

УДК 621.3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ, СВЯЗАННОЙ С ВЫБРОСОМ ОПАСНОГО ХИМИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

А. А. БАСМАНОВ, доктор технических наук, профессор  
С. С. ГОВАЛЕНКОВ

*Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков*

Показано, что зонирование местности вблизи непрерывно действующего источника выброса опасного химического вещества, определяющее использование средств индивидуальной защиты, может быть проведено с использованием приведенной интенсивности выброса, являющейся отношением интенсивности выброса вещества к величине его ПДК в рабочей зоне.

**Ключевые слова:** опасное химическое вещество, непрерывно действующий источник, интенсивность выброса, средства индивидуальной защиты.

### Введение

При возникновении аварии на химическом производстве, сопровождающейся непрерывно действующим выбросом опасного химического вещества в атмосферу (ОХВ), перед оперативно-спасательными подразделениями возникает задача ликвидации источника выброса и, следовательно, пребывания личного состава в зоне высоких концентраций ОХВ. В то же время находящиеся на вооружении в пожарно-спасательных подразделениях, которые первыми прибывают к месту чрезвычайной ситуации, средства индивидуальной защиты рассчитаны для работы только при пожаре [4], условия которого могут существенно отличаться от условий, связанных с выбросом ОХВ. Таким образом, возникает необходимость определения зон, в которых может находиться личный состав в соответствующих средствах индивидуальной защиты.

### Основная часть

Традиционный подход к зонированию местности в районе выброса ОХВ основывается, фактически, на оценке среднего значения концентрации, т. е. в качестве критерия используется требование о не превосходстве математическим ожиданием концентрации ОХВ  $\bar{q}$  некоторого критического значения  $q_{кр}$ :  $\bar{q} \leq q_{кр}$ .

При этом не учитывается возможность случайных изменений концентрации, вызванная, например, случайными пульсациями направления и скорости ветра. Не существует также и оценок погрешностей прогнозирования концентрации ОХВ в воздухе. Поэтому имеет смысл при разбиении местности в районе аварии на зоны в качестве критерия использовать требование о том, чтобы с заданной доверительной вероятностью  $p_{дов}$  концентрация ОХВ  $q$  не превосходила некоторого критического значения  $q_{кр}$ :

$$P(q \leq q_{кр}) \geq p_{дов}. \quad (1)$$

Проверка гипотезы о нормальном распределении концентрации по критерию  $\chi^2$  на уровне значимости 0,05 показала непротиворечивость выдвинутой гипотезы результатам численных экспериментов. Поэтому для оценки вероятности события  $P(q \leq q_{кр})$ , входящей в критерий (1), считаем, что случайная величина  $q$  распределена нормально. Тогда критерий (1) принимает вид:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_q} \int_{-\infty}^{q_{кр}} \exp\left[-\frac{(t-\bar{q})^2}{2\sigma_q^2}\right] dt \geq p_{дов},$$

что эквивалентно неравенству [1]:

$$\frac{q_{кр} - \bar{q}}{\sigma_q} \geq F^{-1}(p_{дов}), \quad (2)$$

где  $F^{-1}(x)$  – обратная функция нормального стандартного распределения. Так, например,  $F^{-1}(0,95) = 1,645$ ;  $F^{-1}(0,99) = 2,326$ .

Влияние выбора доверительной вероятности на разбиение территории, прилегающей к месту аварии, на зоны, в которых с заданной доверительной вероятностью концентрация ОХВ не будет превосходить некоторой критической величины, проиллюстрировано на рисунках 1 и 2, где интенсивность выброса аммиака и параметры скорости ветра:  $E = 0,05$  кг/с из приземного источника при ветре с параметрами  $\bar{v}_x = 2$  м/с,  $\bar{v}_y = 0$  м/с,  $\sigma_x = 0,4$  м/с,  $\sigma_y = 0,2$  м/с, полученные путем усреднения результатов 10 и 50 численных экспериментов.

