

мой примеси на оценку концентрационных полей, возникающих при распространении

облака гауссова типа // Проблемы безопасности и ЧС. 2004. №4. С. 35-42.

УДК 502.1: 504

Блащинская Оксана Николаевна,
старший преподаватель кафедры «Автоматизация технологических процессов»
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: Lin_oks@mail.ru

Патрушев Константин Юрьевич,
к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЙВАНИЯ ВЫБРОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Blaschinskaj O.N., Patrushev K.IU.

MODELING OF DISPERSION OF POLLUTANTS RELEASE

Аннотация. В статье рассмотрено моделирование рассеивания загрязняющего вещества при выбросах токсиканта, зависящее от характеристик атмосферного переноса, от скорости ветра и класса устойчивости (стабильности) атмосферы. Для описания зависимости реализации классов устойчивости атмосферы от скорости ветра были также проанализированы данные соответствующие определенному типу земной поверхности (равнинная, холмистая и т.д.).

Ключевые слова: моделирование, загрязняющие вещества, класс устойчивости атмосферы, мощность выброса загрязняющих веществ.

Abstract. The article considers the modeling of the dispersion of a pollutant during toxicant emissions, depending on the characteristics of atmospheric transport, wind speed and the stability class of the atmosphere. To describe the dependence of the implementation of atmospheric stability classes on wind speed, data corresponding to a certain type of Earth's surface (flat, hilly, etc.) were also analyzed.

Keywords: modeling, pollutants, the stability class of the atmosphere, the emission power of pollutants.

Размеры зоны токсической опасности при выбросах токсиканта зависят как от мощности выброса, так и от характеристик атмосферного переноса, прежде всего от скорости ветра и от категории (класса) устойчивости (стабильности) атмосферы [1,2]. Категории различаются в основном интенсивностью вертикального перемещения. Наиболее неустойчивая категория «А» отмечается при слабом ветре и сильной солнечной радиации, когда воздух, нагретый теплом от земной поверхности, всплывает. Обычно это состояние возникает после полудня или несколько раньше. Категория «С» наблюдается при усилении ветра от умеренного до сильного и чаще всего вечером при ясном небе или днём при низких кучевых облаках, а также летними ясными днями при высоте солнца 15 – 30°. Нейтральная категория «D» соответствует условиям сплошной облачности, как днём, так и ночью, когда влияние прямых солнечных лучей незначительно. Устойчивые категории «Е» и «F» фиксируют обычно ночью

при чистом небе или слабой облачности, когда земная поверхность выхолаживается и над ней устанавливается инверсионный слой. Естественная конвекция при этом подавляется.

Стабильность повышается с ростом скорости ветра и снижением интенсивности солнечного облучения. Облачность проявляется по-разному.

Ночью её снижение усиливает охлаждение Земли, образование температурной инверсии. Днём, наоборот, конвективные потоки и нестабильность усиливаются.

Для определения категории стабильности используют классификацию по вертикальному градиенту температур (классификация Паскуилла, таблица 1). Поскольку состояние устойчивости атмосферы по существу определяется интенсивностью вертикальных конвективных течений, оно может существенно изменяться и в течение суток. Характерное распределение стабильности атмо-

сферы в течение дня средних широт представлено для различных времён года.

Таблица 1 – Классификация классов устойчивости по Паскуилу

Градиент температуры ($\Delta T/\Delta Z$), °C/100 м	Класс устойчивости
< 1,9	А - сильная конвекция
-(1,9÷1,7)	В - конвекция
-(1,7÷1,5)	С – умеренная конвекция
-(1,5÷0,5)	Д – нейтральная
-0,5÷+1,5	Е – инверсия

Как видно, распределение состояний устойчивости атмосферы в холодное и тёплое время года весьма отличаются. Так, в холодное время года доминируют нейтральное и стабильное состояние атмосферы, а в тёплое время года: ночью - стабильное, а днём - неустойчивое. Для мощных вертикальных высокоскоростных выбросов или высокотемпературных выбросов, а также в случае расположения источника выброса на значительной высоте от поверхности земли весьма важным является учёт зависимости слоя перемешивания (приземный слой атмосферы с примерно постоянным касательным напряжением сдвига) от состояния атмосферы. По данным зарубежных исследований высота слоя перемешивания в среднем изменяется от 100 м ночью до 2000 м в дневное время. При этом максимальное значение высоты слоя перемешивания достигается через 3-4 часа после восхода солнца.

Для описания зависимости реализации того или иного класса устойчивости атмосферы от скорости ветра «U» были проанализированы данные соответствующей определенному типу земной поверхности (равнинная, холмистая и т.д.).

Влияние состояния земной поверхности проявляется также и в эффекте торможения движения воздушных масс, который характеризуется, как правило, так называемым «параметром шероховатости» (D_0) в зависимости от структуры ландшафта и сезона в разрезе года. Наиболее характерные значения D_0 даны в таблице 2.

