

Проблемы обеспечения технической безопасности уничтожения химического оружия

УДК 623.459.004.74 : 65.011.56

Исследование возможности автоматизированного управления силами и средствами по ликвидации последствий аварий на объектах хранения и уничтожения химического оружия

Кандидат технических наук, ведущий специалист ОАО «Редкинское ОКБА» **А. Г. Творожников**, кандидат физико-математических наук, ведущий инженер ОАО «Редкинское ОКБА» **А. Я. Алешин**, Генеральный директор ОАО «Редкинское ОКБА» **В. У. Мухидов**

Создать объекты хранения и уничтожения химического оружия с нулевым риском аварии при их эксплуатации, как и других сложных химико-технологических процессов и объектов, невозможно и вероятность аварийных ситуаций всегда остается. В случае аварии в атмосферу, на поверхность земли и в водоисточники может поступить большое количество токсичных химических веществ, что приведет к поражению людей и заражению обширных территорий и потребует значительных затрат на ликвидацию последствий аварии.

Для снижения масштабов последствий аварий важное значение имеют достоверный прогноз возможных последствий, правильность анализа возникшей обстановки и качество оперативного руководства силами и средствами аварийного реагирования.

При создании объектов хранения и уничтожения химического оружия основные усилия были направлены на снижение вероятности возникновения аварий и ужесточение санитарных, гигиенических и экологических требований к технологии и объектам, а вопросам повышения эффективности мероприятий по ослаблению последствий аварий должного внимания не уделялось [1, 2]. Поэтому возникла проблема надежного прогнозирования химической обстановки и оперативного управления силами и средствами объектов при возникновении ситуаций, связанных с аварийным высвобождением токсичных химических веществ. Решением указанной проблемы должно быть обеспечение соответствующих служб объектов автоматизированной системой для оперативного руководства штатными и предоставляемыми силами и средствами и методами взаимодей-

ствия с местными органами государственной власти, с заинтересованными подразделениями и министерствами и ведомствами (МЧС РФ, МВД РФ и др.). Это позволит минимизировать масштабы последствий возможных аварий и уменьшить размеры устанавливаемых вокруг объектов зон, на которых проводятся защитные мероприятия.

Процесс образования облака зараженного воздуха как объект управления в аварийных ситуациях

Масштабы последствий аварий и размеры зон проведения защитных мероприятий зависят от размеров возникшего при авариях (разрушениях) и распространяющегося в атмосфере облака зараженного воздуха. Следовательно, цель функционирования автоматизированной системы обеспечения оперативного руководства в аварийных ситуациях — это минимизация пространственных границ проявления поражающего действия облака зараженного воздуха. Поскольку нормирование выбросов токсичных химических веществ ниже предельно допустимого уровня гарантирует безопасность для персонала объекта и населения, то автоматизированная система должна обеспечивать минимизацию объема облака зараженного воздуха, образовавшегося при авариях (разрушениях) на объектах хранения и уничтожения химического оружия, с концентрацией веществ на границе облака, не превышающей ПДК.

Сформулированная цель является постановкой задачи оптимизации. Для ее решения необходимо располагать ресурсами оптимизации, под которыми понимают свободу выбора значений некоторых параметров оптимизируемого объекта. Другими словами, объект оптимизации должен

обладать определенными степенями свободы — управляющими воздействиями, которые позволяют изменять его состояние в соответствии с теми или иными требованиями.

Для анализа основных групп параметров, определяющих течение любого процесса и характеризующих его состояние в любой момент времени, необходимо рассмотреть оптимизируемый процесс как объект управления.

Анализ процесса образования облака зараженного воздуха как объекта управления

Обозначим количество той или иной примеси, содержащейся в единице объема воздуха, т.е. концентрацию примеси через C_a , а скорость поступления примеси в воздух от источника, т.е. интенсивность источника примеси через F . Зависимость скорости изменения концентрации примеси во времени в произвольной точке пространства $\partial C_a / \partial t$ определяется расположением в пространстве источников примеси и рядом параметров, в число которых входят составляющие скорости ветра u, v, w соответственно вдоль осей x, y, z , коэффициенты атмосферной турбулентности k и др. [3].

