

последствий данных аварий, степень их опасности можно оценить как высокую, но только для объекта в пос. Леонидовка. На других же объектах данные аварии, как указано выше, не представляют реальной опасности, так как химические боеприпасы перевозят в герметичных контейнерах.

В заключение сформулируем основные выводы, полученные при анализе опасностей функционирования объектов по уничтожению ХО, расположенных на территории Российской Федерации. В целом системы безопасности объектов обеспечивают их стабильное функционирование. В то же время нельзя исключать чрезвычайные ситуации, причинами которых могут быть внешние и внутренние факторы.

Реализация внешних опасностей, главным образом, природного характера (ураганы, удары молнии) приводят к пожарам и взрывам, но нельзя исключать и такую техногенную опасность, как падение летательного аппарата. В случае террористических воздействий наибольшую опасность будут представлять выбросы отравляющих веществ, чем пожары и взрывы, поскольку поражающие факторы от воздействия отравляющего вещества выйдут за пределы территории объекта.

При реализации внутренних опасностей большую опасность представляют возможные пожары и взрывы, поскольку количество отравляющего вещества, участвующего в аварии, будет весьма незначительным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Словарь терминов и определений. Изд. 2-е, доп. М.: МГФ «Знание», 1999, 361 с.
2. Еременко В.А., Печеркин А.С., Сидоров В.И. Хим. пром-сть, 1992, № 7, с. 432—437.
3. Колодкин В.М. Количественная оценка риска химических аварий. Под ред. В.М. Колодкина, А.В. Мурина, А.К. Петрова, В.Г. Горского. Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет», 2001, 228 с.
4. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
5. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
6. Евстафьев И.Б., Браун Д.Л. Оценка аварийной опасности системы объектов по хранению и уничтожению химического оружия. Отчет о НИР «Железобетон-Д». 1992, 126 с.
7. Декларация промышленной безопасности объекта по уничтожению химического оружия (пос. Леонидовка, Пензенская область), 2007.

Токсикометрические основы определения границ зон защитных мероприятий при аварийных ситуациях в районах расположения объектов по уничтожению химического оружия

В. Р. Рембовский¹, С. П. Кречетов², В. М. Геращенко³

¹ ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека», Ленинградская область

² ЗАО «ФК Экомир», г. Москва

³ Военная академия войск радиационной, химической и биологической защиты и инженерных войск, г. Кострома

Функционирование объектов по уничтожению химического оружия (ХО) в нормальном режиме предполагает отсутствие превышения санитарно-гигиенических нормативов воздействия вредных производственных факторов на персонал и население, проживающее в районе расположения объектов. Однако нельзя исключать возможные аварии на объекте, поэтому должен быть предусмотрен комплекс защитных мероприятий, которые разрабатываются, исходя из прогнозируемых последствий загрязнения окружающей среды. Неравномерное распределение вредных веществ на местности в результате аварии приводит к неодинаковому вредному воздействию на биообъекты на разных ее участках. В связи с этим прилегающую к химическим объектам территорию целесообразно разбивать на зоны, для которых требуется различное содержание защитных мероприятий.

Определение таких зон может быть осуществлено с учетом вероятности развития и характера поражающих эффектов, возникающих у людей, находящихся на разных участках зараженной местности. Возможные поражения и возможные количества пораженных в значительной степени определяют объем необходимых защитных мероприятий и объем необходимой медицинской помощи [1]. В соответствии со сформулированным принципом на предположительно заражаемой в результате типовой аварии территории вокруг химического объекта можно выделить следующие зоны: 1) зона, пребывание в которой не вызывает значимых проявлений у людей каких-либо патологических эффектов (зона отсутствия эффектов); 2) зона, в результате пребывания в которой возникают обратимые изменения состояния органов и систем, выходящие за пределы приспособительных реакций (зона пороговых эффектов); 3) зона, в