Известно, что скорость ветра существенно изменяется с высотой [1]. В прикладных исследованиях наиболее часто используется степенная зависимость вида:

$$U(z) = U_0 \cdot \left(\frac{z}{z_0}\right)^p$$

Значения показателя «p» также зависят от класса устойчивости атмосферы и "шероховатости" поверхности D_0 (таблица 2).

Таблица 2 – Зависимость параметра "p" от величины шероховатости

Категория стабильности атмосферы	Параметры шероховатости D_0 , м			
	0,01	0,1	1	3
А	0,05	0,08	0,17	0,27
В	0,06	0,09	0,17	0,28
С	0,06	0,11	0,2	0,31
Д	0,12	0,16	0,27	0,37
Е	0,34	0,32	0,38	0,47
F	0,53	0,54	0,61	0,69

Также существует связь между категориями устойчивости атмосферы и характеристиками турбулентного переноса с масштабами переноса примеси.

Анализ для простейшего случая переноса «нейтральной» примеси от точечного источника постоянной мощности G_0 показал, что распределение концентрации примеси на оси следа ($y = 0$) на поверхности земли ($z = 0$) равно:

$$\tilde{N}(x, 0, 0) \approx \frac{G_0}{2 \cdot \pi \cdot U \cdot \sigma_y(x) \cdot \sigma_z(x)}$$

Обычно коэффициенты дисперсии в горизонтальном и вертикальном направлении σ_y и σ_z вычисляют по эмпирическим соотношениям. Наиболее известны номограммы «Гиффорда-Паскуилла», составленные по наблюдениям концентрации на равнинной местности:

$$\sigma_i = \exp[a_i + b_i \cdot \ln x + c_i \cdot (\ln x)^2],$$

где x – расстояние, м ($10^2 \leq x \leq 10^4$); $i = y, z$.

Коэффициенты аппроксимации a_i , b_i и c_i , даны в таблице 3:

Таблица 3 – Константы формул, аппроксимирующих кривые Гиффорда-Паскуилла

Константы	Категории стабильности атмосферы					
	А	В	С	Д	Е	F
a_y	-1,104	-1,634	-2,054	-2,555	-2,754	-3,143
b_y	0,9878	1,035	1,0231	1,0423	1,0106	1,0148
c_y	0,0076	0,0096	0,0076	-0,0087	0,0064	-0,007
a_z	4,679	-1,999	-2,341	-3,186	-3,783	-4,49
b_z	1,7172	0,8752	0,9477	1,1737	1,301	1,4024
c_z	0,277	0,0136	-0,002	-0,0311	-0,045	-0,054

Бриггс провёл аналогичные наблюдения в городской местности и поэтому его коэффициенты иногда называют «городскими». Для нестабильной атмосферы городские коэффициенты σ_y выше сельских приблизительно до 5 км, потом существенно снижаются. С учётом стабильности (для категории F) позиция превышения городских коэффициентов увеличивается до 40 км. Расхождение коэффициентов (σ_z ещё более существенны).

Представленные выше данные об изменениях и корреляциях между основными параметрами атмосферного переноса свидетельствуют о необходимости построения предельно чётких логических схем различных вариантов (исходов) развития аварийного процесса в атмосфере, построенных по принципу «деревьев событий».

Очевидно также, что по целому ряду характеристик (шероховатость дневной поверхности, функции распределения скорости ветра и классов стабильности атмосферы в разрезе года и др.) «функции переноса» непосредственно связаны и с «функцией источника» (давление насыщенных паров, температура воздуха и поверхности грунта и др.), то есть с мощностью выброса.

Проиллюстрируем важность обоснования характерного сценария на примере аварийного струевого выброса токсического газа с постоянной мощностью. Возможная неопределённость – направление выброса. Варианты: 1 – вертикальная свободная струя в сносящем потоке ветра; 2 – «настильная» струя (то есть ориентированная вдоль земной поверхности) с характерной высотой источника - 1,0 м. Для корректности сравнения диаметр источника и масса выброса в обоих случаях приняты одинаковыми.

С использованием классических законов сохранения количества движения, массы и неразрывности можно получить для вертикального выброса следующие выражения для расчёта концентрации токсиканта в расширяющейся струе на высоте «z» от среза трубы радиусом « r_0 »:

$$C = \frac{C_0 \cdot r_0 \cdot \sqrt{\frac{r_0}{r_a}}}{2 \cdot z \cdot a + r_0},$$

а также «предельную» высоту подъёма струи - Z_* , на которой её средняя по сечению скорость будет близка к скорости ветра на этой же высоте - $U(Z_*) \equiv U_*$:

$$Z_* = \frac{r_0}{2 \cdot a} \cdot \left(\sqrt{\frac{p_0}{p_a} \cdot \frac{w_0}{U_*}} - 1 \right),$$

где C_0 , p_0 – концентрация токсиканта и плотность газа (смеси) на срезе; p_a – плотность атмосферного воздуха; a – коэффициент «захвата» (эжекции) воздуха (в соответствии с многочисленными экспериментами для свободной турбулентной струи, $a = 0,06 \div 0,08$); w_0 – скорость выброса.