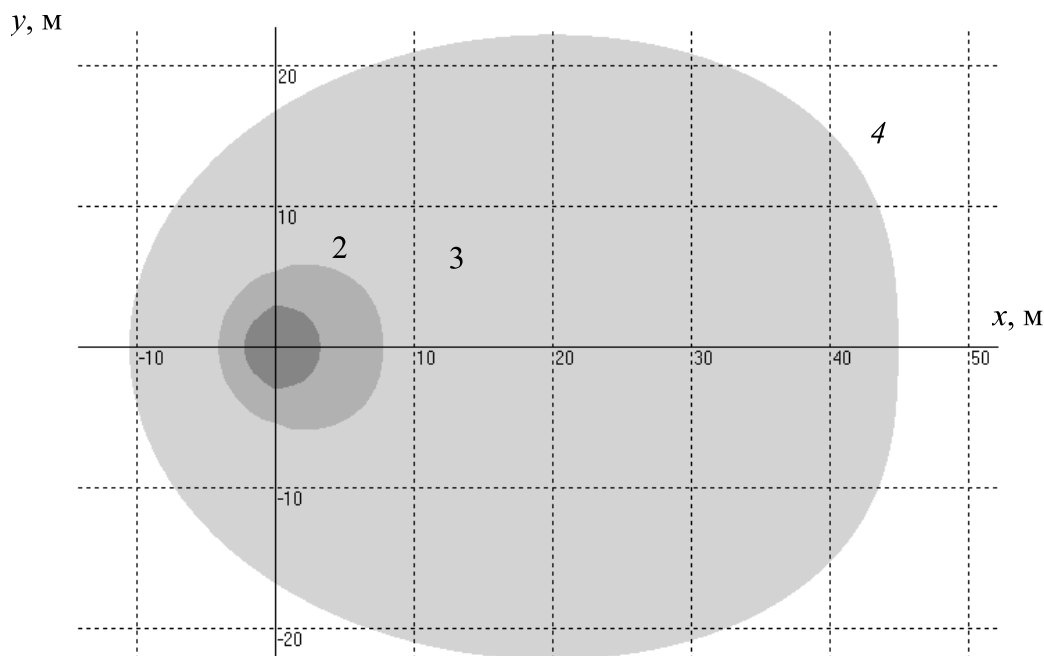


Рисунок 1 – Разбиение территории, прилегающей к месту выброса аммиака, на зоны, в которых концентрация с вероятностью 0,95 не превосходит:  
 1 – 100 ПДК; 2 – 10 ПДК; 3 – 5 ПДК; 4 – 1 ПДК

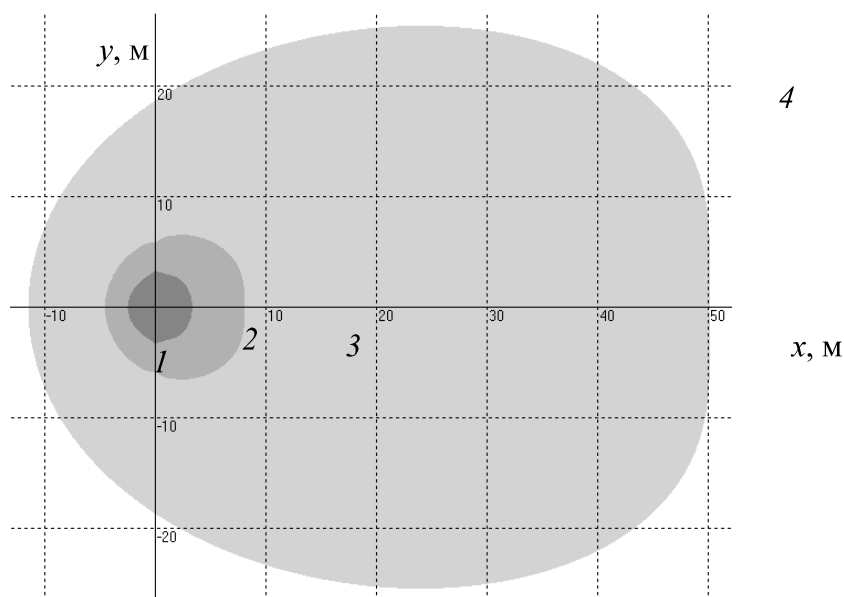


Рисунок 2 – Разбиение территории, прилегающей к месту выброса аммиака, на зоны, в которых концентрация с вероятностью 0,99 не превосходит:  
1 – 100 ПДК; 2 – 10 ПДК; 3 – 5 ПДК; 4 – 1 ПДК