результате пребывания в которой развиваются необратимые патологические изменения (зона патологических эффектов); 4) зона, пребывание в которой может привести к смерти (зона смертельных исходов); 5) зона, пребывание в которой приводит к смерти практически всех попавших в нее людей (абсолютно смертельная зона). Выделение последней зоны, несмотря на совпадение определяющего ее биологического эффекта с предыдущей, обусловлено тем, что при высокой вероятности смертельных поражений требуется особый комплекс защитных мероприятий вплоть до исключения проживания людей на соответствующей территории. Отметим также некоторую условность выделения зоны отсутствия эффектов. Воздействие вредных веществ в данной области не будет вызывать отклонений в состоянии здоровья, регистрируемых современными методами, но в этом случае возможно превышение предельно допустимого содержания токсикантов. При такой ситуации, по-видимому, не потребуются проведения каких-либо существенных защитных мероприятий, особенно в период непосредственно после аварии.

Для вероятностной оценки событий введены величины максимальной вероятности η^{sup} (от англ. superior — высший), по которой событие рассматривается как практически невозможное, и минимальной вероятности η^{inf} (от англ. inferior — низший), характеризующей событие как практически достоверное. Практически все границы выделенных зон защитных мероприятий можно определить, исходя из значений максимально допустимых вероятностей η^{sup} появления характеризующих эти зоны биологических эффектов [2]. Установление значений η^{sup} (в данном случае это максимально допустимые вероятности биологических эффектов) требует специального обоснования, поскольку соответствует допущению определенного количества пораженных в случае аварийной ситуации. При решении сходной задачи в работе Э. Карлссона и др. [2] без какого-либо обоснования в качестве критерия для определения границы территории опасного загрязнения в результате аварии на объекте по хранению ХО в Камбарке выбрана вероятность смертельного исхода, равная 0,05. В рамках статистических подходов это согласуется с положением о том, что отдельное событие может рассматриваться как практически нереальное, если его вероятность не превышает 0,05 [3, 4].

При использовании η^{sup} для определения границ зон безопасности рассчитываются координаты точек, ограничивающих территорию, на которой выполняется условие

$$D \geq ED\eta^{\text{sup}}$$

где D — доза воздействия вредного вещества на биообъект в данной точке в случае аварии; $ED\eta^{\text{sup}}$ — доза воздействия, которая приводит к появлению биологического эффекта с вероятностью $E\eta^{\text{sup}}$; знаку равенства в выражении соответствует граница зоны.

Согласно приведенным выше определениям зон защитных мероприятий, внешняя граница зоны поро-

вых эффектов (внутренняя граница зоны отсутствия эффектов), внешняя граница зоны патологических эффектов и внешняя граница зоны смертельных исходов соответственно отвечают условиям

$$D = PD\eta^{\text{sup}} \quad (1)$$

$$D = ID\eta^{\text{sup}} \quad (2)$$

$$D = LD\eta^{\text{sup}} \quad (3)$$

где $PD\eta^{\text{sup}}$ — доза, воздействие которой вызывает пороговый эффект с вероятностью $P\eta^{\text{sup}}$; $ID\eta^{\text{sup}}$ — доза, воздействие которой вызывает патологические изменения с вероятностью $I\eta^{\text{sup}}$; $LD\eta^{\text{sup}}$ — доза, воздействие которой вызывает смертельные исходы с вероятностью $L\eta^{\text{sup}}$.

Необходимо принимать во внимание, что воздействие вредных веществ, в том числе отравляющих, может вызывать несколько патологических изменений и каждому из них будет соответствовать свое значение $ID\eta^{\text{sup}}$. Очевидно, что для расчета внешней границы зоны патологических эффектов должно быть использовано наименьшее значение.

