

*Басманов А.Е., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., НУГЗУ,
Говаленков С.С., науч. сотр., НУГЗУ*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ НЕПРЕРЫВНО ДЕЙСТВУЮЩЕГО ИСТОЧНИКА ТЕХНОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ

Определена относительная погрешность оценки интенсивности непрерывно действующего источника техногенной опасности на примере опасного химического вещества, получаемой на основании замеров концентрации, проводимых на этапе разведки

Ключевые слова: распространение вторичного облака, оценка интенсивности выброса, относительная погрешность

Постановка проблемы. В ходе разведки места аварии производится ее объезд или обход с целью определения границ «холодной» зоны, т.е. зоны в которой концентрация опасного химического вещества превосходит ПДК. С этой целью периодически берутся пробы воздуха, а граница зоны отмечается флажками или другим способом. При этом концентрация опасного химического вещества вблизи источника выброса, определяющая средства защиты личного состава, остается неизвестной. Как правило, это приводит к тому, что выбираются средства защиты с максимальной защитой, даже если их использование может затруднить работу и привести к увеличению времени ликвидации аварии.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [2, 4] определены зоны безопасного размещения сил средств при ликвидации аварий, сопровождающихся выбросом опасных химических веществ в атмосферу, а также средства индивидуальной защиты личного состава, работающего непосредственно в зоне аварии, в зависимости от интенсивности выброса вещества. В [1] построена оценка интенсивности выброса на основании замеров концентрации вещества в воздухе, но погрешность такой оценки и определение необходимого количества замеров не рассмотрены.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является определение относительной погрешности оценки интенсивности непрерывно действующего источника техногенной опасности на

примере опасного химического вещества на основании замеров концентрации, проводимых в ходе разведки места аварии.

В ходе разведки определяются концентрации q_i опасного химического вещества в воздухе в точках (x_i, y_i, z_i) в моменты времени t_i . Наблюдаемые значения концентраций q_i , являются случайными величинами

$$q_i = E \cdot F_i + \varepsilon_i + \varepsilon_{ui}, \quad (1)$$

где E – интенсивность выброса (детерминированная величина); ε_i – погрешность, обусловленная случайными изменениями скорости ветра; ε_{ui} – погрешность измерений; $F_i = F(x_i, y_i, z_i, t_i)$ – расчетная величина, определяемая на основании координат точки выброса, характеристик ветра (направление, средняя скорость, дисперсия) и турбулентного коэффициента диффузии [2]. Из [1, 4] следует, что дисперсия погрешности ε_i представима в виде

$$D\varepsilon_i = E^2 \cdot G_i, \quad (2)$$

где $G_i = G(x_i, y_i, z_i, t_i)$ – величина, рассчитываемая по координатам точки выброса, характеристикам ветра и коэффициенту турбулентной диффузии. В [4] показано, что ошибка ε_i распределена нормально. Будем также предполагать, что ошибка измерений ε_{ui} также распределена нормально с нулевым математическим ожиданием, а среднее значение модуля относительной погрешности равно δ

$$\overline{\left(\frac{|\varepsilon_{ui}|}{E \cdot F_i} \right)} = \delta. \quad (3)$$

Для нормально распределенной случайной величины $\xi = \varepsilon_{ui}/EF_i$ связь между средним значением модуля и дисперсией σ_ξ^2 определяется соотношением

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\xi} \int_{-\infty}^{+\infty} |x| \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma_\xi^2}\right] dx = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_\xi} \int_0^{+\infty} x \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma_\xi^2}\right] dx = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sigma_\xi. \quad (4)$$

Тогда

$$\sqrt{M\varepsilon_{ui}^2} = EF_i\sigma_\xi = \sqrt{\frac{\pi}{2}}\delta EF_i. \quad (5)$$

Серия из n замеров концентраций q_1, q_2, \dots, q_n позволяет построить оценку \tilde{E} интенсивности выброса E из условия минимума дисперсии ошибки ε [3]

$$D\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_i - E \cdot F_i)^2 \rightarrow \min_E; \quad (6)$$

$$\tilde{E} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i^2}. \quad (7)$$