Как видим, увеличение доверительной вероятности с 0,95 до 0,99 приводит к увеличению линейных размеров зон 1–3 еще примерно на 10 %.

Анализ рисунков показывает, что зона высоких концентраций (зона 1) имеет форму близкую к круговой, в то время как зона 3 имеет форму, вытянутую в направлении ветра. Этот результат качественно согласуется с представлениями о том, что размеры «горячей зоны» определяются только видом вещества и интенсивностью его истечения и практически не зависят от направления и скорости ветра.

Территория, прилегающая к месту выброса ОХВ, разбивается на 3 зоны [5], [6]):

– 1-я зона («горячая зона») находится в непосредственной близости к эпицентру аварии, личный состав проводит ликвидацию аварии в средствах с максимально возможной защитой;

– 2-я зона («теплая зона») – на границе зоны устанавливаются стволы для подачи распыленной воды для осаждения ОХВ; для защиты личного состава используются изолирующие противогазы;

– 3-я зона («холодная зона») – из этой зоны подлежит эвакуации население и технический персонал предприятия; для защиты достаточно фильтрующего противогаза.

За внешней границей 3-й зоны концентрация ОХВ в воздухе не превосходит ПДК.

Критерием безопасного пребывания человека в средствах защиты в той или иной зоне чрезвычайной ситуации является выполнение соотношения [5]:

$$K_3 \geq K_{т.о}, \quad (3)$$

где  $K_3$  – коэффициент защиты комплекса средств индивидуальной защиты (КСИЗ);  
 $K_{т.о}$  – коэффициент токсической опасности среды:

$$K_{т.о} = \frac{q_{\text{факт}}}{q_{\text{ПДК}}},$$

где  $q_{\text{факт}}$  – фактическая концентрация ОХВ в воздухе;  $q_{\text{ПДК}}$  – предельно допустимая концентрация химического вещества. В таблице 1 приведены предельно допустимые концентрации для некоторых химических веществ, используемых в промышленности [3].

**Таблица 1 – Предельно допустимые концентрации некоторых химических веществ в воздухе**

Вещество	ПДК в рабочей зоне, мг/м <sup>3</sup>
Аммиак	20,0
Диоксид азота	2,0
Диоксид серы	10,0
Метан	7000,0
Оксид углерода СО	20,0
Серная кислота	1,0
Фтороводород	0,05
Хлор	1,0
Хлористый водород	5,0

Коэффициент защиты  $K_z$  является одной из основных характеристик средств индивидуальной защиты органов дыхания и обозначает кратность понижения концентрации опасного вещества, находящегося в воздухе рабочей зоны, обеспечиваемой данным средством защиты. Коэффициенты защиты некоторых средств индивидуальной защиты органов дыхания, используемых при ликвидации чрезвычайных ситуаций подразделениями МЧС, приведены в таблице 2 [5], [6].

**Таблица 2 – Коэффициенты защиты для средств индивидуальной защиты органов дыхания**

Средство защиты	Коэффициент защиты $K_z$
Аппарат на сжатом воздухе (АСВ) с маской III типа	$468,7 \cdot 10^3$
Аппарат на сжатом воздухе (АСВ) со шлем-маской	$329,7 \cdot 10^3$
Регенеративный дыхательный аппарат (РДА) со шлем-маской	$28,5 \cdot 10^3$
Изолирующий противогаз	$5 \cdot 10^3$
Фильтрующий противогаз	200–500
Респиратор РУ-60Му с фильтрами А, Б, Г, КД	15

Использование таблиц 1, 2 позволяет на основании определить зоны безопасного пребывания людей и необходимые средства защиты. Данные из таблицы 2 позволяют определить границы зон (рисунок 1) следующим образом:

- 1-я зона –  $q > 5000$  ПДК;
- 2-я зона –  $q = (200–5000)$  ПДК;
- 3-я зона –  $q = (1–200)$  ПДК.