В общем виде эта зависимость выражается дифференциальным уравнением баланса примеси, или уравнением переноса примеси:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_a}{\partial t} = & -u \frac{\partial C_a}{\partial x} - v \frac{\partial C_a}{\partial y} - w \frac{\partial C_a}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial C_a}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial C_a}{\partial y} \right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial C_a}{\partial z} + W_a C_a \right) + F + R - P - W = \end{aligned} \quad (1)$$

$$= f(u, v, w, k, W_a, F, R, P, W)$$

где W_a — собственная вертикальная скорость примеси; R и P — скорость образования и уничтожения примеси в результате химических реакций, соответственно; W — скорость выпадения примеси на подстилающую поверхность.

Уравнение (1) показывает, что перенос примеси в движущейся среде обусловлен двумя физическими факторами: во-первых, при наличии разности концентраций идет процесс молекулярной диффузии; во-вторых, частицы примеси увлекаются движущейся средой и переносятся вместе с ней.

Для определения скорости изменения концентрации примеси в любой точке заданного пространства $\partial C_a / \partial t$ на основе уравнения (1) должны быть заданы параметры u, v, w (составляющие скорости ветра, определяемые путем измерений), а также величины W_a, F, R, P, W . Кроме того, должны быть заданы концентрационные условия на границах области расчета. Если область расчета ограничена сверху поверхностью $z = H$ (слой над поверхностью земли), а снизу — земной

поверхностью $z = 0$, то концентрационные условия на этих границах обычно задаются в виде:

$$\text{при } z = H \quad C_a = 0 \text{ или } k \frac{\partial C_a}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

$$\text{при } z = 0 \quad k \frac{\partial C_a}{\partial z} + W_a C_a = \beta C_a \quad (3)$$

При рассмотрении примеси в слое толщиной H порядка 2—5 км условия (2) означают исчезновение примеси или ее вертикального потока на этой границе. Условие (3) (ограничение земной поверхностью) имеет смысл равенства суммы вертикального турбулентного потока и потока примеси при ее гравитационном оседании на поверхность количеству примеси, поглощаемой поверхностью, βC_a , где β — коэффициент аккомодации, зависящий от физических свойств подстилающей поверхности, наличия на ней растительности или застроек.

Тогда критерий оптимальности процесса образования облака зараженного воздуха, т.е. условие минимизации объема зараженного облака

$$V_0 = F(\bar{X}, \bar{U}, C_a, t) \rightarrow \min \quad (4)$$

в общем виде можно записать системой следующих соотношений:

$$\begin{aligned} \partial C_a / \partial t = & f(u, v, w, k, W_a, F, R, P, W) = f(\bar{X}, \bar{U}) \\ C_a(x, y, z, t, h_0) & \leq \text{ПДК} \quad (5) \\ x_{\min} \leq x \leq x_{\max} & \quad (6) \\ y_{\min} \leq y \leq y_{\max} & \quad (7) \\ 0 \leq z \leq z_{\max} & \quad (8) \\ 0 \leq t \leq t_{\text{дир}} & \quad (9) \end{aligned}$$

где $C_a(x, y, z, t, h_0)$ — концентрация токсичного химического вещества в точке с координатами x, y, z в момент времени t от источника, расположенного на высоте h_0 ; \bar{X}, \bar{U} — векторы входных и управляющих параметров; $t_{\text{дир}}$ — директивное время локализации аварии.

На практике процессом уменьшения размеров облака зараженного воздуха можно управлять посредством создания мелкодисперсных водяных завес на пути распространения облака, а также экранированием участка пролива сорбентами, пенными составами и др.

Анализ возможных сценариев развития чрезвычайных ситуаций на объектах хранения и уничтожения химического оружия показывает, что основными вариантами выбросов токсичных химических веществ в окружающую среду являются:

— разрушение одной или нескольких цистерн (емкостных элементов) с полным проливом вещества на поверхность земли и бетонную поверхность поддона;