Предполагая ошибки ε_i и ε_{ui} некоррелированными, найдем дисперсию оценки интенсивности выброса [3]

$$D\tilde{E} = M(\tilde{E} - M\tilde{E})^2 = \frac{\sum_{i=1}^n F_i^2 (M\varepsilon_i^2 + M\varepsilon_{ui}^2)}{\left(\sum_{i=1}^n F_i^2\right)^2} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i^2 M\varepsilon_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n F_i^2\right)^2} + \frac{\sum_{i=1}^n F_i^2 M\varepsilon_{ui}^2}{\left(\sum_{i=1}^n F_i^2\right)^2}. \quad (8)$$

Подставляя выражения для дисперсий ошибок ε_i и ε_{ui} , получим

$$D\tilde{E} = E^2 \frac{\sum_{i=1}^n F_i^2 G_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n F_i^2\right)^2} + E^2 \frac{\pi}{2} \delta^2 \frac{\sum_{i=1}^n F_i^4}{\left(\sum_{i=1}^n F_i^2\right)^2}. \quad (9)$$

Тогда среднее значение относительной погрешности оценки интенсивности выброса

$$\delta_E = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\sqrt{D\tilde{E}}}{E} = \sqrt{\frac{2}{\pi} \frac{\sum_{i=1}^n F_i^2 G_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n F_i^2\right)^2} + \delta^2 \frac{\sum_{i=1}^n F_i^4}{\left(\sum_{i=1}^n F_i^2\right)^2}}. \quad (10)$$

Поскольку объезд места аварии происходит примерно по границе холодной зоны, то величины F_i примерно одинаковы: $F_i \approx F$ и

$$\delta_E \approx \sqrt{\frac{2}{\pi n^2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{G_i}{F_i}\right)^2 + \frac{\delta^2}{n}}. \quad (11)$$

Соотношения (10) или (11) позволяют определить количество наблюдений n , необходимых для достижения заданной точности оценки интенсивности выброса. Их анализ показывает, что увеличение количества наблюдений n приводит к уменьшению относительной погрешности как $1/\sqrt{n}$.

Ошибка измерений ε_{ui} складывается из ошибки прибора, которым производится измерение концентрации (газоанализатора), и ошибки определения координат места измерения относительно источника выброса. Принимая погрешность 6÷8 метров при определении координат автомобильными GPS навигаторами и расстояние до места аварии 50÷100 метров, получим относительную погрешность порядка 10%. Для газоанализатора Дозор-С-М декларируемая относительная погрешность не превосходит 25%. Тогда относительная погрешность измерений составит

$$\delta \approx \sqrt{0,1^2 + 0,25^2} = 0,27.$$

В качестве примера на рис. 1 приведена замкнутая ломаная, по которой проводился объезд места выброса аммиака. Измерения концентрации аммиака в воздухе проводились в вершинах ломаной. При этом начало координат совпадает с точкой выброса; ветер со скоростью 2 м/с направлен вдоль горизонтальной оси, среднеквадратическое отклонение скорости 0,4 м/с в направлении ветра и 0,2 м/с в поперечном направлении. Интенсивность выброса при-

нята 0,1 кг/с. Координаты точек измерения (вершин ломаной) и расчетные значения F_i , G_i в этих точках приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Объезд места аварии

№	x , м	y , м	$F_i \cdot 10^6$	$G_i \cdot 10^6$	№	x , м	y , м	$F_i \cdot 10^6$	$G_i \cdot 10^6$
1	-11,0	-0,2	166	68	9	75,2	0,5	192	20
2	-5,0	10,2	294	86	10	78,3	-12,7	172	24
3	-3,7	20,5	96	34	11	58,7	-14,3	1,15	0,15
4	10,3	23,3	136	46	12	50,3	-23,3	174	36
5	28,2	20,2	246	48	13	34,3	-26,8	136	38
6	44,3	18,3	216	38	14	18,3	-18,8	286	58
7	55,8	22,0	174	34	15	5,8	-16,8	262	70
8	75,7	13,5	182	26	16	-10,8	-10,4	78	42

