Жидкость, введенная в ограниченном количестве в пористое тело, заполняет не весь объем, а только часть его, при этом влажный участок граничит с сухим, а добавление жидкости только увеличивает зону влажного участка.

Достаточно равномерное распределение жидкости по всему объему возможно только в телах с резко выраженной полидисперсной структурой. Это обусловлено тем, что более узкие капилляры будут всасывать жидкость из более широких.

При контакте локализирующих пен с пористыми веществами взаимодействие компонентов будет складываться, в основном, из двух процессов:

- формирование на поверхностях материалов пленок пенообразующей жидкости за счет адгезионного взаимодействия;
- впитывание жидкости пористым телом.

Действием гравитационных сил, способствующих стеканию пенообразующей жидкости по вертикальным и наклонным поверхностям, в случае образцов пористых тел достаточно большого объема можно пренебречь, поскольку, в большинстве случаев, впитывание жидкости поверхностью не позволит сформироваться пленкам с удельной массой, близкой к максимально возможной. Стеkanie жидкости по вертикальным поверхностям возможно либо при насыщении пористого тела жидкостью, либо при малой скорости пропитки, характерной для микропористых тел и жидкостей с высокой вязкостью.

На первом этапе для выявления общих закономерностей необходимо оценить влияние физико-химических свойств жидкостей и пористых материалов на параметры пропитки. С этой целью исследованы закономерности пропитки образцов штукатурки (размер – 25×25×8 мм, плотность – 1,5 г/см³, свободная пористость – 0,167 см³/г) и кирпича (размер – 30×30×10 мм, плотность – 1,93 г/см³, свободная пористость – 0,117 см³/г) водой, 1% раствором препарата ОП-10 и растворами поливинилового спирта. При исследовании закономерностей пропитки пористых материалов за основной показатель принимали величину удельной массы поглощенной жидкости – массу поглощенной к данному моменту времени жидкости, отнесенную к единице поверхности образца, помещенной в жидкость. Скорость пропитки оценивали графическим дифференцированием зависимостей удельная масса–время.

Вода и 1% раствор ОП-10 имеют одинаковую плотность и динамическую вязкость ~10⁻³ Па·с, но различное поверхностное натяжение. Для воды поверхностное натяжение составляет 72 мН/м, для 1% раствора ОП-10 –

30 мН/м. Следует отметить также, что кирпич при меньшей свободной пористости имеет меньший средний радиус пор, чем штукатурка.

Исследования показали, что при пропитке штукатурки водой и 1% раствором ОП-10 достигаются одинаковые удельные массы поглощенной жидкости, соответствующие полному заполнению свободной пористости 0,167 г/г. Однако состояние полного насыщения образцов жидкостью достигается за разное время. Скорость пропитки штукатурки 1% раствором ОП-10 несколько ниже, чем водой (30 и 48 мг/см²·мин соответственно при времени пропитки 5 мин). Это обусловлено меньшим поверхностным натяжением растворов ОП-10, которое в соответствии с уравнением (2) приводит к снижению скорости пропитки пористых тел.

Исследование закономерностей пропитки образцов кирпича водой и 1% раствором ОП-10 привело к аналогичным выводам: при пропитке открытая пористость полностью заполняется растворами; скорость пропитки раствором ОП-10 ниже, чем водой (17 и 21 мг/см²·мин соответственно), что связано с низким поверхностным натяжением раствора. Сравнение скоростей пропитки штукатурки и кирпича показывает, что для последнего эта величина ниже в обоих случаях. Это обусловлено меньшим радиусом пор кирпича и не противоречит модели переноса жидкости в элементарных капиллярах (уравнение 2).

При проведении исследований по пропитке пористых материалов растворами выполнена оценка степени полидисперсности используемых материалов. Согласно модели переноса жидкости в элементарных капиллярах, при введении ограниченного объема жидкости в капиллярно-пористое тело ее распределение будет зависеть от характера распределения капилляров по радиусам. В случае монодисперсной структуры тела первоначальная зона жидкости не должна распространяться по объему тела. В телах с выраженной полидисперсностью жидкость может равномерно распределяться по всему объему. По визуальным наблюдениям в образцах кирпича и штукатурки без видимых дефектов и трещин зона жидкости не

перемещалась по объему. Это дает основание полагать, что распределение пор в используемых материалах достаточно однородно. При наличии трещин происходит перемещение жидкости в направлении их распространения.

