

*Говаленков С.С., ад'юнкт, УГЗУ,
Панина Е.О., преп., УГЗУ*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ

(представлено д-ром техн. наук Туркиным И.Б.)

В статье рассматривается экспериментальное определение параметров корреляционных функций для построения стохастической математической модели распределения концентраций опасных химических веществ в воздухе в результате пожара, обусловленного мгновенной утечкой газа. Источником случайности являются случайные изменения направления и скорости ветра.

Постановка проблемы. К числу основных источников негативного воздействия на людей и окружающую среду при авариях на химически опасных объектах (ХОО) относятся: истечение жидкости через отверстие, перелив жидкости через обвалование при квазимгновенном разрушении резервуара, испарение жидкости, образование газо-паровоздушного облака, «пожар–вспышка», взрыв резервуара с перегретой жидкостью в очаге пожара, пожар пролива, «огненный шар», факельное горение газовой и жидкостной струи, вскипание горячей жидкости в резервуаре [1]. Для оценки степени поражения людей от теплового потока, токсичности опасных химических веществ, наибольшее распространение получили численные и вероятностные методы. Такие методы используют модели, которые имеют ряд недостатков, обусловленных тем, что коэффициенты моделей являются усредненными, кроме того, при одновременном воздействии нескольких химически опасных веществ (ХОВ) определение вероятности поражения затруднительно. Поэтому целесообразно построение стохастической модели, в которой источником случайности являются случайные изменения направления и скорости ветра.

Анализ последних исследований и публикаций. Как отмечается в работах [1-6], использование вероятностных критериев для анализа поражения людей, зданий и оборудования – одно из наиболее перспективных и широко используемых направлений

при моделировании чрезвычайных ситуаций (ЧС). В то же время эти методы используются, в основном, для прогнозирования поражения людей при авариях вследствие влияния теплового излучения и ударной волны [1,7]: в случае термического воздействия теплового потока интенсивностью 37 кВт/м² при длительности воздействия 30 с., будут смертельно поражены 90% людей, попавших в зону облучения. Например в [1,7] для определения вероятности поражения людей при горении разлива ХОВ с учетом теплового потока q , (кВт/м²) используется выражение

$$Pr = -14,9 + 2,56 \ln(t_{эф} \cdot q^{1,33}) \quad (1)$$

Таблица 1

d , м.	10	20	30	40	50
E_f , кВт/м ² .	(1)-80	(2)-63	(3)-50	(4)-43	(5)-40
H факела, м.	22,7	36,8	48,7	59,56	69,56

