

УДК 621.039.75

АНАЛИЗ ОПЫТА ПРОВЕДЕНИЯ ДЕЗАКТИВАЦИОННЫХ РАБОТ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ

***Бобович О.Л., **Горбунов С.В., к.т.н., доцент**

***Центр пропаганды и обучения при Гомельском областном УМЧС**

****Академия гражданской защиты МЧС РФ**

В настоящее время проблема дезактивации представляется как комплексная, в которой взаимосвязаны способы дезактивации и организация дезактивационных работ, контроль радиационной обстановки и эффективность дезактивации, процессы радиоактивного загрязнения.

Катастрофа в Чернобыле придала проблеме дезактивации новое качество, появилась возможность сопоставить имеющиеся сведения о дезактивации с практикой ее проведения в Чернобыле и на основании этого сопоставления оценить полученный опыт, чтобы в дальнейшем избежать допущенных ошибок и огульного проведения дезактивационных работ без учета системного подхода.

Эффективная дезактивация в условиях сплошного радиоактивного загрязнения может быть достигнута только в определенных условиях при помощи эффективного способа и при использовании определенных технических средств.

1. Количественная оценка эффективности дезактивации

Цель дезактивации – обеспечить безопасность людей; ее можно считать достигнутой, когда радиоактивные загрязнения объектов снижаются ниже допустимых норм. Такую дезактивацию следует считать эффективной. При удалении радиоактивных веществ эффективность дезактивации оценивается при помощи коэффициента дезактивации (КД), а в случае снижения опасности облучения людей – при помощи коэффициента снижения (КС).

Коэффициент дезактивации характеризует удаление радиоактивных веществ с поверхности различных объектов (в зарубежной литературе иногда называют фактором дезактивации), т.е.

$$КД = A_n / A_k, \quad (1)$$

где A_n , A_k – соответственно начальное (до дезактивации) и конечное (после дезактивации) радиоактивное загрязнение поверхностей объектов[1].

Помимо КД, эффективность дезактивации можно оценить посредством доли удаленных в процессе дезактивации радиоактивных загрязнений β_F или оставшихся на поверхности загрязнений после дезактивации α_F , эти величины соответственно равны:

$$\beta_F = \frac{A_K}{A_H} \cdot 100\% ; \quad \alpha_F = \frac{A_H - A_K}{A_H} \cdot 100\% \quad (2)$$

Коэффициент снижения (КС), который показывает уменьшение опасности облучения людей, равен:

$$КС = D_H / D_K; \quad КС = МД_H / МД_K, \quad (3)$$

где D_H и D_K – поглощенная или эквивалентная доза, исходящая от загрязненного объекта до и после дезактивации;

$МД_H$, $МД_K$ – мощность дозы до и после дезактивации, рад/ч или Р/ч.

Коэффициент снижения можно выразить через КД:

$$КД = n_2 / n_3 * КС, \quad (4)$$

где n_2 - параметр, связывающий загрязнение поверхности объектов с дозой, получаемой от этой поверхности;

n_3 - параметр, связывающий предельно допустимую дозу (ПДД) и допустимый уровень загрязнения (ДЗ).

При измерении загрязнений поверхностей различных объектов отношение параметров n_2/n_3 остается примерно постоянным, что означает равенство между КД и коэффициентом снижения, т.е. $КД = КС$. По этой причине КД может рассчитываться в тех случаях, когда загрязнение объектов определяется в Бк/м² или в Р/ч. Почти все дозиметрические приборы в Чернобыле градуировались в Р/ч, а 1 рад \approx 1Р; поэтому загрязнение объектов до и после дезактивации оценивалось в Р/ч.[1].

Условия (1 - 4) широко применялись для оценки эффективности дезактивации в Чернобыле. В то же время определять полноту дезактивации с помощью одного КД, который зачастую служил единственным критери-

ем эффективности обработки, нельзя, так как не учитывается опасность радиоактивных загрязнений подвергшихся дезактивации объектов.

Значения КД в виде, представленном формулой (1), показывают, во сколько раз снизилось радиоактивное загрязнение поверхности объекта в результате дезактивации. Полученные значения КД, однако, не позволяют оценить, достигнута ли цель дезактивации, так как при одном и том же КД, но различных начальных уровнях загрязнений остаточные количества загрязнений будут неодинаковыми и не ясно, ниже ли они существующих норм радиационной безопасности.

В связи с этим можно говорить о требуемом КД, который можно представить в следующем виде:

$$КД^{mp} = A_n / ДЗ \quad (5)$$

где ДЗ – допустимые уровни загрязнения поверхности объектов и одежды.