Для оценки влияния вязкости растворов на параметры пропитки использовали водные растворы поливинилового спирта с концентрациями последнего 3,5 и 7,0%, содержащие 1% препарата ОП-10. Эти растворы имели близкую к 1 г/см³ плотность, поверхностное натяжение в пределах 29,0–29,5 мН/м, но различную вязкость. Растворы с концентрацией ПВС 3,5% имели динамическую вязкость $\sim 10^{-2}$ Па·с, а 7% растворы – $5,6 \cdot 10^{-2}$ Па·с. Изучение влияния состава растворов на параметры пропитки проводили также, как и для воды, однако при использовании растворов поливинилового спирта погрешность определений была выше за счет не учитываемого и не контролируемого адгезионного захвата жидкости рабочей стороной образца. Эта погрешность увеличивается при повышении вязкости жидкости и снижении скорости пропитки. Выборочные результаты исследований пропитки кирпича и штукатурки растворами ПВС приведены на рис. 1.

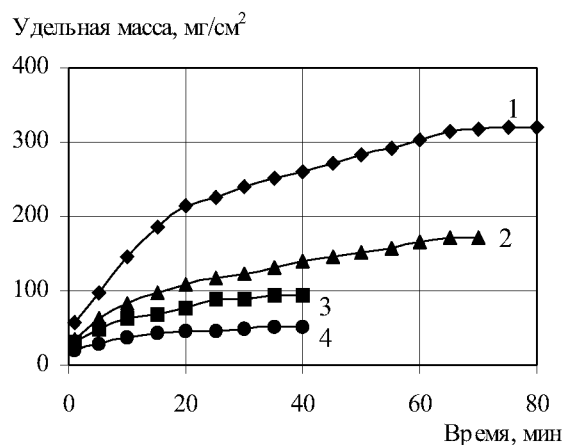


Рис. 1. Зависимость удельной массы растворов ПВС, поглощенной пористыми материалами, от времени пропитки: 1, 3 – штукатурка, 3,5 и 7,0% ПВС соответственно; 2, 4 – кирпич, 3,5 и 7,0% ПВС соответственно

Приведенные данные позволяют оценить степень заполнения свободной пористости в условиях опытов. Для 3,5% ПВС поглощение жидкости штукатуркой составляет 81,9 мг/г, для 7% ПВС — 23,7 мг/г (при пропитке в условиях полного погружения образцов в растворы ПВС эта величина составляет ~170 мг/г), т. е. доля заполнения свободного объема для 3,5% ПВС составляет 48,2%, а для 7% ПВС — только 13,9%. Это обусловлено, видимо, испарением воды в процессе пропитки как из образца штукатурки, так и из пропиточного раствора. Оценки скорости испарения воды из частично пропитанных образцов штукатурки при комнатной температуре показали, что средняя скорость испарения воды при пропитке 3,5% ПВС за первый час составляет 0,15–0,2 мг/см²·мин, при пропитке 7% ПВС — 0,2–0,3 мг/см²·мин. Более высокая скорость испарения воды из образцов, пропитанных 7% ПВС, обусловлена более толстым адгезионным поверхностным слоем жидкости. За один час сушки на воздухе средняя концентрация ПВС в образцах увеличивается практически вдвое. Из ранее проведенных исследований известно, что при концентрации ПВС в защитных пленках до 55–60% формируются их необходимые прочностные и защитные свойства. Испарение растворителя приводит к повышению вязкости жидкости внутри образцов, что снижает скорость пропитки.