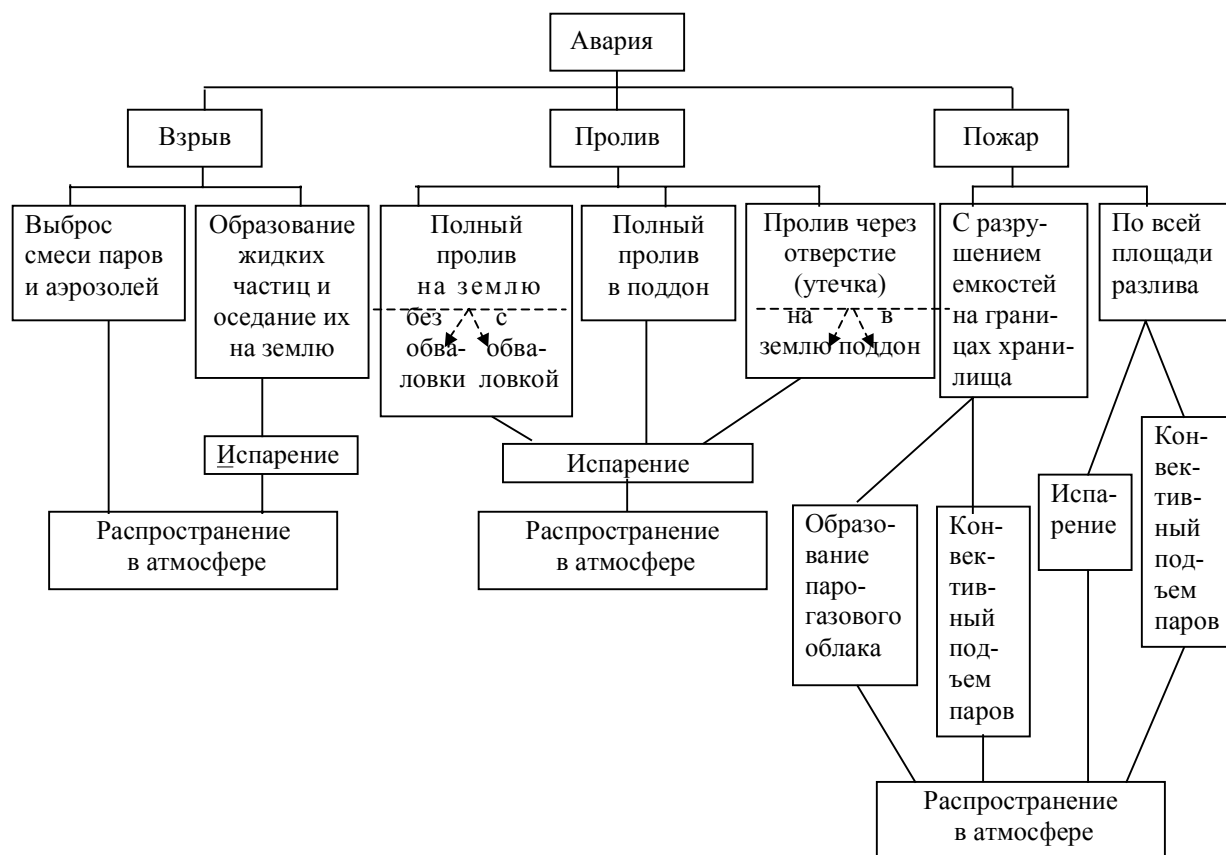


Рис. 1. Основные варианты образования облака зараженного воздуха при возможных авариях (на примере объекта «Горный»)

— обрыв (разрушения) трубопроводов перекачки и подачи токсичного химического вещества в промежуточные емкости и транспортные контейнеры;

— разрушение контейнеров и боеприпасов вследствие пробоя при транспортировке и расснаряжении;

— взрывы аппаратуры, при которых токсичные вещества поступают в атмосферу в виде пара или высокодисперсного аэрозоля;

— нарушение целостности боеприпасов на станке расснаряжения с проливом части отравляющего вещества;

— возникновение пожаров на объектах уничтожения химического оружия.

В качестве наиболее вероятных путей поступления токсичных химических веществ в атмосферу можно выделить:

1) высокотемпературные выбросы в атмосферу, которые по времени протекания могут быть кратковременными или продолжительными (взрывы, пожары);

2) вылив больших количеств вещества на различные поверхности с последующим испарением.

На примере химического объекта «Горный» на рис. 1 представлены основные варианты процесса образования облака зараженного воздуха при возможных авариях на объектах хранения и уничтожения химического оружия.

Схема дифференциации основных вариантов процессов образования облака зараженного воздуха (см. рис. 1) позволяет провести декомпозицию сложного процесса образования и распространения этого облака на более простые составляющие, что упрощает разработку математического и программного обеспечения при решении задачи оперативного управления действиями по ликвидации аварийной ситуации.