Значение ДЗ определяется законодательствами стран на основе международных рекомендаций. В Чернобыле были установлены ДЗ на основе фактической опасности и особенностей радиоактивных загрязнений. Допустимый уровень загрязнения местности в Чернобыле в зависимости от радионуклидов составлял: для ^{239}Pu - 0,1; ^{90}Sr - 3 и ^{137}Cs - 15 Ки/км². При обработке населенных пунктов в Чернобыле мощность дозы после дезактивации должна быть не более 0,2 мР/ч по γ - излучению, а по β - загрязнению наружных поверхностей зданий и сооружений – не более 67 кБк/м². [1]

Сочетать полученный КД при помощи формулы (1) с его требуемым значением можно, если полноту дезактивации оценивать посредством приведенного КД (ПКД). Этот коэффициент учитывает достигнутую эффективность обработки и требуемую эффективность с учетом ДЗ:

$$ПКД = \frac{\lg КД}{\lg КД^{mp}} = \frac{\lg A_n - \lg A_k}{\lg A_n - \lg ДЗ} \quad (6)$$

В связи с тем, что до дезактивации $A_n > ДЗ$ и $\lg A_n > \lg ДЗ$ знаменатель всегда больше нуля, а в случае достижения цели дезактивации $A_k = ДЗ$ числитель и знаменатель становятся равными между собой, т.е. ПКД = 1, что и означает достижение необходимой эффективности дезактивации. В случае, когда $A_n = A_k$ дезактивация не произошла и ПКД = 0. Иначе говоря,

дезактивация тогда эффективна, когда с учетом ее гарантии ПКД будет больше единицы.

При помощи ПКД можно количественно и независимо от исходного уровня радиационного загрязнения оценить эффективность дезактивации, а главное, сопоставить качество дезактивационных работ, проводимых различными способами и в различных условиях, которые обусловлены особенностями радиоактивных загрязнений и дезактивируемого объекта.

В полевых условиях при массовом загрязнении объектов качество дезактивации можно оценить по упрощенному варианту с использованием ПКД, который с учетом формул (1) и (5) равен:

$$\text{ПКД} = \frac{KД}{KД^{mp}} = \frac{ДЗ}{A_x} \quad (7)$$

В обобщенном виде для определения качества дезактивационных работ можно воспользоваться следующей шкалой:

Шкала качества	I	II	III	IV	V
эффективность дезактивации	Отличная	Хорошая	Удовлетворительная	Плохая	Очень плохая
по значению ПКД	более 2	1,5 – 2,0	1,0 – 1,5	0,5 – 1,5	менее 0,5
по величине требуемого КД:					
в атомной энергетике	более 100	50 – 100	25 – 50	менее 25	–
в Чернобыле	более 20	10 - 20	2 - 10	2	менее 2

2. Дезактивация местности после Чернобыльской катастрофы

С 1986 по 1989 год проводилась массовая дезактивация населенных пунктов Беларуси, загрязненных радионуклидами чернобыльского происхождения. За пределами 30-км зоны было дезактивировано около 500 населенных пунктов, причем 60 % из них – в 2-3 этапа.

Результатом явилось некоторое смягчение радиационной обстановки. Однако проведение полной дезактивации населенных пунктов, сельскохозяйственных и промышленных объектов для создания нормальных условий жизнедеятельности оказалось нереальным вследствие того, что объемы необходимых работ намного превышали имевшиеся возможности. С 1989 года объемы дезактивационных работ были сокращены, и основной защитной мерой стало отселение.

За 1991-1997 годы проведена дезактивация более 290 объектов (площадь очистки 1080 тыс. м²) и определено еще 265 объектов, подлежащих дезактива-

ции. Дезактивировано 529 вентиляционных систем на 23 предприятиях. Нуждается в дезактивации еще не менее 1300 единиц промышленного оборудования. [2].

Снятие загрязненного слоя грунта, изоляция загрязненных участков, перепахивание – эти и другие способы дезактивации широко применялись после Чернобыльской катастрофы. К числу особенностей дезактивации местности следует отнести дезактивацию сильно загрязненной территории промплощадки, обработку дорог, использование вертолетов, широкое применение локализирующих пленок и некоторые другие [3].