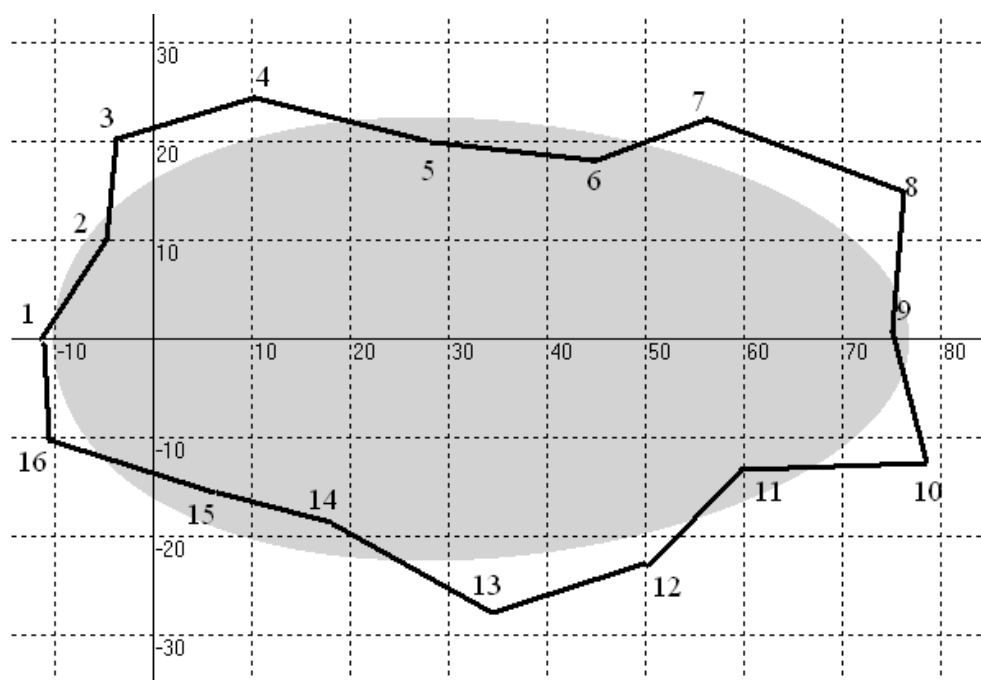


Рис. 1 – Объезд места аварии, сопровождающейся выбросом аммиака с интенсивностью 0,1 кг/с

На рис. 2 приведена зависимость относительной погрешности оценки интенсивности выброса от количества наблюдений, рассчитанная по формуле (10) и асимптота, к которой она приближается с ростом количества наблюдений.