Модель автоматизированной системы управления по ликвидации последствий химического заражения

Процесс управления силами и средствами ликвидации последствий аварий с высвобождением токсичных химических веществ может быть организован только на основе математического моделирования прогнозирования химической обстановки, так как этот процесс существует в «единственном экземпляре».

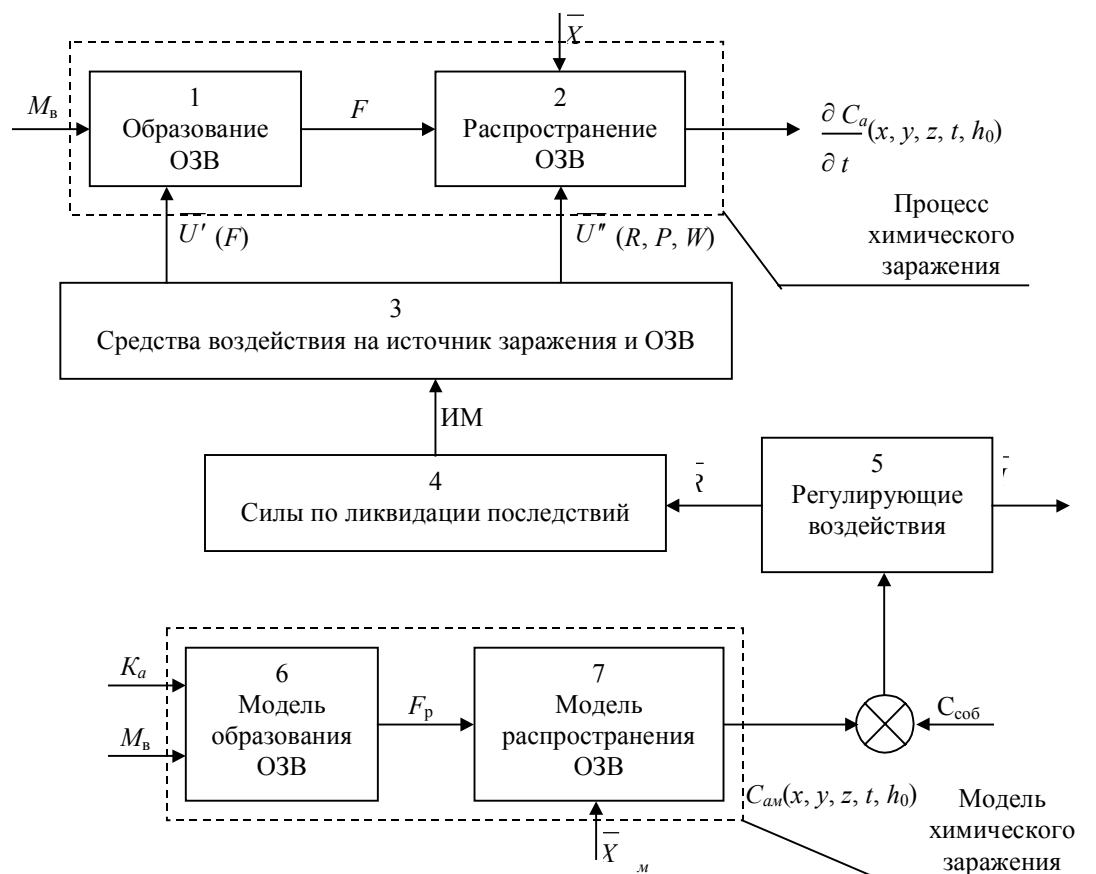


Рис. 2. Структурная схема автоматизированной системы оперативного управления силами и средствами по ликвидации последствий аварийного высвобождения токсичных химических веществ.

