

УДК 621.039.75

О.Л.Бобович, П.В.Астахов, к.ф-м.н, доц.,  
ГУО «Гомельский инженерный институт» МЧС Республики Беларусь

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРЕОДОЛЕНИЯ СИЛ АДГЕЗИИ ЧАСТИЦ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ОКРАШЕННЫХ И ЗАМАСЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ ТЕХНИКИ ЖИДКОСТНОЙ СТРУЕЙ КАПЕЛЬНОГО СТРОЕНИЯ**

В статье приводятся обоснования выбора оборудования и результаты экспериментальных исследований по дезактивации инженерной техники установкой импульсного пожаротушения («Витязь» УИП-1), выполненных на загрязненных территориях Гомельской области (д. Углы Наровлянского района)

**Ключевые слова:** коэффициент дезактивации, радиационное загрязнение, установка импульсного пожаротушения.

**Постановка проблемы.** В Республике Беларусь, Украине и России остаются значительные площади радиоактивно загрязненных в результате Чернобыльской катастрофы территорий (лесов, полей, торфяников, населенных пунктов), на которых возникают пожары и появляется необходимость проведения других неотложных аварийно-спасательных работ (например, по сносу зданий и сооружений, обработке полей, передвижения техники и т.д.). Потенциальную угрозу возможного радиоактивного загрязнения представляют АЭС (Игналинская, Смоленская), расположенные в непосредственной близости от границ Беларуси. Кроме того, в недалеком будущем в нашей стране будет построена своя АЭС.

Исходя из этого, органы и подразделения по ЧС должны быть готовы к проведению работ по дезактивации аварийно-спасательной техники (АСТ) и иметь в арсенале наиболее эффективные методы и средства их проведения.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Анализ литературных данных позволяет сделать вывод о том, что из всех известных способов дезактивации для обработки специальной аварийно-спасательной техники наиболее эффективны жидкостные методы. В частности, в 30-километровой зоне Чернобыльской АЭС широко использовалась, и в настоящее время используется дезактивация водой под давлением, низко-, средне- и высоконапорными струями с добавлением поверхностно-активных веществ.

В месте с тем, применяемые способы имеют ряд существенных недостатков: большой объем дезактивирующих растворов (65-100 л/мин), значительное время обработки (20-40 мин. на единицу техники), сравнительно невысокие коэффициенты дезактивации (2-4), большой объем сточных вод [1], очистка которых также является серьезной и нерешенной при ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы проблемой. При работе на загрязненной радионуклидами территории, используемая техника, в виду мелкодисперсного повышенного пылеобразования, подвергается специфичному вторичному загрязнению, что создает дополнительные трудности при проведении дезактивации [2].

Многие из этих недостатков позволяет устранить использование для дезактивации инженерной техники импульсных установок пожаротушения, которые позволяют достичь достаточно высоких коэффициентов дезактивации как для сухих, так и для промасленных поверхностей.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является повышение эффективности методов и средств локализации и ликвидации радиоактивного загрязнения.

Достижение поставленной цели предполагает решение следующих задач:

- произвести обоснованный выбор оборудования для проведения эффективной дезактивации инженерной и аварийно-спасательной техники;

- проанализировать и дать оценку коэффициентам дезактивации на основе результатов экспериментальных исследований по дезактивации инженерной и аварийно-спасательной техники установкой импульсного пожаротушения («Витязь» УИП-1).

**Изложение основного материала исследования по полным обоснованием полученных научных результатов.**

Для определения среднего давления струи капельного строения можно воспользоваться рядом эмпирических и полуэмпирических формул [1, с.123].

С учетом различных элементарных актов воздействие водной струи на частицы радиоактивных загрязнений двумя различными методами рассчитана сила  $f_1$ , которая реализует первую стадию процесса дезактивации – отрыв прилипших радиоактивных частиц.

Для преодоления сил адгезии по этим методам рассчитаем необходимую скорость капель, диаметр которых характерен при истечении жидкости из УИП-1:

$$v_k = \left( \frac{f_1}{3.23 \cdot 10^3 \rho r_n^3 k_1} \right)^{\frac{5}{6}}, \quad (1)$$

где  $V_k$  – скорость капли в момент удара;  $r_n$  – радиус капли после удара;  $\rho$  – плотность воды.

