

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

УДК 614.8.084

e.ivanov@amchs.ru

О ПОДХОДЕ К МОДЕЛИРОВАНИЮ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКИ ПЕРЕДАВАЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТЕООБСТАНОВКИ**ON THE APPROACH TO MODELING THE SPREAD OF EMERGENCY CHEMICALLY HAZARDOUS SUBSTANCES, BASED ON DYNAMICALLY TRANSMITTED PARAMETERS OF METEOROLOGICAL CONDITIONS**

*Рыбаков А. В., доктор технических наук, профессор,
Усачева Т. В., кандидат педагогических наук, доцент,
Иванов Е. В., кандидат технических наук,
Шимитило В. Л., кандидат технических наук,
Тимарин А. Н., Колобченков М. А.*

ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России», г. Химки

*Rybakov A., Usacheva T., Ivanov E., Shimitilo V., Timarin A., Kolobchenkov M.
«Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia», Khimki*

В научной статье представлен анализ методики прогнозирования распространения аварийно химически опасных веществ (далее – АХОВ) при авариях на химически опасных объектах (далее – ХОО), а также предложен алгоритм построения облака АХОВ с помощью динамических метеопараметров, передаваемых Росгидрометом. Внедрение предлагаемого подхода, базирующегося на применении методик распространения облака АХОВ без учета изменяющихся параметров, позволяет повысить достоверность прогноза по распространению облака АХОВ.

Ключевые слова: аварийно химические опасные вещества, облако АХОВ, метеоданные, область заражения, динамически изменяющиеся параметры.

The scientific article presents an analysis of the methodology for predicting the spread of chemically hazardous substances (hereinafter referred to as AHS) in accidents at chemically hazardous facilities (hereinafter referred to as HOO), and also proposes an algorithm for constructing a cloud of AHS using dynamic meteorological parameters transmitted by Roshydromet.

The implementation of the proposed approach, based on the application of AHS cloud propagation techniques without taking into account changing parameters, makes it possible to increase the reliability of the forecast for the AHS cloud propagation.

Keywords: emergency chemical hazardous substances, AHOV cloud, weather data, infection area, dynamically changing parameters.

Введение

В настоящее время на территории Российской Федерации, по данным Ростехнадзора, зарегистрировано 5594 ХОО [1]. Ежегодно на рассматриваемых объектах фиксируются аварии, связанные с выбросом опасных веществ, разгерметизацией

оборудования и разрушением технических устройств.

Несмотря на то, что в течение последних пяти лет на рассматриваемых объектах не фиксируются аварии, приводящие к возникновению чрезвычайных ситуаций, объемы обращающихся на производстве

АХОВ, степень износа производственных фондов, изменения в нормативах по жилой застройке обуславливают актуальность решения задачи обеспечения химической безопасности населения.

Правовую основу решения задач химической безопасности населения составляет концепция радиационной, химической и биологической защиты населения, которая, помимо прочего, предусматривает необходимость внедрения новых технологий и методик в области мониторинга радиационной, химической обстановки, определения наличия в окружающей среде АХОВ и радиоактивных веществ, опасных биологических агентов [2].

Решение задач прогнозирования химической обстановки при авариях на ХОО опирается на достаточно подробно проработанный методический аппарат [3 – 5], который, к сожалению, не всегда учитывает то обстоятельство, что обстановка при авариях не формируется одномоментно. Так для второго и третьего типов химической обстановки (для АХОВ – перегретых летучих жидкостей с температурой кипения ниже либо близкой к температуре окружающей среды) характерно образование вторичного облака зараженного воздуха [6]. В данном случае закономерности формирования химической обстановки в зоне чрезвычайной ситуации будут определяться прежде всего закономерностями изменения концентрации АХОВ в облаке зараженного воздуха и особенностями его распространения в пространстве [7].

Важным обстоятельством также является и то, что оперативно представленный достоверный прогноз химической обстановки в зоне чрезвычайной ситуации является основой для выработки решений по защите населения.

Цель настоящей статьи – описание подхода по моделированию распространения АХОВ в условиях городской застройки.

Постановка задачи

На особенности формирования зоны химического заражения оказывает

влияние целый ряд факторов, которые условно могут быть объединены в следующие группы:

данные о характеристиках источника опасности (его географическая привязка, тип АХОВ, объем АХОВ, обращающегося на объекте, характеристики мест и условий хранения АХОВ);

сведения об аварии (степень разрушения объекта либо количество вещества, участвующего в аварии);

метеорологическая обстановка (температура воздуха, скорость и направление ветра, степень вертикальной устойчивости воздуха);

данные о моменте начала аварии (точное время начала выброса АХОВ в окружающую среду) и времени, в течение которого складывается обстановка.