Для дезактивации радиоактивных загрязнений выбросов ядерного горючего и конструкционных графитовых блоков использовалась экранировка этих выбросов слоем бетона. Первоначальная технология была основана на отсыпке сухой бетонной смеси с последующим увлажнением укатанного слоя. Эта технология сразу показала свою неэффективность, происходило вторичное пылеобразование, что усложняло радиационную обстановку. В последующем на место обработки транспортировалась бетонная смесь, а затем – железобетонные плиты, толщиной не менее 20 см. В последующем таким образом производилась дезактивация стройплощадки.

В 1988 - 1990 гг. проводилась засыпка загрязненной территории песком, в том числе и речным, намываемым гидроспособом. Изолирующая способность слоя песка оценивалась по снижению мощности экспозиционной дозы. С ростом толщины насыпаемого слоя с 10 до 30 см мощность дозы снизилась в 8 раз [3].

Асфальтирование дорог можно рассматривать как разновидность дезактивации путем изоляции загрязненной территории.

Дезактивации снятием загрязненного слоя грунта, помимо территории промышленной и строительной площадок, подвергались грунтовые дороги, частично фермы и парки сельскохозяйственных машин. Эффективность дезактивации, оцениваемая по КД, колебалась в широких пределах. Если при ручной обработке поверхностное загрязнение удалось снизить до 20 раз при толщине срезаемого грунта 10 см, то КД после машинной обработки редко достигал 5, а часто был близок к единице. Низкая эффективность обработки обусловлена неровностями местности и перемещением загрязненного грунта на обрабатываемые участки в процессе самой дезактивации. Наиболее производительным из группы инженерных машин оказался грейдер, который за 1 час снимал грунт толщиной в 10 см с площади 5000 — 7000 м². Производительность бульдозеров и скреперов была на порядок ниже [1].

Удаление радиоактивных загрязнений с дорог, имеющих твердое покрытие (асфальт, бетон), проводилось струей воды, а также путем орошения с последующей очисткой щетками. Для этой цели использовались по-

ливомоечные машины городского хозяйства и специальные машины (АРС-14). По существу, как и в других случаях, подобная обработка сводилась к перемещению радиоактивных загрязнений с полотна дороги на обочину. При незначительном коэффициенте дезактивации, не превышающем 2, такая обработка не могла снизить мощность дозы. Поэтому через двое-трое суток подобная дезактивация одной и той же дороги с расходом дегазирующего раствора 3-5 л/м² повторялась многократно [4].

В 1987 г. начались работы по захоронению «рыжего» леса. По периферии погибшего участка был образован замкнутый земляной вал протяженностью около 3,5 км и высотой до 2,5 м. Для его образования необходимо было переместить 15 тыс.м³ грунта. Загрязненные деревья внутри этого участка спиливались и засыпались слоем грунта из вала. Толщина слоя грунта доходила до 1 м. Всего было захоронено свыше 4 тыс.м³ леса. Коэффициент снижения мощности дозы в результате такой своеобразной дезактивации территории «рыжего» леса составил 30-40, а мощность дозы снизилась до 180 мР/ч. После захоронения «рыжего» леса, с целью предотвращения пылеобразования, были вновь высажены деревья [1].

В процессе дезактивации местности в Чернобыле зачастую применялась комплексная обработка, сочетающая различные способы дезактивации. Например, путем снятия верхнего загрязненного слоя грунта с нанесением локализирующей пленки.

Впервые в практике ликвидации катастрофы в Чернобыле были применены вертолеты для разбрасывания сорбентов, распыления полимерных композиций, из которых впоследствии формировались локализирующие дезактивирующие пленки, засыпки реактора и для дезактивации некоторых объектов (высоковольтных передач, отдельных участков леса и др.). Для этой цели на вертолетах МИ-6, МИ-8 и МИ-26 устанавливались специальные емкости, на последних – баки емкостью 14 м³. Обработка отдельных участков местности, объектов, дорог происходила с высоты 60-70 м при скорости 60 км/ч. При распылении жидких препаратов, применяемых для предотвращения пылеобразования, за один пролет вертолета ширина обрабатываемой полосы составляла 12 м с образованием пленки, толщина которой не превышала 0,3 мм.

3. Дезактивация зданий и сооружений

При дезактивации зданий и сооружений наиболее эффективным, но менее производительным методом является пескоструйная обработка. Двукратная обработка дезактивирующими пленками и струей воды при незначительной скорости дезактивации позволяет достигнуть коэффициента дезактивации, равного 10.

Приведенные в табл. 1 сведения согласуются с данными, полученными по дезактивации этих материалов в Чернобыле.

В целом эффективность дезактивации очень низкая, коэффициент дезактивации бетонных конструкций обработанных дезактивирующими растворами на основе препарата СФ-2У, не превышает 1,5.