Таким образом, границы зон определяются отношением концентрации вещества в воздухе  $q$  к величине его ПДК  $q_{\text{ПДК}}$ :

$$\varphi = \frac{q}{q_{\text{ПДК}}},$$

т. е. выражением, полученном в [2]:

$$\varphi = \frac{\psi}{8\pi^{3/2} a \sqrt{a_z}} \cdot \int_0^t \frac{1}{\tau^{3/2}} \cdot \exp \left[ -\frac{\left( x - \int_{t-\tau}^t \xi(s) ds \right)^2 + \left( y - \int_{t-\tau}^t \eta(s) ds \right)^2}{4a\tau} \right] \times \\ \times \left\{ \exp \left[ -\frac{(z - v_z \tau - z_0)^2}{4a_z \tau} \right] + \exp \left[ -\frac{(z - v_z \tau + z_0)^2}{4a_z \tau} \right] \right\} d\tau,$$

где  $\psi$  – приведенная интенсивность выброса:

$$\psi = \frac{E}{q_{\text{ПДК}}}.$$

В качестве примера на рисунках 1–3 приведены границы зон с подветренной и наветренной стороны, а также половина ширины в поперечном к ветру направлении, т. е. максимальное значение расстояния от оси  $X$  до границы зоны. Параметры скорости ветра принимались:  $\bar{v}_x = 2$  v/c,  $\bar{v}_y = 0$  v/c,  $\sigma_x = 0,4$  м/с,  $\sigma_y = 0,2$  м/с.

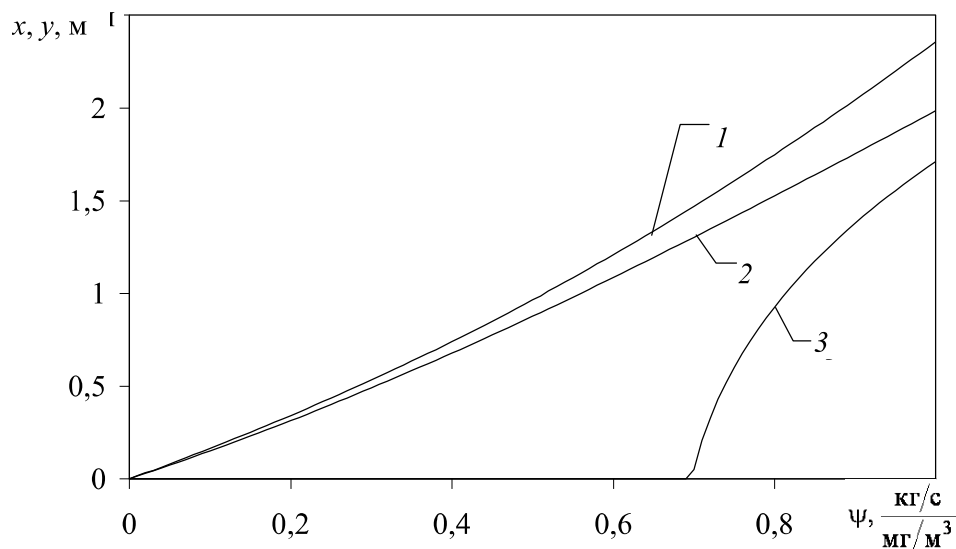


Рисунок 3 – Зависимость размеров 1-й зоны от приведенной интенсивности выброса  $\psi$  :

1 – с наветренной стороны; 2 – максимальная ширина зоны в направлении, поперечном направлению ветра; 3 – с подветренной стороны

