

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГЛУБИНЫ ЗОН ЗАРАЖЕНИЯ В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Котов Д.С.¹, Саечников В.А.², Котов С.Г.³

*¹ Научно-инженерное республиканское унитарное предприятие
«Геоинформационные системы»*

*² Факультет радиофизики и компьютерных технологий Белорусского
государственного университета.*

*³ Департамент по надзору за безопасностью ведения работ в промышленности
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь*

В настоящее время по-прежнему является актуальным вопрос разработки методов динамического моделирования при чрезвычайных ситуациях (ЧС) на химически опасных объектах (ХОО) [1].

Основным методом прогнозирования максимальной зоны заражения при ЧС на ХОО является методика, приведенная в [2].

В [3] методика оценки последствий ЧС на ХОО [2] модифицирована и рекомендована для моделирования полей концентрации загрязняющего вещества при таком виде ЧС, как наличие в атмосферном воздухе вредных веществ выше предельно допустимых концентраций. В [4] для этого вида ЧС предложена модифицированная методика прогнозирования распространения опасного вещества, позволяющая благодаря учету вероятности изменения направления и скорости ветра более точно спрогнозировать зону загрязнения.

Несмотря на наличие новых методик, в [5] отмечено, что в настоящее время в органах и подразделениях Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС РФ) и Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (МЧС РБ), а также в автоматизированных информационно-управляющих системах и системах поддержки принятия решений (АИУС и СППР) ХОО [6] расчеты по оценке обстановки при ЧС с выбросом АХОВ хотя и автоматизированы, но производятся по методике [2].

Согласно [2] неизменными метеорологические условия могут быть не более 4 часов. Если рассмотреть приложение 2, к указанному техническому нормативному правовому акту, то можно увидеть, что такой метеорологический параметр, как степень вертикальности устойчивости воздуха, может меняться и в течение более короткого времени. Например, если ЧС произошла перед восходом солнца, при ясном небе, без снежного покрова и скорости ветра 2 м/с, степень вертикальной устойчивости будет инверсия, с восходом солнца степень вертикальной устойчивости будет уже изотермия, а через два часа после восхода солнца – конвекция.

Опыт испытаний и эксплуатации аппаратно-программных комплексов (АПК) в составе АИУС и СППР МЧС РБ показал, что и другие метеорологические параметры (направление ветра, его скорость, температура

воздуха) также, в ряде случаев, сильно меняются в течение небольшого промежутка времени. При этом АПК выдает эти параметры в реальном времени, в то время как алгоритмическое обеспечение АПК позволяет прогнозировать максимальную зону заражения только для метеорологических условий, сложившихся на момент ЧС.

Таким образом, чтобы в полной мере использовать аппаратные возможности АПК, необходима разработка алгоритмического обеспечения расчета и визуализации зон заражения в изменяющихся метеорологических условиях. Создание такого алгоритмического обеспечения, на момент начала исследования, осложнялась отсутствием методики прогнозирования максимальной зоны заражения в изменяющихся метеорологических условиях. В настоящей работе представлены теоретические основы прогнозирования глубины зон заражения в изменяющихся метеорологических условиях.

Расчет глубины максимальной зоны заражения для АХОВ, являющимися сжатыми газами, ведется только по первичному облаку; для АХОВ, являющихся жидкостями, кипящими выше температуры окружающей среды, – по вторичному облаку; для АХОВ, являющихся сжиженными газами – по первичному и вторичному облаку, при разрушении химически опасного объекта (при выбросе одновременно нескольких АХОВ) – по вторичному облаку [2].

В общем виде расчет максимальной зоны заражения для АХОВ, являющегося сжатым газом, согласно [2] включает: расчет эквивалентного количества вещества в первичном облаке; расчет глубины заражения первичным облаком; расчет глубины переноса воздушных масс, нахождение окончательной глубины максимальной зоны заражения.

Количество эквивалентного вещества в первичном облаке ($Q_{э1, т}$) рассчитывается по формуле [2]:

$$Q_{э1} = K_1 K_3 K_5 K_7 Q_0, (1)$$

где: K_1 – безразмерный коэффициент, зависящий от условий хранения АХОВ (для сжатых газов $K_1 = 1$);

K_3 – безразмерный коэффициент, равный отношению токсодозы хлора к пороговой токсодозе, другого АХОВ;

K_5 – безразмерный коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости воздуха: принимается равным: для инверсии – 1, для изотермии – 0,23, для конвекции – 0,08;

K_7 – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха (для сжатых газов $K_7 = 1$);

Q_0 – количество выброшенного при аварии АХОВ, т.