Особая трудность возникает при дезактивации вертикальных поверхностей, стен и потолка. Жидкость дезактивирующего раствора стекает, не успевая поглотить радионуклид, особенно в случае глубинного загрязнения, когда необходимо определенное время для извлечения радионуклидов из глубины материала.

Одним из способов дезактивации вертикальных поверхностей является обработка пенами [5], в состав которых входили сорбент - силикагель в смеси с бентонитом. Пену наносили в виде слоя толщиной до 2 см, выдерживали в течение 15-20 мин., а затем удаляли пылеотсасыванием. коэффициент дезактивации стен из пластика составил 38.

Дезактивацию стен помещений проводили пылеотсасыванием, протиркой влажной тряпкой и шлифованием. Первый способ оказался малоэффективным. Установка по дезактивации шлифованием работала на принципе замкнутого цикла – верхний загрязненный слой превращался в пыль, которая отсасывалась пылесосом. Мощность дозы при этом снижалась в 7 - 14 раз [1].

Таблица 1

Результаты дезактивации кирпичных и бетонных поверхностей

Способ дезактивации	Производительность, м ² /мин	эффективность
Пылеотсасывание и последующая обработка щеткой с песком	1,0	80/1,3*
	0,5	70/1,4
	0,25	55/1,8
Металлической щеткой	0,6	40/2,5
Пескоструйный	0,033	5/20
Обработка дезактивирующими латексными пленками:		
однократная	0,25	30/3,3
двукратная	0,125	10/10
Водной струей среднего давления (8 МПа)	5,0	55/1,8
	0,5	28/3,6
	0,1	10/10
Паром	0,2	25/4
Примечание: * – Числитель – оставшаяся активность в %; знаменатель – коэффициент дезактивации.		

4. Дезактивация населенных пунктов

В соответствии с принятой концепцией о невыселении жителей из загрязненных районов вне 30 км зоны в 1987 - 1989 гг. проводилась массовая дезактивация населенных пунктов. Дезактивация населенных пунктов должны была предотвратить эвакуацию населения; она проводилась комплексно – с применением различных способов, по вертикали (кроны деревьев, заборы, крыши, стены зданий) и по горизонтали (территория), с одновременным ремонтом и разборкой обветшалых строений, частичной заменой крыш и заборов, с дозиметрическим контролем. Разработана методика проведения подобной дезактивации [6].

Перед началом дезактивации населенного пункта в 3 - 5 км зоне на прилегающих территориях (пашня, открытые почвы, грунтовые дороги и др.) осуществлялись агротехнические мероприятия и предотвращение пылеобразования для исключения пылепереноса и вторичного радиоактивного загрязнения. Затем проводилось комплексное обследование населенного пункта, включающее радиационную разведку и дозиметрическую паспортизацию подворий.

При дезактивации населенных пунктов применялись следующие способы: срезание загрязненного слоя грунта и замена его на чистый, перепаживание, асфальтирование дорог, обработка зданий дезактивирующими растворами на основе препарата СФ-2У и глинистых суспензий, а в некоторых случаях – обработка помещений.

Дезактивация происходила дифференцированно. При уровне загрязнения по цезию - 137 от 5 до 40 Ки/км² с приусадебных участков, палисадников и газонов убиралась вся растительность, которую закапывали в ямы глубиной не менее 2 м. На дно ям укладывался слой глины толщиной 10 см, который засыпался чистым грунтом толщиной 20 - 25 см. Ямы должны располагаться не ближе 10 м от ближайшего колодца и максимально удалены от жилых помещений. Запрещалось сжигать и использовать в качестве топлива и удобрений растительные остатки. В почву вносили минеральные удобрения (двойной суперфосфат, хлористый либо сернокислый калий) из расчета 5 - 6 ц. на гектар, а сама обработка почвы производилась только после полива с целью предотвращения пылеобразования. В населенных пунктах с уровнем загрязнения цезием - 137 более 40 Ки/км² необходимо было удалить верхний слой грунта на глубину не менее 5 см. Если почва подвергалась вспашке, то удаляемый слой должен был быть толщиной не менее 10 см.

В условиях высокого залегания грунтовых вод загрязненный грунт и мусор собирались в бурты на специально подготовленную глиняную подушку толщиной 15 - 20 см и засыпались чистой землей. Земля увлажнялась и засеивалась быстрорастущими многолетними травами. Мощность

дозы излучения на высоте 1 м от поверхности засыпки не должна превышать 2,8 мР/ч. По окончании всех работ в населенном пункте осуществлялись дезактивация используемой техники, контрольный замер остаточных уровней загрязнений и сдача населенного пункта местным властям.