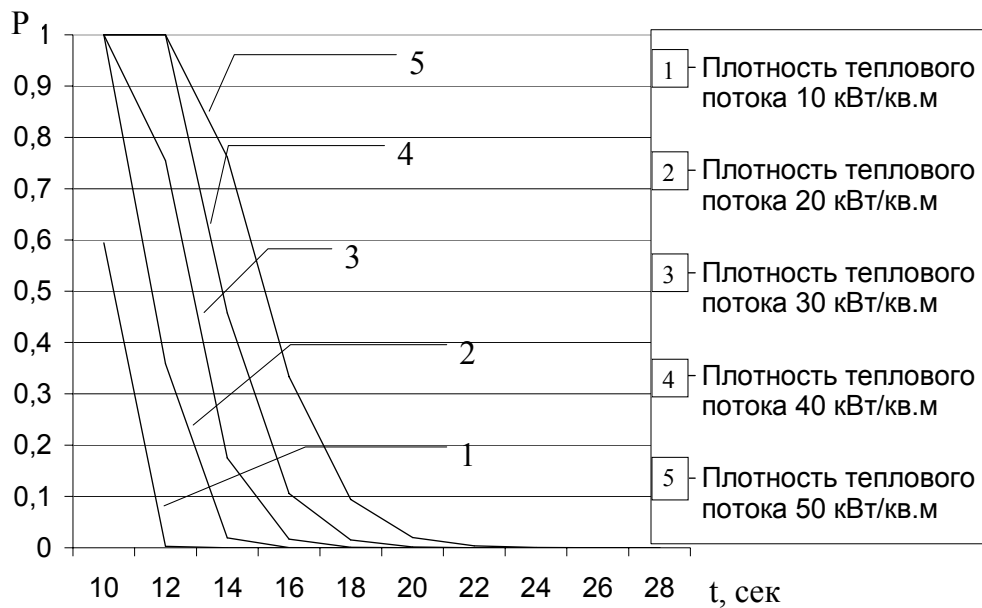


Рис. 1 – График зависимости вероятности смертельного поражения людей (P) от времени их пребывания в опасной зоне горения разлива пропан-бутана с различными плотностями теплового потока

Учитывая выражение (1) для разных значений плотности теплового потока графики зависимости вероятности смертельного поражения людей, от времени их пребывания в опасной зоне и от

Определение параметров корреляционных функций для построения стохастической модели распределения концентраций опасных химических веществ в воздухе

расстояния, при горении пропан-бутана с входными данными, представленными в табл.1, имеют вид, представленный на рис.1 и рис.2.

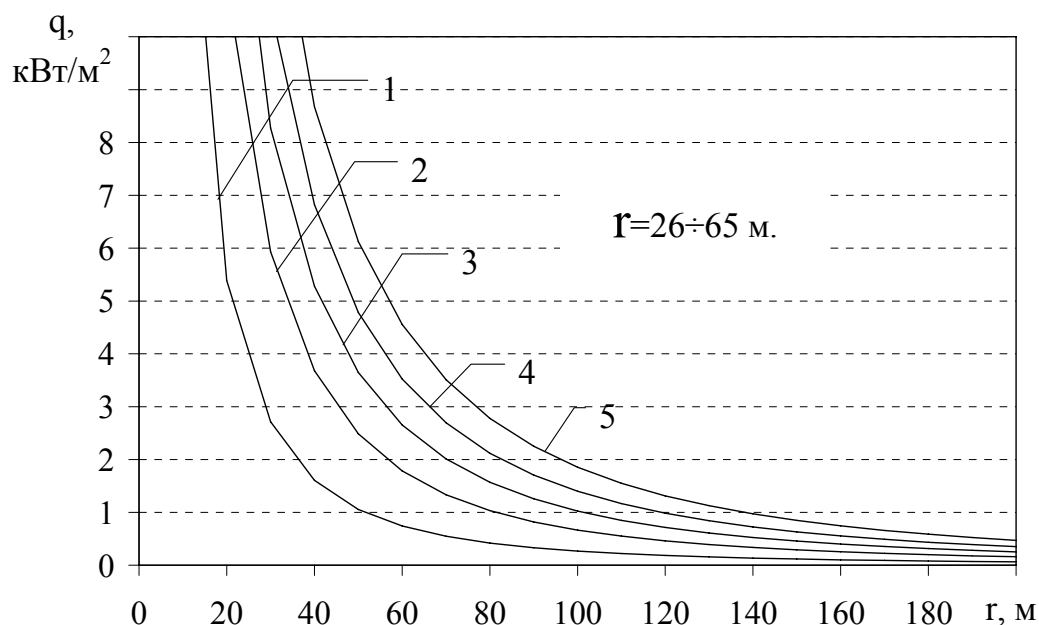


Рис. 2 – График зависимости интенсивности теплового излучения пламени при горении пропан-бутана от расстояния r

Учитывая недостатки используемых в методиках методов, в частности, учета среднего значения направления и скорости ветра при прогнозировании развития ЧС и ее последствий, авторами был предложен алгоритм построения стохастической модели прогнозирования параметров полей концентраций в воздухе при выбросе ОХВ в атмосферу [8].

Постановка задачи и ее решение. Целью статьи является получение параметров корреляционных функций $K_{\xi}(\tau)$, $K_{\eta}(\tau)$ и взаимной корреляционной функции $K_{\xi\eta}(\tau)$.