Условие, определяющее внешнюю границу абсолютно смертельной зоны, требует задания другой величины — минимальной вероятности $L\eta^{\text{inf}}$, при которой смертельный исход рассматривается как практически достоверное событие. Для установления минимальной вероятности, также как и максимально допустимой вероятности появления биологических эффектов, требуется специальное обоснование, однако оно необходимо, по-видимому, лишь для случая, когда в зону смертельных исходов входят жилые территории. Если же в зоне смертельных исходов нет жилья, то выделение абсолютно смертельной зоны может быть проведено, исходя из значений абсолютно смертельной дозы вредного вещества. По существующим определениям это минимальная доза, при которой воздействие вредного вещества вызывает гибель всех биообъектов [5—7]. Однако такое определение не соответствует вероятностному подходу, согласно которому не существует дозы, вызывающей эффект с вероятностью 1,0. Поэтому в токсикометрических исследованиях, ориентированных на учет распределения чувствительности биообъектов к вредным веществам, в качестве абсолютно смертельных доз рассматриваются дозы с эффективностью ниже 1,0, но выше 0,95 [5].

В соответствии с изложенным для расчета координат точек внешней границы абсолютно смертельной зоны можно использовать величину $L\eta^{\text{inf}} = 0,95$ в случае, если зона смертельных исходов не охватывает населенных территорий. Условие, определяющее эту границу, записывается в виде

$$D = LD\eta^{\text{inf}} \quad (4)$$

где $LD\eta^{\text{inf}}$ — доза вредного вещества, которая вызывает смертельный исход с вероятностью $L\eta^{\text{inf}}$.

Совокупность соотношений (1)—(4) представляет общий вид критериев, которые могут быть использованы для определения границ зон с различным содержанием мероприятий, направленных на подготовку к воз-

можным аварийным ситуациям на объектах по хранению и уничтожению ХО.

Использование условий (1)—(4) для определения координат точек, образующих границы зон защитных мероприятий, предполагает их «стыковку» с данными о динамике содержания вредных веществ на зараженной территории [8, 9], т.е. необходим способ расчета поступающей в организм биообъекта дозы вредного вещества, использующий данные о распределении вещества в окружающей среде и данные об изменении распределения во времени. Полная формулировка закономерностей поступления вредного вещества из окружающей среды в организм требует учета большого количества факторов. Однако в случае аварийной ситуации задача может быть упрощена — исходят из определяющего значения ингаляционного пути поступления вещества (пары и аэрозоли) [2]. Другие пути поступления (контакт с веществом в твердом или жидком состоянии, контакт с зараженными объектами окружающей среды, прием зараженных пищи и воды) не играют существенной роли на основной части зараженной территории, за исключением ограниченной территории объекта, оказавшейся в непосредственной близости от источника заражения. Наиболее правомочно последнее допущение, когда сразу после аварии идет формирование и распространение облака паров или аэрозоля вредного вещества.

Поскольку защитные мероприятия должны включать максимально быструю эвакуацию людей за пределы зоны пороговых эффектов и устранение любых причин вторичного поражения (зараженные одежда, служебные и личные вещи и т.п.), то ориентация только на ингаляционное поступление вредного вещества в организм может быть дополнена ограничением на продолжительность пребывания на зараженной территории $t_{инг}$ — времени с момента аварии t до момента эвакуации с зараженной территории $t+t_{инг}$. Установление величины $t_{инг}$ является еще одной частной задачей, требующей специального обоснования. Время пребывания на зараженной территории $t_{инг}$ зависит от особенностей объекта, существующих систем оповещения и эвакуации, удаленности точки от объекта, метеоусловий и ряда других факторов. Однозначная конкретизация $t_{инг}$ возможна лишь в случае отсутствия мероприятий по эвакуации, тогда $t_{инг} = \infty$. Отметим, что в приводимом ниже в общем виде решении задачи определения границ зон защитных мероприятий нет необходимости раздельно рассматривать время пребывания людей на зараженной территории и время подхода зараженного облака к интересующей точке. Это можно сделать при проведении конкретных расчетов.