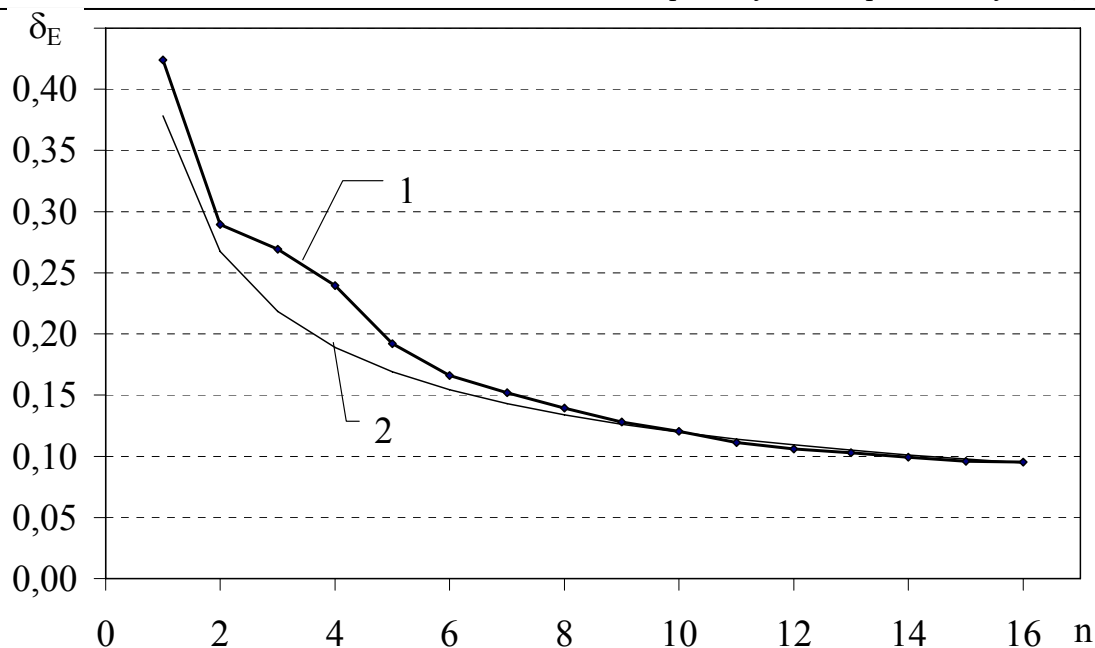


Рис. 2 – Залежність відносної погрешності оцінки інтенсивності выброса від кількості спостережень (1) і асимптота A/\sqrt{n} (2)

В залежності від вибору точок спостереження крива на рис. 2 буде змінюватися, але кожна така крива з ростом кількості спостережень буде наближатися до нуля як $1/\sqrt{n}$.

Аналіз даного прикладу показує, що слагаємі під знаком корня в формулі (10) мають один порядок: їх відношення змінюється в межах $0,44 \div 1,47$ для різних значень n . Таким чином, при визначенні відносної погрешності оцінки інтенсивності выброса необхідно враховувати як помилки, викликані випадковим характером дифузії речовини в повітрі, так і помилки вимірювання концентрації та визначення координат.

Висновки. Визначено відносна погрешність оцінки інтенсивності неперервно діючого джерела техногенної небезпеки на прикладі небезпечного хімічного речовини в повітрі на основі вимірювань концентрації проводимих в ході розвідки місця аварії. Показано, що відносна погрешність зменшується з ростом кількості спостережень n як $1/\sqrt{n}$. Розглянутий приклад з выбросом аміаку показує, що 10-15 вимірювань достатньо для оцінки інтенсивності выброса з відносною погрешністю близько 10-12%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Басманов А.Е. Зонирование местности в районе непрерывно действующего источника опасного химического вещества / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков, М.В. Васильев // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2011. – № 13. – С. 20-33.
2. Басманов А.Е. Определение безопасных зон при ликвидации аварии, связанной с выбросом опасных химических веществ. / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2009. – № 10. – С. 44-51.
3. Басманов А.Е. Определение дисперсии оценки интенсивности выброса опасного химического вещества при распространении вторичного облака. / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков, А.А. Михайлюк // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2012. – № 15. – С. 26-30.
4. Стрілець В.М. Аналіз захисних властивостей засобів індивідуального захисту, які призначені для роботи в умовах викиду небезпечних хімічних речовин / В.М. Стрілець, М.В. Васильев // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – 2010. – Вип. 1 (23). – С. 197-200.
nuczu.edu.ua

Басманов О.Є., Говаленков С.С.

Визначення відносної похибки оцінки інтенсивності неперервно діючого джерела техногенної небезпеки

Визначено відносну похибку оцінки інтенсивності неперервно діючого джерела техногенної небезпеки на прикладі небезпечної хімічної речовини, яка отримана на підставі замірів концентрації, що проводяться на етапі розвідки

Ключові слова: розповсюдження вторинної хмари, оцінка інтенсивності викиду, відносна похибка

Basmanov A.E., Govalenkov S.S.

Determining of relative error of intensity estimation for continuous action emission source of hazard

Relative error of intensity estimation for continuous action emission source of hazardous chemicals is determining. It based on series of concentration measurements which were obtained during the exploration.

Key words: secondary cloud spreading, estimation of intensity of emission, relative error