Формула (1) полуэмпирическая; коэффициент  $k_1$  введен для соблюдения размерности. Параметры, входящие в эту формулу, измеряются  $\rho$  – в кг/м<sup>3</sup>,  $V_k$  – в м/с,  $r_n$  – в м, коэффициент  $k_1$  имеет измерение в с<sup>-1/5</sup>×м<sup>-4/5</sup>.

По экспериментальным данным тангенциальная скорость растекания капли в 2–3 раза превышает скорость капли в момент удара и направленной нормально к загрязненной поверхности. С учетом этого и превращения сферической капли в полусферу  $V_k$  можно рассчитать:

$$v_k = \sqrt{\frac{f_1}{3.1 \cdot C_x \rho S}}, \quad (2)$$

где  $S$  – так называемое миделево (максимальное) сечение частиц; коэффициент сопротивления  $C_x$  зависит от скорости капель, если эта скорость изменяется в пределах от 10 до 100 м/с, что соответствует условиям дезактивации с использованием различных технических средств, в том числе УИП-1, то коэффициент  $C_x$  изменяется в пределах 0,63–0,28.

В [1, с.124] приведены с учетом разброса экспериментальные сведения по силам адгезии для шарообразных частиц диаметром 10 мкм, которые образуются в результате радиоактивного загрязнения по отношению к окрашенным ( $10^{-5}$  Н) и замасленным ( $5 \times 10^{-4}$  Н) поверхностям.

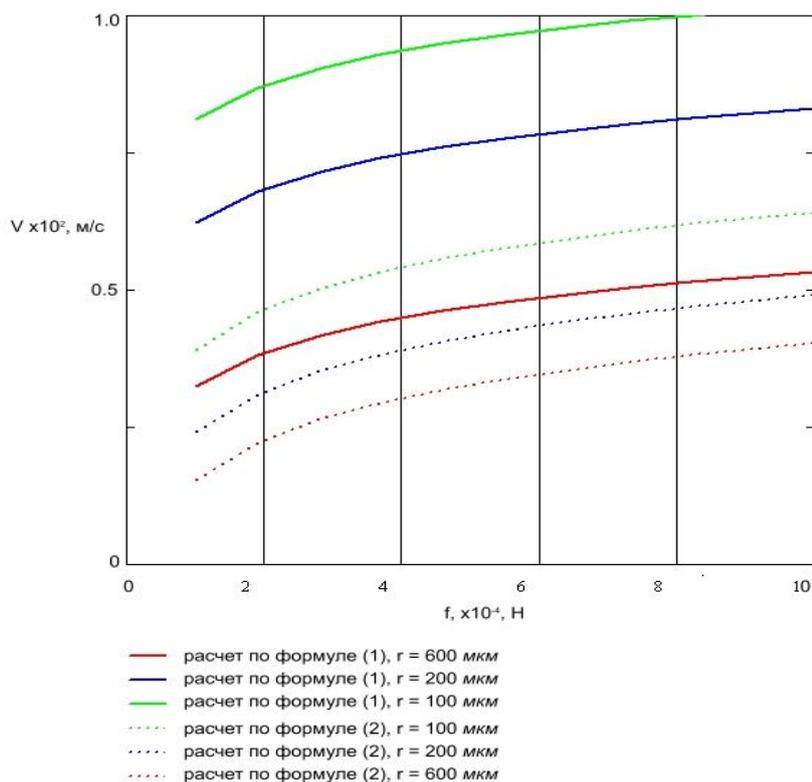


Рисунок 1 – Изменение скорости капель диаметром 100, 200 и 600 мкм в зависимости от сил отрыва прилипших на замасленной поверхности частиц диаметром 10 мкм; расчеты по формулам (1) и (2)

На рисунке 1 приведены результаты расчета скорости капель  $V_k$  в зависимости от силы отрыва для сравнительно трудно удаляемых частиц диаметром 10 мкм по двум формулам. Отмечается, что необходимая для преодоления сил адгезии радиоактивных частиц с промасленной поверхности скорость капель диаметром 100 мкм составляет от 52 до 90 м/с; диаметром 200 мкм – от 32 до 50 м/с; диаметром 600 мкм – от 26 до 45 м/с.