По усредненным оценкам скорость пропитки штукатурки 3,5% ПВС в интервале времени 15–30 мин составляет 9,5–5,5 мг/см²·мин, а для 7% ПВС — 2–3 мг/см²·мин. Это существенно ниже, чем для воды и 1% раствора ОП-10. Наблюдается явное снижение скорости пропитки с повышением вязкости, однако это снижение несколько меньше, чем в соответствии с уравнением (2).

Приведенные данные по пропитке кирпича показывают, что достигнутые удельные массы поглощенной жидкости существенно ниже, чем при пропитке штукатурки растворами ПВС. Для 3,5% ПВС максимальное поглощение составляет 28 мг/г, а для 7% ПВС — 10,2 мг/г, при свободной пористости ~117 см³/г.

Оценки скорости пропитки кирпича растворами поливинилового спирта показали, что на относительно линейном участке изменения удельной массы от времени (интервал времени пропитки 15–40 мин) скорость пропитки 3,5% раствором ПВС составляет ~2,3–1,6 мг/см²·мин, а для 7% ПВС ~1,0–0,6 мг/см²·мин. Закономерности изменения удельной массы поглощенной жидкости и скорости пропитки от времени аналогичны полученным для пропитки штукатурки с той разницей, что для кирпича все показатели ниже, что обусловлено, в первую очередь, меньшим размером пор в образцах кирпича.

В целом, выполненные исследования показывают, что закономерности пропитки использованных в качестве пористых тел материалов, в основном, подчиняются законам движения жидкостей в элементарных капиллярах: повышение вязкости и снижение поверхностного натяжения жидкостей приводит к уменьшению скорости пропитки пористых материалов, малый размер пор материала также способствует снижению скорости пропитки.

Проведенные ранее исследования по выявлению закономерностей формирования локализирующих пленок из пен на непористых поверхностях [4] показали, что толщина локализирующей пленки приближается к максимально возможной для пенообразующей жидкости определенного состава только при низкой кратности пен. Количество поглощенной пористым образцом пенообразующей жидкости будет зависеть от многих характеристик пенообразующей жидкости, пены и пористого материала. Для пенообразующей жидкости главную роль будет играть ее вязкость, поскольку для водных растворов поливинилового спирта и ОП-10 изменение состава мало влияет на плотность и поверхностное натяжение. С целью оценки влияния вязкости исследование взаимодействия пен с пористыми материалами выполнено для пенообразующих растворов с концентрацией ПВС 3,5 и 7%, вязкость которых существенно различается ($1,01 \cdot 10^{-2}$ и $5,61 \cdot 10^{-2}$ Па·с соответственно).

Наиболее важной характеристикой пен является их кратность, характеризующая содержание пенообразующей жидкости в единице объема пены. При повышении кратности пены соответственно снижается количество пенообразующей жидкости в пене и следует ожидать меньшего поглощения жидкости пористым телом. Важными факторами являются высота слоя пены над образцом и время контакта образца с пеной. При большей высоте слоя пены над образцом можно ожидать большего поглощения пенообразующей жидкости, поскольку кратность пены в зоне образца будет ниже вследствие неизбежного синерезиса. При большей высоте слоя пены, обычно увеличивается и время контакта образца с пеной, что также способствует увеличению поглощения жидкости.

При исследовании взаимодействия пористых материалов с пенами на основе ПВС изменяли кратность пены, высоту столба пены над образцом и состав пенообразующего раствора. По результатам опытов рассчитывали удельную массу поглощенной жидкости, заполнение свободной пористости, долю поглощенной пенообразующей жидкости. Результаты исследований для пен на основе ПВС и образцов штукатурки приведены на рис. 2.