При этом к группе факторов, наиболее значимо влияющих на формирование зоны химического заражения, относят метеорологические. В частности, закономерности распространения облака АХОВ, во многом определяются направлением и скоростью ветра [8] в районе аварии.

Существенную сложность при решении задач прогнозирования представляет тот факт, что для каждого конкретного участка местности будет характерна их большая изменчивость в пространстве и во времени, что обуславливает значительные трудности при разработке моделей прогнозирования химической обстановки. Нормативно утвержденные методики [3, 4] дают несколько упрощенный порядок определения параметров зоны заражения, когда метеорологические параметры для построения зоны принимаются на момент аварии в одной конкретной точке пространства.

В то же время следует отметить, что в настоящее время на территории страны широко развернута сеть наблюдения и лабораторного контроля, позволяющая контролировать состояние приземного слоя атмосферы в полном объеме. Учитывая, что время обновления данных по метеопараметрам составляет от 0,5 до 180 минут, а

погрешность измерений составляет: для направления ветра – до 10 %, для скорости ветра – до 5 %, для температуры воздуха – до 0,5 % [9], – существует возможность построения модели распространения зараженного воздуха фактически в режиме реального времени.

$$Accuracy(y, y^{\text{пред}}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I[y_i = f(x_j)] \rightarrow \max, \quad (1)$$

где y – единичный участок местности, являющийся составной частью зоны химического заражения;

$y^{\text{пред}}$ – единичный участок местности, прогнозируемый как составная часть зоны химического заражения;

n – множество единичных участков местности, составляющих зону химического заражения;

x – множество параметров, влияющих на химическую обстановку.

Такая задача применяется, как правило, при постановке задач бинарной классификации и заключается в приведении к максимуму количества единичных ячеек, правильно отнесенных к заданному классу [8].

Как правило, для своевременной организации оперативных мероприятий по защите населения и территорий от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных авариями на ХОО, речь идет именно об определении размеров зон химического заражения с учетом изменения химической обстановки во времени.

Решение

В идее предлагаемого алгоритма заложены известные закономерности рас-

решение задачи построения достоверной модели прогноза распространения АХОВ будет заключаться в решении задачи следующего вида:

пространения АХОВ, достаточно подробно описанные в [4], при этом повышение достоверности прогноза обеспечивается за счет реализации итерационного цикла количественной оценки выброса вредной примеси в атмосферу в единицу времени и их распространения с учетом динамики изменения метеорологической обстановки как в точке выброса, так и во фронте распространяющегося облака зараженного воздуха.

При этом необходимо учитывать, что метеорологическая обстановка в каждой точке пространства может быть определена только на основании интерполяционного расчета по метеорологическим параметрам ближайших метеостанций. Для чего строится координатная сетка (шаг сетки целесообразно определять исходя из густоты сети метеостанций, а также вычислительных мощностей ЭВМ, на которых осуществляется моделирование).

Все исходные данные МЧС России получают от Росгидромета. Сами данные хранятся в *озере данных МЧС России*.

Для определения всей площади распространения облака зараженного воздуха, был использован способ построения через тригонометрические окружности (рис. 1).

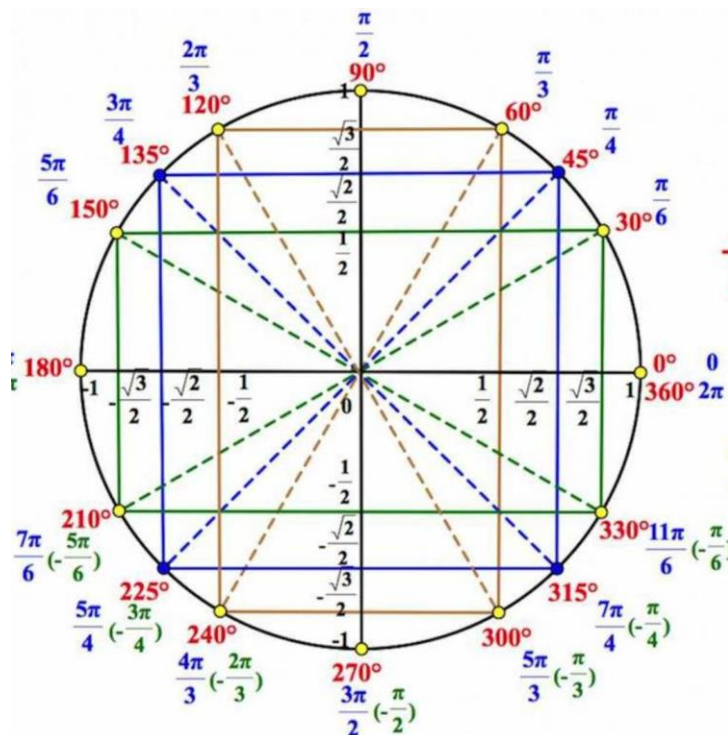


Рисунок 1. – Тригонометрическая окружность

При построении модели предполагаем, что распространение происходит по касательным окружностей до момента,

пока концентрация вещества не станет равна нулю.