При ограничении ингаляционным воздействием в качестве меры воздействия дозы вредного вещества $D_{инг}$ используется величина, равная произведению его концентрации C на время пребывания биообъектов в зараженной атмосфере $t_{инг}$ [6, 7, 10—15]:

$$D_{инг} = C \cdot t_{инг} \quad (5)$$

С определенной степенью приближения можно считать, что одно и то же проявление биологической ак-

тивности, в частности, одна и та же вероятность появления биологического эффекта, достигается при разных соотношениях C и $t_{инг}$, если при этом значение $D_{инг}$ не изменяется. Для более точного расчета величины $D_{инг}$, характеризующей токсическое действие при ингаляционном поступлении вредного вещества, предлагается использовать выражение, в котором концентрация записывается в n -ой степени [2, 12, 15]:

$$D_{инг} = C^n \cdot t_{инг} \quad (6)$$

Значение показателя степени n определяется экспериментальным путем для конкретного вещества. Использование выражения (6) позволяет расширить интервал концентраций, при которых имеет место независимость меры токсического воздействия $D_{инг}$ от соотношения C и $t_{инг}$ по сравнению с интервалом концентраций, при которых применима формула (5).

Использование величин (5) и (6) в качестве меры токсического воздействия вещества при ингаляционном поступлении затрудняется тем обстоятельством, что концентрация вещества в атмосфере зараженной территории изменяется во времени $C = C(t_{инг})$. Для преодоления данной проблемы время воздействия $t_{инг}$ необходимо разбить на N небольших промежутков Δt_i , в пределах которых концентрацию вещества можно считать практически постоянной. Тогда ингаляционная доза, соответствующая $t_{инг}$, может быть представлена суммой доз, соответствующих каждому промежутку времени

$$D_{инг} = \sum_{i=1}^N C^n(t) \cdot \Delta t_i \quad (7)$$

При $N \rightarrow \infty$ и $\max_{1 \leq i \leq N} \Delta t_i \rightarrow 0$ сумма (7) может быть заменена определенным интегралом

$$D_{инг} = \int_t^{t+t_{инг}} C^n(t) dt \quad (8)$$

В рамках задачи, не предусматривающей мероприятия по эвакуации людей из зараженной зоны ($t_{инг} = \infty$), выражение (8) записывается в виде

$$D_{инг} = \int_t^{\infty} C^n(t) dt$$

Приведенное выражение позволяет свести получаемые ниже выражения общего вида к несобственным интегралам с бесконечными верхними пределами, что конкретизирует решение задачи для условий, предполагающих продолжительное и неконтролируемое пребывание людей в зараженной атмосфере.

Если учесть, что концентрация вредного вещества является функцией координат x_1 и x_2 точки, в которой находится биообъект на загрязненной территории, то выражение (8) можно записать так:

$$D_{инг} = \int_t^{t+t_{инг}} C^n(t, x_1, x_2) dt \quad (9)$$

Подстановка в выражение (9) доз с эффективностью в соответствии с условиями (1)—(4) приводит к уравнениям в общем виде изоэффективных линий, являющихся границами зон защитных мероприятий:

$$\int_t^{t+t_{\text{инг}}} C^n(t, x_1, x_2) dt = PD\eta_{\text{инг}}^{\text{sup}} \quad (10)$$

$$\int_t^{t+t_{\text{инг}}} C^n(t, x_1, x_2) dt = ID\eta_{\text{инг}}^{\text{sup}} \quad (11)$$

$$\int_t^{t+t_{\text{инг}}} C^n(t, x_1, x_2) dt = LD\eta_{\text{инг}}^{\text{sup}} \quad (12)$$

$$\int_t^{t+t_{\text{инг}}} C^n(t, x_1, x_2) dt = LD\eta_{\text{инг}}^{\text{inf}} \quad (13)$$

Уравнения (10)—(13) — это конкретизация критериев общего вида (1)—(4) для определения границ зон защитных мероприятий с учетом ориентации на определяющее влияние ингаляционного воздействия, особенностей зависимости ингаляционной дозы вредного вещества от его концентрации в зараженной атмосфере (показатель степени n в подинтегральном выражении) и с учетом того, что концентрация вредного вещества в атмосфере зараженной территории является функцией координат и времени. Для расчета по этим уравнениям координат точек, образующих границы выделенных зон, требуется знание конкретных значений критериальных доз $PD\eta_{\text{инг}}^{\text{sup}}$, $ID\eta_{\text{инг}}^{\text{sup}}$, $LD\eta_{\text{инг}}^{\text{sup}}$, $LD\eta_{\text{инг}}^{\text{inf}}$ и явного вида функции $C(t, x_1, x_2)$

Решение первой задачи строится на результатах токсикометрических измерений [16, 17]. Для решения второй задачи требуется анализ возможных аварийных ситуаций на объектах по уничтожению ХО и моделирование очагов загрязнения [8, 9].