Приведенные данные показывают, что для обоих пенообразующих растворов наблюдается снижение удельной массы поглощенной жидкости и заполнения свободной пористости при повышении кратности пены. Это обусловлено тем, что при повышении кратности в пенах повышается капиллярное разрежение, которое препятствует транспортировке пенообразующей жидкости по каналам Плато-Гибса к поверхности образцов. Увеличение высоты столба пены над образцом приводит к некоторому повышению удельной массы жидкости и заполнения свободной пористости. Это обусловлено более низкой кратностью пены в зоне образца вследствие синерезиса. Однако, эти данные необходимо рассматривать как тенденцию, поскольку разница в параметрах поглощения пенообразующей жидкости невелика и не существенно превышает погрешность оп-

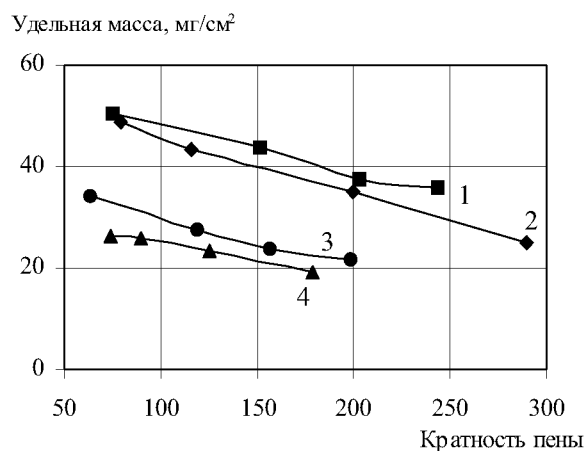


Рис. 2. Влияние кратности и высоты столба пены на удельную массу поглощенных штукатуркой растворов ПВС:
1, 2 – 3,5% раствор ПВС при высоте слоя пены 10 и 5 см соответственно;
3, 4 – 7,0% раствор ПВС при высоте слоя пены 10 и 5 см соответственно

ределений. Для более корректной оценки необходимо увеличить разницу высоты столба пены в исследованиях.

При повышении концентрации поливинилового спирта (соответственно при повышении вязкости раствора) удельная масса поглощенной жидкости и заполнение свободной пористости снижаются. Это обусловлено как снижением скорости переноса жидкости в пенах, так и скорости пропитки образцов. Оценочные расчеты поглощения жидкости из пен с учетом данных о скорости пропитки образцов штукатурки растворами ПВС, приведенных ранее, показывают, что при низкой кратности пены (~80) экспериментальные и расчетные данные (с учетом площади образцов и времени контакта с пеной) хорошо совпадают. Это дает основание полагать, что пропитка в пенах идет с той же скоростью, что и в контакте с жидкостью, а доставка жидкости из пены к образцам не лимитирует процесс пропитки.

При более высоких кратностях реальное поглощение жидкости меньше, чем расчетное.

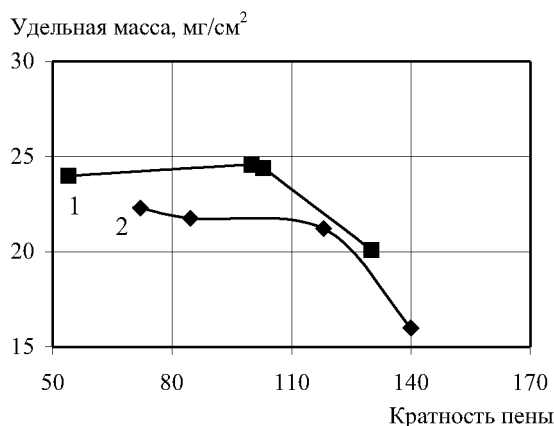


Рис. 3. Влияние кратности пены на величину удельной массы поглощенных кирпичом растворов ПВС:
1 — концентрация ПВС 7,0%;
2 — концентрация ПВС 3,5%

Это связано со снижением скорости доставки пенообразующего раствора из объема пены к образцу вследствие повышения капиллярного разрежения в пенах и снижения скорости синерезиса.

Повышение кратности пены приводит к увеличению доли поглощенной жидкости, причем эта величина практически не зависит от высоты слоя пены над образцом. Это дает основание полагать, что наличие пористого тела в пенном объеме приводит к изменению основного направления синерезиса — в этом случае важную роль играют горизонтальные потоки, а в отдельных случаях возможно движение жидкости снизу вверх.

При исследовании аналогичных закономерностей на образцах кирпича сочтено возможным высоту слоя пены ограничить величиной 10 см, поскольку при меньшей скорости пропитки кирпича растворами ПВС разница в высоте слоя пены не даст значимых изменений параметров пропитки. Результаты исследований приведены на рис. 3.