ОЗВ — облако зараженного воздуха,

M_b — масса высвободившегося токсичного химического вещества,

F — производительность источника химического заражения,

$\bar{X}(u, x, w, k, W_a)$ — вектор входных параметров,

$\bar{U}'(F)$ — управление, направленное на уменьшение (ликвидацию) поступления токсичного вещества в ОЗВ,

$\bar{U}''(R, P, W)$ — управления, направленные на обеднение ОЗВ,

\bar{R} — регулирующие воздействия, необходимые для осуществления управлений \bar{U}' и \bar{U}'' ,

\bar{I} — информация о химическом заражении объектов хранения и уничтожения химического оружия и прилегающих населенных пунктов,

ИМ — действие сил по обеспечению воздействия на источник заражения и ОЗВ (исполнительный механизм),

K_a — класс аварии (пролив, взрыв, пожар),

F_p — расчетная производительность источника заражения,

$C_{ам}(x, y, z, t, h_0)$ — концентрация токсичного вещества в прогнозируемом ОЗВ в точке с координатами x, y, z в момент времени t от источника, расположенного на высоте h_0 ,

$C_{соб}$ — нормативный показатель концентрации токсичного вещества, например, стандарт относительной безопасности,

\bar{X}_m — метеорологические и другие данные.

В модели управления $\bar{X}(F, R, P, W_a)$ — входные параметры, $\bar{U}(F, R, P, W)$ — управляющие параметры. Значения входных параметров могут быть измерены, но возможность воздействия на них отсутствует. На управляющие параметры можно оказывать воздействие в соответствии с теми или иными требованиями, но измерить их невозможно.

Структурная схема автоматизированной системы управления показана на рис. 2. В основу схемы положен процесс химического заражения при аварии, включающий образование облака зараженного воздуха (блок 1) и его распространение в атмосфере (блок 2). Автоматизированная система оперативного управления функционирует следую-

щим образом. При возникновении аварии (поступление токсичного вещества в атмосферу) информация, содержащая данные о характере аварии (пролив, взрыв, пожар), месте аварии, типе токсичного вещества и его массе, поступает в модель прогнозирования, имеющую ту же структуру, что и процесс химического заражения: модель образования облака зараженного воздуха (блок 6) и модель его распространения (блок 7). В модель процесса химического заражения также поступают необходимые для моделирования данные (метеорологические и др.).

Результаты моделирования — концентрация токсичного вещества в заданной точке $C_{ам}$ с координатами x, y, z сравнивается (в элементе сравнения 8) с нормативным показателем $C_{соб}$. В случае $C_{ам} \geq C_{соб}$ производится оповещение о химическом заражении, формируются регулирующие воздействия, представляющие собой необходимые мероприятия по уменьшению (ликвидации) поступления токсичного вещества в облако зараженного воздуха (перекачка вещества в резервные емкости, закрытие источника сорбентом, применение пенообразующих укрывающе-дегазирующих огнетушащих средств и т.п.) и обеднению зараженного воздуха (создание водяных завес, использование дегазаторов и т.п.) в соответствии с наставлениями и методиками по ликвидации последствий аварий.

Получив рекомендации по необходимым воздействиям на источник химического заражения и на облако зараженного воздуха, силы (штатные и приданные) по ликвидации последствий (блок 4) через технические средства (насосы, мотопомпы и другие штатные средства объектов) реализуют эти воздействия.

Таким образом, возможно автоматизированное оперативное управление силами и средствами при аварийных

высвобождениях токсичных химических веществ на объектах хранения и уничтожения химического оружия.

Заключение

Предложенный способ управления позволяет создать эффективную автоматизированную систему оперативного управления силами и средствами по ликвидации последствий аварийных ситуаций на объектах хранения и уничтожения химического оружия. Система управления может быть построена только на основе математического моделирования процессов образования и распространения облака зараженного воздуха.

Приведенные результаты исследования могут быть использованы при создании систем экологической безопасности в отраслях промышленности, связанных с производством и переработкой токсичных химических и радиоактивных веществ, а также для обучения персонала объектов хранения и уничтожения химического оружия и личного состава подразделений радиационной, химической и биологической защиты действиям при возникновении аварийных ситуаций и ликвидации последствий аварий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика выявления и оценки химической обстановки при разрушении (аварии) объектов, содержащих СДЯВ. М: ГШВС, 1989, 116 с.
2. Батырев В.В., Минько С.М. и др. Обоснование размеров зоны защитных мероприятий вокруг объектов по хранению и уничтожению химического оружия. Отчет по НИР «Вагонетка-О», этап 2. Новгород: АГЗ, 1998, 184 с.
3. Белов П.Н. Географическое прогнозирование и охрана природы: Сб. науч. тр. Под ред. Т.В. Звонковой, Н.С. Касимова. М.: Изд-во МГУ, 1990, 176 с.