Как видно из формулы (1) количество эквивалентного количества вещества в первичном облаке для сжатых газов зависит от метеорологических условий: с изменением степени вертикальной устойчивости воздуха изменяется значение коэффициента K_5 . Вследствие этого, изменяется значение эквивалентного количества вещества в первичном облаке АХОВ и глубина заражения первичным облаком.

Расчет максимальной зоны заражения для АХОВ, являющегося жидкостью кипящей выше температуры окружающей среды, согласно [2] включает: расчет эквивалентного количества вещества во вторичном облаке; расчет глубины заражения вторичным облаком; расчет глубины переноса воздушных масс, нахождение окончательной глубины зоны заражения.

Для АХОВ, являющимися жидкостями, кипящими выше температуры окружающей среды, эквивалентное количество вещества во вторичном облаке ($Q_{э2}$, т) рассчитывается по формуле [2]:

$$Q_{э2} = (1 - K_1)K_2K_3K_4K_5K_6K_7\frac{Q_0}{hd}, \quad (2)$$

где: K_2 – безразмерный коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ;

K_4 – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость ветра;

K_6 – безразмерный коэффициент, зависящий от времени прошедшего после начала аварии (N , ч);

h – толщина слоя жидкого АХОВ, м;

d – плотность АХОВ, т/м³.

Расчету значения коэффициента K_6 предшествует расчет продолжительности испарения вещества (T , ч):

$$T = \frac{hd}{K_2K_4K_7}, \quad (3)$$

и только затем рассчитывается значение коэффициента K_6 :

$$K_6 = \begin{cases} N^{0,8} & \text{при } N < T \\ T^{0,8} & \text{при } N \geq T \text{ при } T < 1 \text{ час} \\ K_6 & \text{принимается равным для 1 часа} \end{cases} \quad (4)$$

Как видно из формул (2)-(4) от метеорологических условий зависят: от степени вертикальной устойчивости воздуха – значение коэффициента K_5 ; от скорости ветра – значение коэффициента K_4 ; от температуры воздуха – значение коэффициента K_7 . Изменение значений коэффициентов K_4 и K_7 влияет на продолжительность испарения, а это в свою очередь, в ряде случаев, может изменить порядок расчета коэффициента K_6 . Вследствие этого, изменяется значение эквивалентного количества вещества во вторичном облаке АХОВ и значение глубины заражения вторичным облаком.

Расчет максимальной зоны заражения для АХОВ, являющегося сжиженным газом, согласно [6] включает: расчет эквивалентного количества вещества в первичном и вторичном облаке; расчет глубины заражения первичным и вторичным облаком; расчет полной глубины заражения; расчет глубины переноса воздушных масс, нахождение окончательной глубины зоны заражения. При этом следует иметь в виду, что первичное облако образуется только в результате мгновенного (1-3 мин) перехода в атмосферу

части содержимого с АХОВ, являющегося сжиженным газом, при разрушении емкости, т.е. первичное облако, образуется только при первых метеорологических условиях и его размеры не зависят от времени прошедшего с момента аварии. Глубина заражения вторичным облаком, наоборот, зависит от времени прошедшего с момента аварии и в общем случае формируется в течение первых, вторых и последующих постоянных метеорологических условий.

Для АХОВ, являющимися сжиженными газами, расчет эквивалентного вещества в первичном облаке ведется по формуле (1), а во вторичном – по формулам (2)-(4). Как видно из формул (1)-(4) для сжиженных газов от метеорологических условий зависят: от степени вертикальной устойчивости воздуха – значение коэффициента K_5 ; от скорости ветра – значение коэффициента K_4 ; от температуры воздуха – значение коэффициента K_7 . Изменение значений коэффициентов K_4 и K_7 влияет на продолжительность испарения сжиженного газа, а это в свою очередь, в ряде случаев, может изменить порядок расчета коэффициента K_6 . Вследствие этого, изменяется значение эквивалентного количества вещества во вторичном облаке АХОВ и значение глубины заражения вторичным облаком. Последние, в свою очередь, изменяют значение полной глубины зоны заражения, обусловленной воздействием первичного и вторичного облака АХОВ.

Расчет максимальной зоны заражения при выбросе нескольких АХОВ, являющихся жидкостью кипящей выше температуры окружающей среды и/или сжиженным газом, согласно [2] включает: расчет эквивалентного количества вещества во вторичном облаке; расчет глубины заражения вторичным облаком; расчет глубины переноса воздушных масс, нахождение окончательной глубины зоны заражения.