На высоте $Z = Z_*$ струя практически погасит свою исходную кинетическую энергию, и дальнейший процесс рассеивания примеси будет подчиняться законам турбулентного обмена в атмосфере, то есть произойдёт смена инжекционного механизма на диффузионный.

Определив значения $Z_* = H_{эк}$ и $C(Z_*)$, где по смыслу $H_{эк}$ является высотой эквивалентного источника с помощью токсиканта Q_* можно перейти ко второй стадии анализа - к расчёту рассеивания по направлению ветра токсиканта в атмосфере под действием массопереноса и турбулентной диффузии.

Для прогноза распределения концентраций токсиканта вокруг источника используют простейшую модель Гаусса турбулентной диффузии.

Математическое выражение для концентрации вещества от точечного источника с постоянной мощностью – Q_* записывается в следующем виде:

$$C = \frac{f(A) \cdot Q_*}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot e^{\frac{-y^2}{2 \cdot \sigma_y^2}} \cdot \left(e^{\frac{-(z-H)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}} + e^{\frac{-(z+H)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}} \right),$$

где Q_* – мощность источника, кг/с; σ_y и σ_z , – дисперсионные параметры, зависящие от устойчивости атмосферы и расстояния от источника «x», м; U – скорость ветра, м/с; H – высота источника, м; x , y , z – осевая, поперечная и вертикальная координаты; $f(A)$ – доля примеси в слое перемешивания (A – высота слоя перемешивания).

Эта зависимость применительно к реальным условиям выброса с концентрацией C_0 корректируются введением понятия виртуального источника. В этом случае вычисляют x_0 таким образом, чтобы в точке ($x = 0$, $y = 0$, $z = H$) соблюдалось равенство:

$$C = \frac{f(A) \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_y(x_0) \cdot \sigma_z(x_0) \cdot U}$$

А при дальнейших расчётах параметры

дисперсии корректируются с учётом значения x_0 , то есть $\sigma_y = \sigma_y(x + x_0)$; $\sigma_z = \sigma_z(x + x_0)$. Как правило, для относительно неболь-

ших значений высот подъёма факела ($H < 100 \div 200$ м) $f(A) = 1$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев Е.И., Прусаков В.М., Душутин К.К. Охрана атмосферы и нефтехимия. Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 231 с.

2. Замышляев Б.В. Влияние начальных размеров выброса (истечения) невесомой примеси на оценку концентрационных полей, возникающих при распространении облака гауссова типа // Проблемы безопасности и ЧС. 2004. №4. С. 35-42.

мой примеси на оценку концентрационных полей, возникающих при распространении облака гауссова типа // Проблемы безопасности и ЧС. 2004. №4. С. 35-42.

УДК 006.91

*к.т.н., доцент кафедры «Промышленная электроника и информационно-измерительная техника» ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: candell@mail.ru*

*к.т.н., доцент кафедры «Промышленная электроника и информационно-измерительная техника» ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: mpilcov@yandex.ru*

*обучающийся группы ЭНм-22-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: borartdm1t@yandex.com*

Воронова Тамара Сергеевна,

Пильцов Михаил Владимирович,

Борисов Артем Дмитриевич,

ПРИМЕР ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Voronova T.S., Piltsov M.V., Borisov A.D.

EXAMPLE OF ESTIMATION OF MEASUREMENT UNCERTAINTY

Аннотация. Согласно действующей на сегодняшний день нормативной документации показан алгоритм расчета неопределенности при косвенных измерениях. Приводится пример расчета расширенной неопределенности при косвенных измерениях.

Ключевые слова: точность результатов измерений, концепция неопределенности измерений, неопределенность, стандартная неопределенность, оценивание неопределенности типа A, оценивание неопределенности типа B, суммарная стандартная неопределенность, расширенная неопределенность.

Abstract. According to the current regulatory documentation, an algorithm for calculating uncertainty in indirect measurements is shown. An example of the calculation of the extended uncertainty in indirect measurements is given.

Keywords: accuracy of measurement results, concept of measurement uncertainty, uncertainty, standard uncertainty, type A uncertainty estimation, type B uncertainty estimation, total standard uncertainty, expanded uncertainty.

В последние десятилетия международные требования к оценке точности измерений регламентируют необходимость представлять результаты измерений с точки зрения концепции неопределенности измерений. Классический подход к представлению результатов измерений приведен в [1-5]. Несмотря на достаточно обширную отечественную нормативную базу в области концепции неопределенности, обзор которой был пред-

ставлен в [6], применение этой концепции вызывает затруднения у рядового пользователя. Действительно, освоение, например, одного из основополагающих документов [7], требует, помимо владения метрологической терминологией, также и довольно глубокого знания элементов теории вероятностей и математической статистики. Однако в этом документе даются четкие указания по проведению процедуры оценки неопреде-