Капли такого размера наиболее характерны для струй капельного строения, генерируемых импульсными установками пожаротушения [3], а создание подобной скорости практически осуществляется установкой импульсного пожаротушения («Витязь» УИП-1), основные характеристики которой приведены в [4]. Более низкие скорости водного потока не обеспечивают необходимую эффективность дезактивации, что и подтверждается практикой в Чернобыле.

С целью установления показателей дезактивации на загрязненных территориях Гомельской области (д. Углы Наровлянского района) были проведены экспериментальные исследования по дезактивации инженерной техники установкой импульсного пожаротушения («Витязь» УИП-1) [5]. Объектом исследования были сухие и промасленные поверхности ходовой части инженерной техники, загрязненной при действиях на местности с содержанием цезия-137 (28,9 кБк/кг) и стронция-90 (82,2 Бк/кг).

Установка располагалась на расстоянии 2 м. от обрабатываемого объекта, площадь обработки при одном выстреле составила 2,5 м.кв. Подготовка проб проводилась сбором на смоченные растворителем беззольные фильтры путем протирания поверхности 10×10 см.

Содержание цезия-137 в полученных пробах определялось на гамма-спектрометрическом комплексе «Тennelec», а стронция-90 - на низкофоновой установке «Canberra S5E» с предварительной радиохимической подготовкой, основанной на оксалатном методе определения стронция-90 [6].

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний по определению содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в беззольных фильтрах и почве

Шифр образца	Содержание $^{137}\text{Cs}$ Бк/проба	Содержание $^{90}\text{Sr}$ Бк/проба
До дезактивации сухой поверхности	65,2±12,0	1,3±0,2
После 1-го выстрела	5,7±1,1	0,23±0,05
После 2-го выстрела	3,1±0,6	0,11±0,03
После 3-го выстрела	3,0±0,6	0,11±0,03
До дезактивации промасленной поверхности	106,0±21,0	0,82±0,15
После 1-го выстрела	16,4±3,1	0,2±0,05
После 2-го выстрела	12,1±2,2	0,18±0,05
После 3-го выстрела	11,9±2,1	0,18±0,05
Почва	28,9±5,9 кБк/кг	82,2±18,7 Бк/кг

На основе приведенных данных рассчитаны коэффициенты дезактивации (КД) (рисунки 2, 3).

Анализ полученных результатов показывает, что эффективность дезактивации при применении импульсных установок по сравнению с методами напорных струй выше до 10 раз. Таким образом, коэффициент дезактивации после второго выстрела достигает 21 для сухих поверхностей и 8,8 для промасленных поверхностей ходовой части инженерной техники, в то время как для средненапорных струй 2,6 и 1,8 соответственно. При этом коэффициент дезактивации по цезию-137 в среднем в два раза выше, чем по стронцию-90.

С увеличением расстояния между монитором, генерирующим водную струю, и обрабатываемой поверхностью, снижается удельное давление  $P$  и эффективность дезактивации. Практически установлено, что минимальное расстояние равно 2м. При меньшем расстоянии персонал может подвергаться воздействию брызг, содержащих радиоактивные вещества. При использовании УИП - 1, с этого расстояния при одном выстреле обрабатывается 2,5 м. кв. поверхности одним литром воды.