Угол направления ветра рассчитывается исходя из следующих условий:

- если $x < 0$ и $y > 0$, то ветер будет направлен: $\pi + \arctg(y/x)$;
- если $x < 0$ и $y < 0$, то ветер будет направлен: $\pi + \arctg(y/x)$;
- если $x > 0$ и $y < 0$, то ветер будет направлен: $3 \cdot (\pi/2) - \arctg(y/x)$;
- если $x = 0$ и $y > 0$, то ветер будет направлен: $\pi/2$;
- если $x = 0$ и $y < 0$, то ветер будет направлен: $3 \cdot \pi/4$;
- если $y = 0$ и $x \geq 0$, то ветер не будет дуть;
- если $y = 0$ и $x < 0$, то ветер будет направлен: $\pi/2$;
- при прочих условиях ветер будет направлен: $\arctg(y/x)$.

Координаты первоначальной точки на окружности выглядят следующим образом:

$$(x_0 - r_1, y_0), \tag{2}$$

где r_1 – радиус первичной окружности.

Далее определяются координаты точек с учетом перемещения по известным углам направления ветра. Исходя из полученных координат, путем сложения векторов, а также используя функции расчета

арктангенса, радиуса угла и условные операторы «else if», высчитывается направление распространения облака зараженного воздуха на плоскости по следующему алгоритму:

$$\begin{cases} x = x' \cos \varphi - y' \sin \varphi \\ y = x' \sin \varphi - y' \cos \varphi \end{cases} \tag{3}$$

где x, y – координаты конечных точек после поворота;

x', y' – координаты начальных точек поворота;

φ – угол поворота осей координат.

На следующем этапе использованы формулы поворота координатной плоскости вокруг центра осей (в нашем случае – вокруг заданной точки, в которой произошла авария). Поворот координатной плоскости необходим для построения точек будущей окружности. Принятое количество необходимых точек для построения окружности – 32, поскольку при таком количестве окружность имеет наиболее ровные очертания (также обеспечивается требуемая производительность алгоритма пересчета координат). Помимо вышеперечисленных условий выбора количества точек, стоит учитывать тот фактор, что при скорости ветра, близкой к нулю, построение произведется наиболее точно, в соответствии с методикой, изложенной в [4].

Далее производится расчет: второй и последующих окружностей, на основании координат первичной окружности (x_1, y_1); радиуса окружности (r_1); угла распространения зараженного облака (β) (определяется в зависимости от скорости ветра);

глубины распространения вещества (L), а также угол направления ветра (α).

Координаты и радиусы следующих окружностей рассчитываются следующим способом:

$$\begin{aligned} x_2 &= L \cdot \cos(\alpha) + x_1; \\ y_2 &= L \cdot \sin(\alpha) + y_1; \\ r_2 &= L \cdot \sin(\beta / 2) + r_1. \end{aligned} \quad (4)$$

Суть алгоритма представлена на схеме (рис.2).