При выбросе нескольких АХОВ, являющимися жидкостями, кипящими выше температуры окружающей среды, эквивалентное количество вещества во вторичном облаке рассчитывается по формуле [2]:

$$Q_{э2} = 20K_4K_5 \sum_{i=1}^n K_{2i} K_{3i} K_{6i} K_{7i} \frac{Q_i}{h_i}, \quad (5)$$

где K_{2i} – безразмерный коэффициент, зависящий от физико-химических свойств i -го АХОВ;

K_{3i} – безразмерный коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе i -го АХОВ;

K_{6i} – безразмерный коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после разрушения объекта, для i -го АХОВ;

K_{7i} – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние температуры, для i -го АХОВ;

Q_i – запасы i -го АХОВ на объекте, т;

d_i – плотность i -го АХОВ, т/м³.

Как видно из формулы (5) при выбросе одновременно нескольких АХОВ от метеорологических условий зависят: от степени вертикальной устойчивости воздуха – значение коэффициента K_5 ; от скорости ветра – значение

коэффициента K_4 ; от температуры воздуха – значение коэффициента K_{7i} . Изменение значений коэффициентов K_4 и K_{7i} влияет на продолжительность испарения сжиженного газа, а это в свою очередь, в ряде случаев, может изменить порядок расчета коэффициента K_{6i} . Вследствие этого, изменяется значение эквивалентного количества вещества во вторичном облаке АХОВ и значение глубины заражения вторичным облаком.

Во всех указанных четырех случаях, при изменении метеорологических условий (степени вертикальной устойчивости и скорости ветра) меняется также скорость переноса переднего фронта облака зараженного воздуха. Это, в свою очередь, изменяет глубину переноса воздушных масс. Все это, в свою очередь, влечет за собой изменение зоны фактического заражения.

На топографических картах и схемах максимальная зона возможного заражения при скорости ветра не превышающей 0,5 м/с, имеет вид круга. Понятно, что в этом случае изменение направления ветра не влияет на формирование зоны заражения.

При скорости ветра 0,6 м/с и более, зона возможного заражения представляет сектор. Положение сектора определяется направлением ветра. При двух разных метеоусловиях, когда в обоих случаях скорость ветра не менее 0,6 м/с, максимальная зона заражения имеет вид двух или трех секторов.

Если не выполняется условие:

$$\gamma < \frac{\phi_{и_{м1}}}{2} + \frac{\phi_{и_{м2}}}{2}, \quad (6)$$

где $\phi_{и_{м1}}$ - угловые размеры зоны возможного заражения при первых метеорологических условиях, град;

$\phi_{и_{м2}}$ - угловые размеры зоны возможного заражения при вторых метеорологических условиях (град), которые определяются в соответствии с [7];

γ – угол между направлением ветра при первых и вторых метеорологических условиях, град;

то образуются только два сектора заражения один соответствующий первым метеорологическим, а второй – вторым метеорологическим условиям.

Первый сектор - это сектор, образовавшийся при первых метеорологических условиях. Все параметры сектора сохраняются неизменными в течение всего времени, пока сохраняются вторые метеорологические условия. Изменяется только глубина заражения $\Gamma_{м1}$.

Второй сектор - это сектор, образовавшийся при вторых метеорологических условиях в области, не подвергшейся заражению АХОВ при первых метеорологических условиях. Угловые параметры сектора сохраняются в течение всего времени, пока не изменяются вторые метеорологические условия. С течением времени меняется только радиус сектора $\Gamma_{м2}$.

Если условие (6) выполняется, образуются три сектора. Два из которых, как описано выше. Угловые размеры первого и второго сектора соответственно γ_1 (град) и γ_2 (град).

Третий сектор – это сектор, образовавшийся при первых и вторых метеорологических условиях. Угловые параметры сектора γ_3 (град) сохраняются

в течение всего времени, пока не изменяются вторые метеорологические условия. С течением времени меняется только радиус сектора $\Gamma_{M1} + \Gamma_{M2}$.

Авторами выведены формулы нахождения угловых параметров максимальных зон заражения для двух различных метеорологических условиях, характеризующихся различным направлением ветра.

Осложняясь на приведенных теоретических исследований предложена методики прогнозирования максимальной зоны заражения для двух и более изменяющихся метеорологических условий.