Рисунок 2 – Диаграмма эффективности дезактивации сухой поверхности объекта

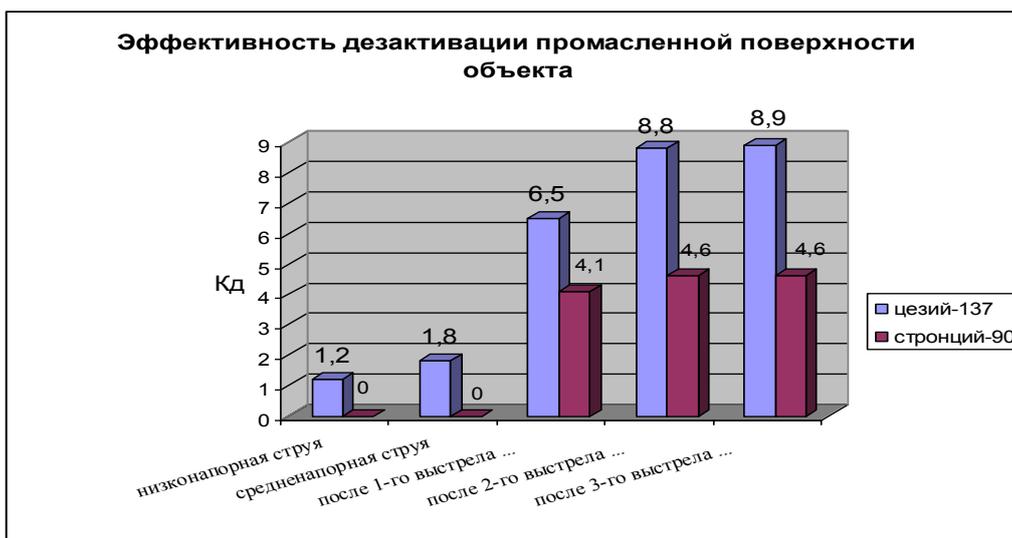


Рисунок 3 – Диаграмма эффективности дезактивации промасленной поверхности объекта

Полученные результаты экспериментальных исследований показывают, что эффективность дезактивации как для сухих, так и для промасленных поверхностей значительно увеличивается после первого и второго выстрелов и почти не изменяется после третьего (рисунки 4, 5). Можно предположить, что после первого выстрела происходит преодоление прочности фиксации радиоактивных загрязнений на поверхности, в том числе глубинных и часть радиоактивных частиц продолжает находиться в образовавшейся, движущейся пленке воды. В этом случае движущаяся водная пленка выполняет транспортирующую функцию - вторую стадию процесса дезактивации.

В результате второго выстрела происходит разрыв прочности связи оставшегося загрязнения с поверхностью и удаление пленки воды, образовавшейся после первого выстрела. Учитывая, что после третьего выстрела эффективность дезактивации не меняется, можно принять оптимальный расход воды для предложенного метода дезактивации – 0,8 л/м<sup>2</sup>, который в 10 - 12 раз ниже, чем при использовании средненапорных струй.