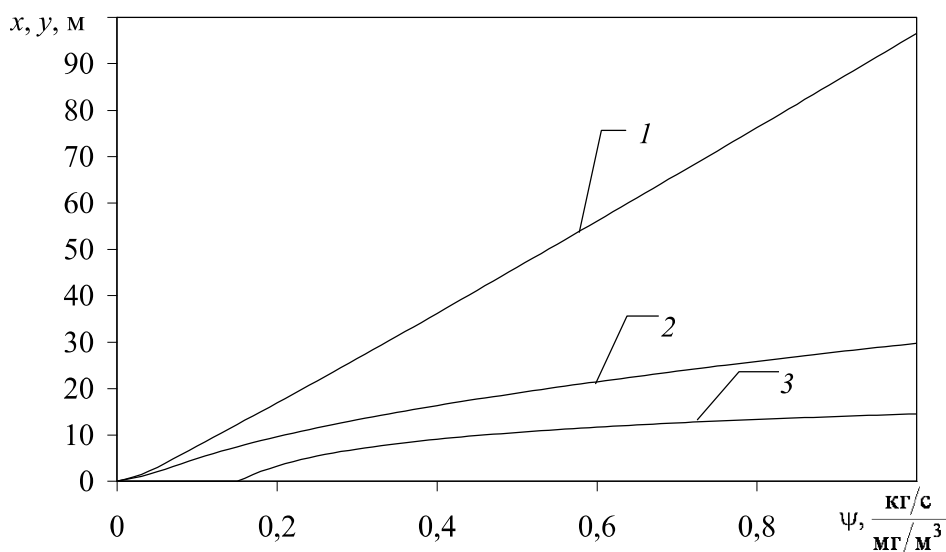


Рисунок 4 – Зависимость размеров 2-й зоны от приведенной интенсивности выброса  $\psi$  :  
 1 – с наветренной стороны; 2 – максимальная ширина зоны в направлении, поперечном направлению ветра; 3 – с подветренной стороны

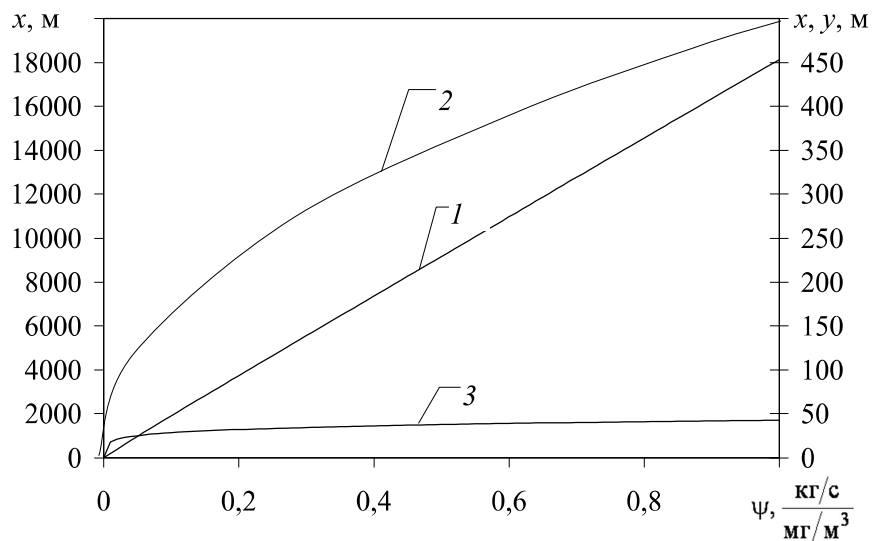


Рисунок 5 – Зависимость размеров 3-й зоны от приведенной интенсивности выброса  $\psi$  :  
 1 – с наветренной стороны; 2 – максимальная ширина зоны в направлении, поперечном направлению ветра (по правой оси);  
 3 – с подветренной стороны (по правой оси)

Анализ зависимостей, приведенных на рисунках 3–5, показывает, что даже для таких токсических веществ как хлор (таблица 1) и значительной интенсивности выброса (1 кг/с) размеры 1-й зоны составляют около 2 м. Это означает, что только личный состав, непосредственно участвующий в ликвидации аварии, нуждается в средствах с максимальной защитой (такой комбинации изолирующего костюма и изолирующего аппарата, когда последний находится внутри защитной одежды).