Приведенные данные показывают, что при контакте кирпича с пенами на основе поливинилового спирта, как и в случае шту-

катурки, повышение кратности пены приводит к снижению удельной массы поглощенной жидкости и заполнения открытой пористости, однако значимое снижение наблюдается при кратности пены более 100. В целом, величины удельной массы ниже, чем для штукатурки в аналогичных условиях. Это связано, в первую очередь, с меньшим размером пор кирпича.

Доля поглощенной жидкости также повышается с увеличением кратности пены, однако, это изменение невелико. В отличие от штукатурки, для кирпича наблюдается большая удельная масса для пен с концентрацией ПВС 7,0%. Это обусловлено, видимо, превышением скорости доставки пенообразующей жидкости к поверхности кирпича над скоростью пропитки. При этом возможно накопление на поверхности кирпича слоя жидкости адгезионного характера. При повышении кратности пены происходит выравнивание скоростей доставки и пропитки. Приведенные выводы подтверждаются оценочными расчетами поглощения жидкости из пен на основе данных о скорости пропитки из жидкостей. Для пен на основе 7,0% раствора поливинилового спирта экспериментально полученные величины превышают расчетные.

В целом, полученный экспериментальный материал показывает, что при низкой кратности пен решающее значение при поглощении пенообразующей жидкости пористыми телами имеет скорость пропитки. При высоких кратностях пен процесс поглощения жидкости лимитируется скоростью перемещения жидкости в объеме пены. Скорость обеих лимитирующих стадий снижается при повышении вязкости пенообразующих растворов.

Наиболее существенной особенностью оценки эффективности локализации радиоактивных загрязнений на пористых поверхностях является неопределенность в прогнозировании толщины поверхностной защитной пленки. Если в случае непористых поверхностей удельная масса нанесенной пенообразующей жидкости или сухой пленки с высокой степенью достоверности характеризует толщи-

ну локализирующей пленки, то для пористых материалов удельная масса поглощенной жидкости мало что говорит о толщине поверхностной пленки. Сопоставление характеристик пенообразующей жидкости и пористого тела позволяет только качественно судить об изменении толщины поверхностной пленки. Поэтому величина удельной массы поглощенной жидкости, принятая ранее за основной показатель взаимодействия пористых тел с пенами, вряд ли может служить связующим звеном между условиями обработки образцов и эффективностью локализации радиоактивных загрязнений.

При оценке закономерностей локализации загрязнений на пористых материалах пенами на основе поливинилового спирта исходили из самого сложного случая — растворимых загрязнений. При проведении исследований образцы штукатурки и кирпича загрязняли азотнокислым раствором, содержащим изотопы Sr-90, Cs-137, Ru-106, Ce-144. Загрязнения на поверхность образцов, с целью предотвращения диффузии радионуклидов вглубь материала, наносили методом сухого мазка с поливинилхлоридного пластика. Принятая методика загрязнения пористых поверхностей формирует на последних загрязнения слабофиксированные и растворимые в воде. С учетом этого и в предположении, что на поверхности пористых тел существует защитная пленка некоторой толщины, можно выделить основные процессы, влияющие на эффективность локализации при контакте загрязненных поверхностей с локализирующими пенами:

- миграция загрязнений вглубь материала с потоком пенообразующей жидкости при пропитке. Для растворимых загрязнений и достаточно высокой скорости пропитки, видимо, следует ожидать более высокой эффективности локализации;
- адсорбция растворимых загрязнений на внешней и внутренней поверхности пористых тел, способствующая повышению эффективности локализации. Скорость и глубина протекания этого процесса определяются исключительно химическим со-

ставом и структурой пористого материала, а также радиохимическим составом и состоянием загрязнений.

- диффузия растворимых загрязнений в поверхностной защитной пленке, снижающая эффективность локализации вследствие переноса загрязнений в поверхностный слой пленки. В исследованиях по локализации радиоактивных загрязнений на непористых поверхностях было показано, что в целом увеличение толщины защитной пленки в условиях растворимых загрязнений приводит к повышению эффективности локализации [4].