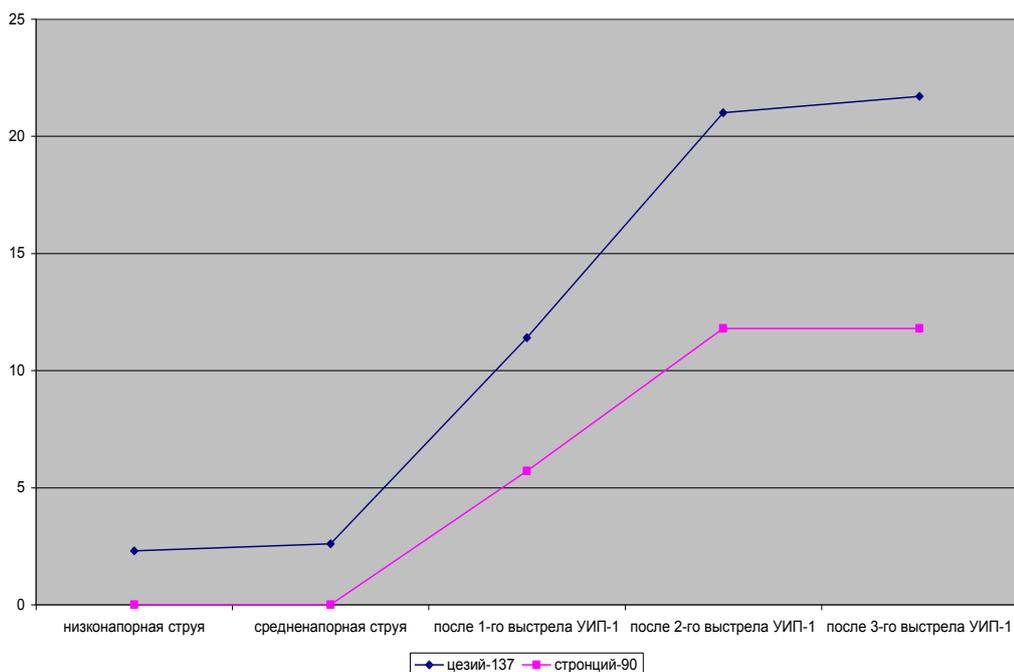


Рисунок 4 – График эффективности дезактивации сухой поверхности объекта

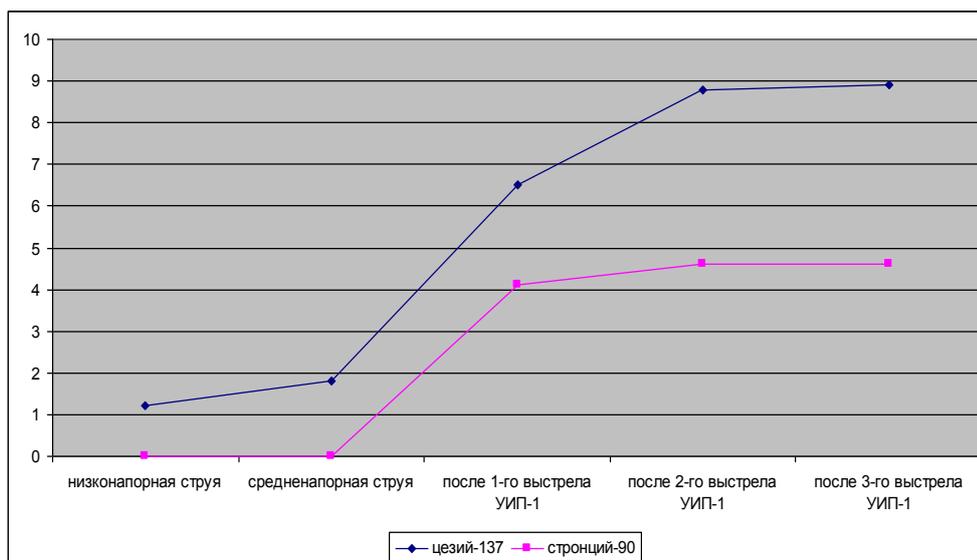


Рисунок 5 – Графік ефективності дезактивації промасленої поверхні об'єкта

**Выводы.** Анализ результатов экспериментальных исследований позволяет сделать основной вывод: многие из недостатков, используемых методов при дезактивации техники, участвовавшей в ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС позволяет устранить использование для дезактивации инженерной техники установок импульсного пожаротушения («Витязь» УИП-1).

В целом, предлагаемый метод позволяет повысить эффективность дезактивации специальной и инженерной техники в 7 - 10 раз, снизить время обработки в 2 раза и расход дезактивирующих веществ до 10 - 12 раз, соответственно уменьшив объем сточных вод, утилизация которых также является серьезной проблемой.

Метод повышает область применения установки импульсного пожаротушения («Витязь» УИП - 1) и экономический эффект проведения дезактивации техники.

#### **Перспективы дальнейших исследований.**

В целях дальнейшего увеличения эффективности дезактивации предложенным способом целесообразно исследование по применению других стволов и ствольных насадок различного диаметра и форм, а также по обработке других твердых объектов.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Зимон А.Д., Пикалов В.К. Дезактивация. М.ИЗДАТ, 1994.- 336 С. Ил. Библиогр.: 209 назв.
2. Бобович О.Л., Горбунов С.В. Анализ опыта проведения дезактивационных работ после чернойбыльской катастрофы. - Вестник КИИ МЧС №1(3), - 2006г., - с. 54-63.
3. Иваницкий, А.Г. Определение режимов распада и характеристик распыленной струи, формируемой стволами установок импульсного пожаротушения / А.Г. Иваницкий // Чрезвычайн. ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2007. – № 2 (22). – С. 106–116.
4. Установка импульсного пожаротушения ранцевая «ВИТЯЗЬ УИП-1" Руководство по эксплуатации ЗР 500.00.00.00 РЭ ТТЗ. Зак. 698
5. Бобович О.Л. Применение новых методов дезактивации инженерной техники на основе импульсных установок пожаротушения. //Тезисы доклада на XIV Международной научно-практической конференции «ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. СПАСЕНИЕ. ПОМОЩЬ» АГЗ МЧС России,-2007г., - с. 96-98.
6. Методические указания по определению содержания стронция – 90 и цезия – 137 в почвах и растениях. ЦИНАО. М., 1985г.