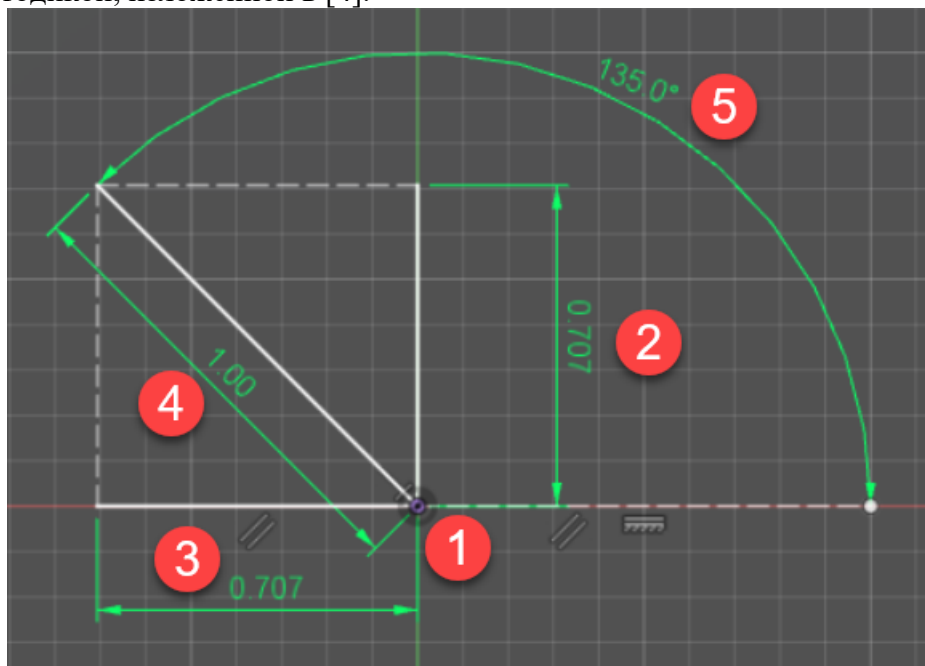


Рисунок 2. Тригонометрическая окружность

В качестве примера приведён северо-западный ветер скоростью 1 м/с. В центре схемы находится точка отсчёта (1). Относительно проведённой горизонтали вправо, против часовой стрелки отсчитывается угол направления ветра в градусах (5). Цифрами 3 и 2 отображают проекции

скорости ветра по осям x и y соответственно. Цифрой 4 обозначен вектор направления ветра на плоскости.

Вычисление точки пересечения касательных с окружностями определяется по формулам 5:

$$\begin{aligned} \mu_+ &= \arctg 2(y_2 - y_1, x_2 - x_1) + \arccos \frac{(r_2 - r_1)}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}}, \\ \mu_- &= \arctg 2(y_2 - y_1, x_2 - x_1) - \arccos \frac{(r_2 - r_1)}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}}. \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 t_{x1} &= x_1 - r_1 \cdot \cos(\mu_-) \\
 t_{y1} &= y_1 - r_1 \cdot \sin(\mu_-) \\
 t_{x2} &= x_1 - r_1 \cdot \cos(\mu_+) \\
 t_{y2} &= y_1 - r_1 \cdot \sin(\mu_+) \\
 t_{x3} &= x_2 - r_2 \cdot \cos(\mu_+) \\
 t_{y3} &= y_2 - r_2 \cdot \sin(\mu_+) \\
 t_{x4} &= x_2 - r_2 \cdot \cos(\mu_+) \\
 t_{y4} &= y_2 - r_2 \cdot \sin(\mu_+)
 \end{aligned}
 \quad (6)$$

где μ_+ , μ_- – углы пересечения касательных с хордами окружностей;

t_{x1} , t_{y1} , t_{x2} , t_{y2} – координаты точек пересечения с первой окружностью;

t_{x3} , t_{y3} , t_{x4} , t_{y4} – координаты точек пересечения с второй окружностью.

Алгоритм продолжает создавать новые окружности до того момента, пока масса вещества не станет равно нулю. Затем программа выводит конечный результат в виде динамического распространения облака.

На рис. 3 представлен пример реализации предложенного алгоритма на подложке.

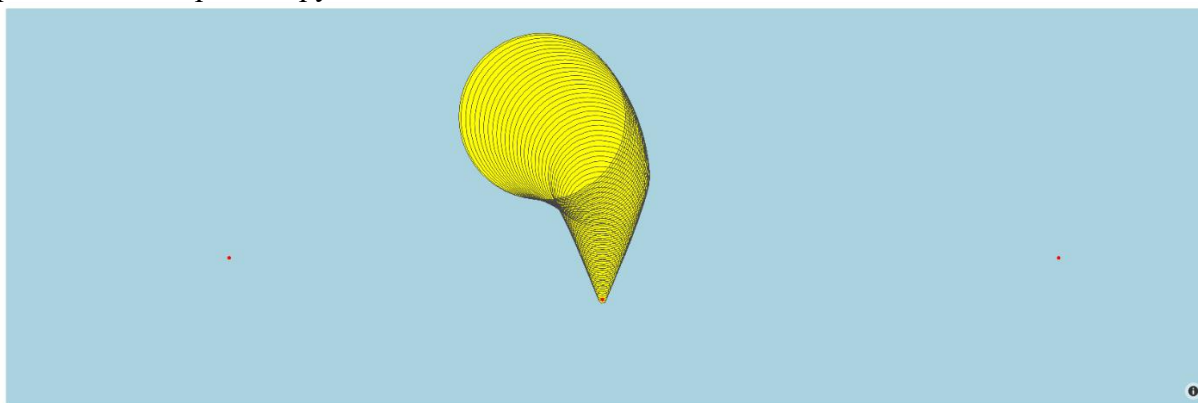


Рисунок 3. Построение облака распространения АХОВ на основе динамических параметров, передаваемых Росгидрометом