В реальных условиях эффективность локализации будет определяться соотношением глубины и скорости протекания противодействующих процессов. При прочих равных условиях, при высокой скорости пропитки будет велик вклад переноса загрязнений вглубь материала, но при этом поверхностная защитная пленка будет иметь малую толщину. При малой скорости пропитки следует ожидать повышения толщины защитной пленки, но при этом снижается скорость диффузии загрязнений вглубь материала и возрастает роль диффузии загрязнений в поверхностной пленке. Следует иметь в виду еще один осложняющий анализ фактор — скорость растворения загрязнений в пенообразующей жидкости. При высокой скорости пропитки время контакта жидкости и загрязнений может быть невелико и, соответственно, будет малой доля перенесенных вглубь загрязнений. В то же время контакт загрязнений с поверхностной пленкой может быть более длительным.

При выполнении исследований по оценке эффективности локализации радиоактивных загрязнений на пористых поверхностях предпринята попытка выявить влияние состава пенообразующего раствора, кратности пены, высоты слоя пены над образцом на остаточную снимаемую загрязненность. Однако в отдельных сериях испытаний при снижении снимаемой остаточной загрязненности в 10–20 раз каких-либо явных закономерностей выявлено не было. Это обстоятельство обусловлено,

Таблица

Влияние последовательных обработок образцов пенами с кратностью 65 ± 10 на эффективность локализации загрязнений

Концентрация ПВС, %	Начальная загрязненность, Бк/см ²	Количество обработок					
		1		2		3	
		Удельная масса, мг/см ²	Остаточная загрязненность, Бк/см ²	Удельная масса, мг/см ²	Остаточная загрязненность, Бк/см ²	Удельная масса, мг/см ²	Остаточная загрязненность, Бк/см ²
Штукатурка							
3,5	1714	50,6	138	43,7	6,7	30,5	0,8
7,0	1585	34,2	92	20,0	7,0	13,0	0,3
Кирпич							
3,5	950	22,3	164	15,1	16	9,1	7,5
7,0	630	24	35	18,0	5,2	9,6	3,4

видимо, рядом технических факторов, которые трудно исключить в условиях опытов:

- неравномерность распределения загрязнений на поверхности образцов при их подготовке методом сухого мазка;
- неравномерность смачивания пеной поверхности образцов, приводящая к различной толщине защитной пленки по поверхности образца.

Обработка результатов всех проведенных испытаний позволяет сделать следующие качественные выводы:

- эффективность локализации при первой обработке пористых материалов пенами несколько выше при концентрации ПВС в пенообразующем растворе 7%;
- эффективность локализации загрязнений на поверхностях кирпича при прочих равных условиях несколько ниже, чем на штукатурке.

В процессе исследований проводили постоянный контроль загрязненности пенообразующей жидкости, образующейся в результате разрушения пены. Установлено, что контакт пены с загрязненными образцами не приводит к переносу загрязнений в пенообразую-

щую жидкость. Для снижения остаточной загрязненности были проведены повторные обработки образцов пенами с близкой кратностью. В опытах фиксировалась удельная масса поглощенной жидкости и остаточная загрязненность. Результаты испытаний приведены в таблице.

Повторная обработка образцов локализуемой пеной приводит к снижению остаточной снимаемой загрязненности. Отличие от нулевых значений остаточной загрязненности при повторных обработках обусловлено, видимо, частичным растворением ранее сформировавшихся поверхностных защитных пленок.

По-видимому, роль процессов диффузии загрязнений вглубь пористых тел при пропитке и адсорбции существенна только при первой обработке пористых поверхностей пенами. При повторной обработке снижение остаточной загрязненности будет связано с увеличением толщины поверхностной защитной пленки. Это предположение частично подтверждается измерением изменения плотности потока излучения при обработках образцов пенами близкой кратности при высоте слоя пены 10 см (рис. 4).