Дезактивация населенных пунктов трудоемка. Для дезактивации одного подворья с заменой крыш и забора требуется 96 чел.ч [6], не считая трудозатрат по вывозу чистого грунта, завозу материалов и др. Всего для полной дезактивации населенного пункта требуется до 50000 чел.ч. в зависимости от размеров этого пункта [3].

В условиях аварийных выбросов радиоактивных веществ и массового загрязнения без дезактивации различных объектов не обойтись — об этом свидетельствует мировая практика проведения дезактивационных работ до Чернобыльской катастрофы. Опыт работы по снижению последствий Чернобыльской катастрофы подтверждает это положение. Дезактивация дорог, части территории ЧАЭС, зданий, промышленной и строительной площадок была оправдана. Она позволила проводить работы с привлечением крайне необходимого числа людей, не превышая установленные нормы облучения. Дезактивация техники дала возможность использовать ее по прямому назначению. Дезактивация одежды и санитарная обработка способствовала радиационной безопасности людей. Дезактивация дорог, мостов, железнодорожного полотна и многих других объектов создавала необходимые условия для маневра техники, людских и материальных ресурсов.

По истечении двадцати лет после Чернобыльской катастрофы, когда осмыслены ход и исход мероприятий, которые были проведены для снижения ее последствий, представляется возможность всесторонне оценить особенности проведенных дезактивационных работ. В соответствии с этим можно оценить целесообразность массовой и тотальной дезактивации, ее результативность, особенно по отношению к населенным пунктам и местности. За 1986-1990 гг., преимущественно в третий период дезактивации, снято 1685 тыс.м³ верхнего загрязненного грунта и завезено 2805 тыс.м³ чистого грунта. Для перевозки только загрязненного грунта потребовалось 168 тыс. ездов десятитонных самосвалов. Дезактивации подверглись 944 населенных пункта. Такой объем тотальной дезактивации не всегда целесообразен.

Работа на загрязненной местности многих тысяч людей (по линии Гражданской обороны в 1986-1990 гг. в работах участвовало 340 тысяч человек) и использование разнообразных технических средств, неподготовленность к снижению последствий подобных катастроф, неожиданность самой катастрофы, изначальное желание приуменьшить ее масштабы и одним ударом ликвидировать последствия — все это привело к по-

вторному загрязнению объектов, что значительно увеличило масштабы последующих дезактивационных работ.

Катастрофа в Чернобыле придала проблеме дезактивации новые качества. Создалась уникальная возможность сопоставить имеющиеся сведения о дезактивации с практикой ее проведения в Чернобыле и на основании этого сопоставления оценить Чернобыльский опыт, чтобы в дальнейшем избежать допущенных ошибок, промахов и широкомасштабного проведения дезактивационных работ без учета системного подхода.

Вынужденные «успехи» дезактивации после Чернобыльской катастрофы заставили пересмотреть ранее существовавшие взгляды по дезактивации и по-новому представить эту проблему как комплексную, в которой взаимосвязаны способы дезактивации и организация дезактивационных работ, контроль радиационной обстановки и эффективность дезактивации, процессы радиоактивного загрязнения.

Эффективность дезактивации в условиях сплошного радиоактивного загрязнения может быть достигнута только в определенных условиях при помощи эффективного способа и использовании определенных технических средств дезактивации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зимон А.Д., Пикалов В.К. Дезактивация. М.ИЗДАТ, 1994.- 336с. Ил. Библиогр.: 209 назв.
2. Беларусь и Чернобыль: второе десятилетие /НИИ радиологии МЧС РБ; Под ред. И.А. Кеника – Барановичи, 1998.–С.92.
3. Кавунов В.С., Сакулин Г.С., Шадрин Л.Н., Зимон А.Д. Чернобыльская катастрофа: причины и последствия. Ч.1. Минск: Тест. 1993.–С. 199-214
4. Сивинчев Ю.В., Качалов В.А. Чернобыль - пять трудных лет. Обзор. Издат, 1992.– С. 9-34
5. Кузнецов Ю.В., Щebetковский В.И., Бочков А.А. Тр. советско-французского семинара по атомной энергетике.–Л.: Лен. техн. ин-т, 1985.–С. 1-12.
6. Сакулин Г.С. Особенности дезактивации населенных пунктов. Чернобыль. 1987.– С.21-35.