На больших расстояниях (при проведении, например, работ по постановке водяных завес) спасатели могут быть в изолирующих аппаратах поверх защитной одежды.

Анализ рисунков 3–5 свидетельствует также и о том, что форма 1-й зоны близка к круговой, т. е. ветер не оказывает существенного влияния на ее границы, что качественно подтверждается экспериментальными данными [1].

В качестве примера на рисунке 6 приведены 2-я и 3-я зоны при утечке аммиака с интенсивностью  $E = 0,1$  кг/с при тех же параметрах ветра, что и на рисунках 1–3. За пределами 3-й зоны концентрация аммиака в воздухе не превосходит ПДК. Для нахождения внутри 3-й зоны достаточно иметь фильтрующий противогаз.

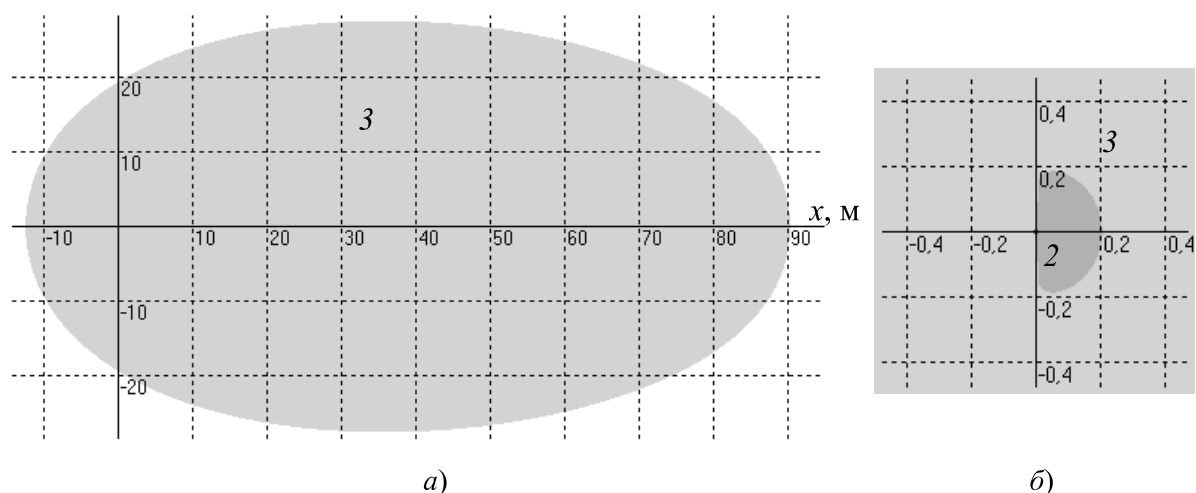


Рисунок 6 – Определение зон при выбросе аммиака

Из анализа рисунка 6 следует также, что в данном случае фактически отсутствуют 1-я и 2-я зоны: граница 2-й зоны расположена на расстоянии не более 0,2 м от точки выброса ОХВ (рисунок 6, б). Таким образом, только личный состав, задействованный в ликвидации утечки, должен быть обеспечен изолирующими противогазами.

Граница 3-й зоны (рисунок 6, а) позволяет выбрать места для расположения постов газовой безопасности, руководителя ликвидации аварии, высадки личного состава из автомобилей и одевания средств индивидуальной защиты.

### Заклучение

Показано, что зонирование местности вблизи непрерывно действующего источника выброса опасного химического вещества может быть проведено на основании приведенной интенсивности выброса, представляющей собой отношение интенсивности выброса к величине ПДК в рабочей зоне. В процессе ликвидации мощного непрерывно действующего источника высокотоксичного ОХВ, находящегося на открытом пространстве, в изолирующий костюм, внутри которого находится изолирующий аппарат, должны быть одеты спасатели, работающие в непосредственной близости (до 2–5 м) от очага чрезвычайной ситуации. Согласно действующей методике [7], независимо от интенсивности выброса ОХВ, личный состав, участвующий в ликвидации аварии, будет иметь максимальную степень защиты – костюмы первого типа.