Заключение

Предложенный алгоритм позволил разработать универсальную модель прогнозирования последствий аварий, связанных с выбросом АХОВ. По сути такой подход направлен на разработку «практического инструмента», который позволит отобрать наиболее значимые для прогноза

параметры модели с целью минимизации значений ошибки зон заражения на среднесрочном периоде прогнозирования. В свою очередь своевременный и точный прогноз распространения облака АХОВ позволит заблаговременно спланировать мероприятия защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций.

Литература

1. Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2020 году. М., 2021. 369 с.
2. Решение коллегии МЧС России от 04.12.2019 № 8/П «Об утверждении актуализированной редакции Концепции радиационной, химической и биологической защиты населения». URL: <https://docs.cntd.ru/document/564464963?ysclid=14warm616c964352891> (дата обращения: 28.06.2022).
3. Методика оценки последствий химических аварий (Методика «Токси», редакция 3.1). М., 2005. 67 с.
4. Инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне. Актуализированная редакция СНиП 2.01.51-90. СП 165.1325800.2014. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200118578> (дата обращения: 28.06.2022).
5. Методика экспресс-оценки последствий аварийных выбросов (выливов) сильнодействующих ядовитых веществ на промышленных и транспортных объектах. М., 1993. 178 с.
6. Батырев В. В., Живулин Г. А. Основы индивидуальной защиты человека от опасных химических и радиоактивных веществ. М., 2016. 204 с.

7. Матвеев Ю. Н., Стукалова Н. А. Автоматизированное оперативное управление техногенными химико-технологическими объектами при возникновении запроектных аварийных ситуаций // Труды ИСП РАН. 2015. Т. 27. Вып. 6. С. 395–408.

8. Дрига В. Г., Белимов А. И. Влияние метеорологических условий на масштабы и последствия аварий на химически опасных объектах // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2019. № 1 (10). С. 95–97.

9. Действующие метеорологические станции сети Росгидромета (RU_RIHMI-WDC_2667). URL: http://esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU_RIHMI-WDC_2667 (дата обращения: 28.06.2022).

References

1. Godovoj otchet o deyatelnosti federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2020 godu. M., 2021. 369 s.

2. Reshenie kollegii MCHS Rossii ot 04.12.2019 № 8/II «Ob utverzhdenii aktualizirovannoj redakcii Konceptcii radiacionnoj, himicheskoy i biologicheskoy zashchity naseleniya». URL: <https://docs.cntd.ru/document/564464963?ysclid=l4warm616c964352891> (data obrashcheniya: 28.06.2022).

3. Metodika ocenki posledstvij himicheskikh avarij (Metodika «Toksi», redakciya 3.1). M., 2005. 67 s.

4. Inzhenerno-tekhnicheskie meropriyatiya po grazhdanskoj oborone. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 2.01.51-90. SP 165.1325800.2014. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200118578> (data obrashcheniya: 28.06.2022).

5. Metodika ekspress-ocenki posledstvij avarijnyh vybrosov (vylivov) sil'nodejstvuyushchih yadovityh veshchestv na promyshlennyh i transportnyh ob"ektah. M., 1993. 178 s.

6. Batyrev V. V., Zhivulin G. A. Osnovy individual'noj zashchity cheloveka ot opasnyh himicheskikh i radioaktivnyh veshchestv. M., 2016. 204 s.

7. Matveev YU. N., Stukalova N. A. Avtomatizirovannoe operativnoe upravlenie tekhnogennymi himiko-tekhnologicheskimi ob"ektami pri vozniknovenii zaproektnykh avarijnykh situacij // Trudy ISP RAN. 2015. Т. 27. Вып. 6. С. 395–408.

8. Driga V. G., Belimov A. I. Vliyanie meteorologicheskikh uslovij na masshtaby i posledstviya avarij na himicheskii opasnyh ob"ektah // Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidacii posledstvij chrezvychajnykh situacij. 2019. № 1 (10). S. 95–97.

9. Dejstvuyushchie meteorologicheskije stancii seti Rosgidrometa (RU_RIHMI-WDC_2667). URL: http://esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU_RIHMI-WDC_2667 (data obrashcheniya: 28.06.2022).