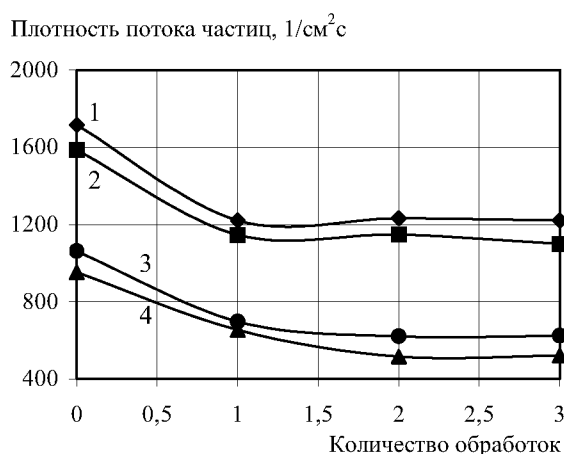


Рис. 4. Влияние обработок образцов пенами на плотность потока излучения:

- 1, 2 – штукатурка при концентрации ПВС 3,5 и 7,0% соответственно;
3, 4 – кирпич при концентрации ПВС 3,5 и 7,0% соответственно

При отсутствии переноса загрязнений в пенообразующую жидкость снижение плотности потока излучения обусловлено только переносом загрязнений вглубь образца, поскольку тонкие поверхностные пленки не являются существенным препятствием для распространения излучения. Из приведенных данных видно, что снижение плотности потока происходит только при первой обработке. Это позволяет полагать, что при повторных обработках миграция загрязнений вглубь образцов отсутствует.

Сравнение локализации радиоактивных загрязнений на пористых и металлических поверхностях [4] пенами на основе одного и того же пенообразующего раствора, одинаковом радионуклидном составе загрязнений и близком уровне начальной загрязненности показывает, что на пористых поверхностях при однократной обработке эффективность локализации ниже. Это может быть объяснено только меньшей толщиной поверхностной защитной пленки, формирующейся на пористых поверхностях. Капиллярное впитывание пенообразующей жидкости не позволяет накапливать на пористых поверхностях достаточно толстые адгезионные слои жидкости, как это происходит на непористых

поверхностях. Повторная обработка пористых поверхностей пенами также связана с капиллярным поглощением, и защитные пленки вновь оказываются достаточно тонкими.

В целом, обработка локализирующими пенами пористых материалов, загрязненных β -излучающими нуклидами в растворимой форме, приводит к существенному снижению остаточной снимаемой загрязненности. При двух-трехкратной обработке поверхностей остаточная снимаемая загрязненность не превышает уровней, установленных нормами радиационной безопасности. В условиях загрязнения поверхностей труднорастворимыми соединениями следует ожидать более высокой эффективности локализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арсентьева Н.В., Емельянов Н.М., Кладченко С.Ю., Ровный С.И. Способ локализации поверхностных радиоактивных загрязнений: Патент РФ № 2194321.
2. Арсентьева Н.В., Емельянов Н.М., Кладченко С.Ю., Ровный С.И. Исследование влияния физико-химических характеристик пенообразующих растворов и структурных параметров локализирующих пен на их устойчивость: Отчет / ПО «Маяк», Озерск, 1999.
3. Арсентьева Н.В., Емельянов Н.М., Кладченко С.Ю., Ровный С.И. Исследование локализирующей способности вспененных композиций на основе поливинилового спирта: Отчет / ПО «Маяк», Озерск, 2000.
4. Арсентьева Н.В., Емельянов Н.М., Казакевич Ю.В., Ровный С.И. Исследование локализирующих характеристик вспененных композиций на основе ПВС и ОП-10: Отчет / ПО «Маяк», Озерск, 2001.
5. Ровный С.И., Арсентьева Н.В., Емельянов Н.М., Казакевич Ю.В. Вспененные композиции для улучшения радиационной обстановки при выводе из эксплуатации ядерных объектов // Атомная энергия. – Т.93, вып.5. – 2002. – С. 372–376.
6. Лыков А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. – М.: Гостехиздат, 1954, 315 с.