Рассмотрим чрезвычайную ситуацию, связанную с мгновенной утечкой вещества (например, пролив быстроиспаряющейся жидкости, разгерметизация емкости с сжиженным газом). В этом случае концентрация паров жидкостей или газообразных веществ в воздухе описывается уравнением диффузии [5]

$$\frac{\partial q}{\partial t} = a \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + a \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} + a_z \frac{\partial^2 q}{\partial z^2} - v_x \frac{\partial q}{\partial x} - v_y \frac{\partial q}{\partial y}, \quad (2)$$

где $q(x, y, z, t)$ – концентрация вещества, кг/м³; a , a_z – коэффициент турбулентной диффузии в горизонтальном и вертикальном направлениях, м²/с; $\vec{v}(v_x, v_y)$ – вектор, определяющий направление и скорость ветра, м/с.

Начальное условие примет вид

$$q(x, y, z, 0) = m\delta(x - x_0, y - y_0, z - z_0), \quad (3)$$

где m – масса разлившегося и испарившегося вещества, кг; $\delta(x, y, z)$ – дельта-функция Дирака [5]. Краевое условие описывает непроницаемость поверхности земли для диффундирующего в атмосфере вещества

$$\frac{\partial q}{\partial z} = 0. \quad (4)$$

В настоящее время используются методы прогнозирования распределения концентрации опасных веществ в воздухе, основанные на решении уравнения (2) с начальными и краевыми условиями (3)-(4).

При этом предполагается, что направление и скорость ветра остаются постоянными. Однако и направление, и скорость ветра меняются со временем, особенно если продолжительность прогнозируемого интервала составляет несколько часов. Кроме того, такой прогноз опирается на предсказание направления и скорости ветра, которые являются оценкой среднего направления и скорости ветра и, следовательно, представляют собой случайные величины.

Таким образом, скорость и направление ветра являются случайными. Поэтому для их описания будем использовать случайные процессы, полагая, что компоненты вектора скорости ветра $\vec{v} = (v_x, v_y)$ описываются случайными процессами

$$v_x(t) = \xi(t), \quad v_y(t) = \eta(t),$$

где $\xi(t)$, $\eta(t)$ – стационарные и стационарно связанные случайные процессы [4] с математическими ожиданиями \bar{v}_x , \bar{v}_y .

Здесь стационарность понимается как во времени, так и в пространстве, т.е. математические ожидания и дисперсии не зависят от времени и координат [4]. Это условие будет выполнено, если местность, где произошла авария и распространяется облако, является однородной, т.е. не имеет отдельных возвышенностей или низин, оказывающих влияние на направление и скорость ветра.

Стационарность случайных процессов означает, что корреляция между векторами скорости $\vec{v}(t_1)$ и $\vec{v}(t_2)$ в моменты времени t_1 и t_2 соответственно, зависит только временного промежутка $\tau = |t_1 - t_2|$, а не от абсолютных значений t_1 и t_2 . Тогда корреляционные функции случайных процессов ξ и η , а также их взаимная корреляционная функция, будут функциями, зависящими только от τ [4]

$$K_\xi = K_\xi(\tau), K_\eta = K_\eta(\tau), K_{\xi\eta} = K_{\xi\eta}(\tau). \quad (5)$$

По определению, корреляционная функция случайного процесса характеризует силу корреляционной связи между моментами времени, отстоящих друг на друга на τ [4]

$$K_\xi(\tau) = M[\xi(t_0) - a][\xi(t_0 + \tau) - a], \quad a = M\xi. \quad (6)$$

Определение корреляционной функции (5) позволяет построить оценки ее значений $K_j = K(j\Delta\tau)$ по результатам наблюдений за реализацией $X(\tau)$ случайного процесса ξ в дискретные моменты времени $j\Delta\tau$ [4]

$$K_j = \frac{1}{N - j + 1} \sum_{k=0}^{N-j} [\xi((k+j)\Delta\tau) - a][\xi(k\Delta\tau) - a]. \quad (7)$$

Для экспериментальной оценки средней скорости ветра, его среднеквадратического отклонения, корреляционных функций (5) была проведена серия измерений скорости ветра. Наблюдения проводились с шагом $\Delta\tau = 10$ с на протяжении 10 минут. При этом измерялось абсолютное значение скорости ветра v с помощью анемометра и его направление α с помощью флюгера. Измерения проводились на высоте 2 м над землей. Измеренные значения затем преобразовывались в компоненты вектора скорости

$$v_x = v \cos \alpha, \quad v_y = v \sin \alpha.$$

На рис. 3 приведена полученная в ходе эксперимента реализация вектора (v_x, v_y) скорости ветра.