На больших расстояниях (при проведении, например, работ по постановке водяных завес) личный состав может быть в изолирующих аппаратах поверх защитной одежды. Как показывают исследования [8], [9], использование защитного костюма первого типа до 25 % увеличивает время основных операций, которые выполняются при ликвидации утечки, по сравнению с изолирующим противогазом.

Показано, что для подавляющего большинства токсических веществ (ПДК не менее  $1 \text{ мг/м}^3$  при интенсивностях выброса до  $1 \text{ кг/с}$  внешняя граница горячей зоны расположена на расстоянии порядка 2 м от места выброса. Поэтому только личный состав, участвующий в ликвидации выброса, должен быть обеспечен регенеративным дыхательным аппаратом или аппаратом на сжатом воздухе со шлем-маской или маской с подпором воздуха. Для защиты личного состава, участвующего в осаждении ОХВ, достаточно изолирующего противогаса.

Показано, что расстояния до границ горячей, теплой и холодной зон при выбросе опасного химического вещества определяются параметрами скорости ветра и отношением интенсивности выброса ОХВ к его ПДК. Показано, что форма границы горячей зоны близка к окружности и практически не зависит от направления и скорости ветра, что качественно подтверждается результатами экспериментов.

### Литература

- 1 Боровков, А. А. Теория вероятностей / А. А. Боровков. – М. : Наука, 1986. – 432 с.
- 2 Аветисян, В. Г. Рятувальні роботи при ліквідації надзвичайних ситуацій. Частина 1 / В. Г. Аветисян, Ю. М. Сенчихін, Ю. О. Куліш. – К. : Основа, 2006. – 122 с.
- 3 Басманов, А. Е. Математическая модель диффузии опасных химических веществ в воздухе / А. Е. Басманов, С. С. Говаленков // Проблемы надзвичайних ситуацій. – № 8. – Харків : Фоліо, 2008. – С. 29–39.
- 4 ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».
- 5 Диденко, Н. С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ / Н. С. Диденко. – М. : Недра, 1984. – 296 с.
- 6 Методические рекомендации по ликвидации последствий радиационных и химических аварий / В. А. Владимиров [и др.] ; под ред. В. А. Владимирова. – М. : ФГУ ВНИИ ГОЧС, 2004. – 340 с.
- 7 Рекомендації щодо захисту особового складу підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту МНС України під час гасіння пожеж та ліквідації наслідків аварій за наявності небезпечних хімічних речовин (аміак, хлор, азотна, сірчана, соляна та фосфорна кислоти) : Наказ № 733 МНС України від 13.10.2008. – Офіц. вид. – К. : МНС України, 2008. – 88 с. – (Нормативний документ МНС України, Рекомендації).
- 8 Стрелец, В. М. Анализ закономерностей работы спасателей в процессе ликвидации аварий с выбросом опасных химических веществ / В. М. Стрелец, М. В. Васильев // Вестн. ХУПС. – 2011. – № 2 (25).
- 9 Стрелец, В. М. Сравнительный анализ закономерностей работы спасателей в средствах индивидуальной защиты первого и второго типа / В. М. Стрелец, В. В. Тригуб, М. В. Васильев // Проблемы моніторингу надзвичайних ситуацій. – Харьков : НУГЗУ, 2011. – Вып. 13.

*Поступила в редакцию 31.10.2013*

**A. A. Basmanov, S. S. Govalenkov**

### **DETERMINING PROTECTIVE EQUIPMENT FOR EMERGENCY RESPONSE EFFORTS RELATED TO EMISSIONS OF HAZARDOUS CHEMICALS**

It is shown that zoning area near continuous source of a hazardous chemical can be carried out using the reduced intensity of the emission, which is the ratio of the intensity of emission of the substance to the magnitude of his critical concentration.