ЛИТЕРАТУРА

- Ильин Л.А., Куценко С.А., Саватеев Н.В. и др. Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 1990, т. 35, № 4, с. 440—447.
- Карлссон Э., Конберг М., Руни П. и др. Там же, 1995, т. 39, № 4, с. 79—88.

- Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ. Пер. с англ. М.: Мир, 1982, 488 с.
- Шметтерер Л. Введение в математическую статистику. Пер. с англ. М.: Наука, 1976, 520 с.
- Количественная токсикология. Ред. А.А. Голубев, Е.И. Люблина, В.А. Филов, Н.А. Толоконцев. Л.: Медицина, 1973, 287с.
- Военная токсикология, радиология и медицинская защита. Под ред. Н.В. Саватеева. Л.: Воен. мед. академия, 1978, 304 с.
- Саноцкий И.В., Уланова И.П. Критерии вредности в гигиене и токсикологии при оценке опасности химических соединений. М.: Медицина, 1975, 328 с.
- Колодкин В.М., Мурин А.В., Петров А.К., Горский В.Г. В сб.: Количественная оценка риска химических аварий. Под ред. В.М. Колодкина. Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет», 2001, 228 с.
- Горский В.Г., Швецова-Шиловская Т.Н., Путилов А.В. 15 Междунар. научная конф. «Математические методы в технике и технологиях», Тамбов, 4—6 июня, 2002. ММТТ-15: Сб. тр. Т. 4. Секц. 4. Тамбов, 2002, с. 55—58.
- Лошадкин Н.А., Полуикстов Ю.М. Военная токсикология и вопросы защиты от химического оружия. М.: ВАХЗ, 1985, 188 с.
- Методы определения токсичности и опасности химических веществ. Под ред. И.В. Саноцкого. М.: Медицина, 1970, 344 с.
- Куценко С.А. Основы токсикологии. СПб.: Фолиант, 2004, 715 с.
- Hayes A.W. Principles and Methods of Toxicology. New York: Raven Press, 1982, 750 p.
- Inhalation toxicology. Ed. by H. Salem. New York, Marcel Dekker, inc., 1987, 453 p.
- Лошадкин Н.А., Гладких В.Д., Голденков В.А. и др. Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2002, т. 46, № 6, с. 63—67.
- Алимов Н.И., Рембовский В.Р., Кречетов С.П., Попович В.И., Геращенко В.М. Токсикол. вестник, 2005, № 4, с. 6—12.
- Семенова М.А., Горский В.Г., Швецова-Шиловская Т.Н., Полежаева О.В. 15 Междунар. научная конф. «Математические методы в технике и технологиях», Тамбов, 4—6 июня, 2002, ММТТ-15: Сб. тр. Т. 4. Секц. 4, Тамбов, 2002, с. 66—69.

Состояние атмосферного воздуха, поверхностных вод, почвы в зонах защитных мероприятий объектов по уничтожению химического оружия (исследования 2008—2009 гг.)

В. Г. Булгаков¹, В. Н. Чупис², К. И. Васильева¹, Н. Н. Лукьянова¹, И. В. Косых¹, К. В. Лунева¹

¹ Институт проблем мониторинга ГУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск

² ФГУ «Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии» (ФГУ «ГосНИИЭНП»)

Для обеспечения безопасности людей и защиты окружающей среды в зонах влияния объектов по хранению и уничтожению химического оружия (ХО) разработан ряд мероприятий, в том числе установление зон защитных мероприятий и проведение экологического

мониторинга состояния окружающей среды на этих территориях.

Мониторинг состояния окружающей среды в зонах защитных мероприятий проводится системами государственного экологического контроля и мониторинга