Рис. 3 – Полученная в ходе эксперимента реализация вектора (v_x, v_y) скорости ветра: 1 – v_x ; 2 – v_y

Средние значения скорости ветра составили $\bar{v}_x = 2,9$ м/с, $\bar{v}_y = 1,3$ м/с.

Проведенный эксперимент позволил оценить значения корреляционных функций $K_\xi(\tau)$, $K_\eta(\tau)$ и взаимной корреляционной функции $K_{\xi\eta}(\tau)$. На рисунках 4-6 приведено графическое представление полученных оценок корреляционных функций и их аппроксимаций.

Во всех случаях (рис. 4-6) корреляционные функции хорошо аппроксимируются функциями вида

$$K(\tau) = \sigma^2 \exp(-\alpha|\tau|). \quad (8)$$

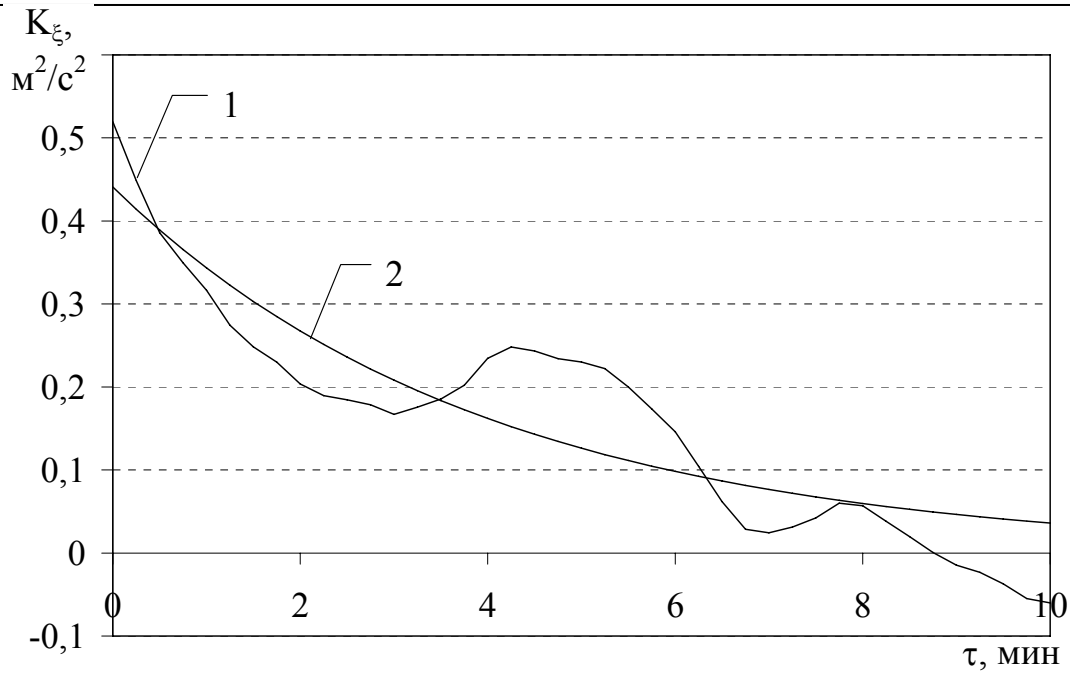


Рис. 4 – Корреляционная функция $K_{\xi}(\tau)$: 1 – оценка, полученная из эксперимента; 2 – аппроксимация $K_{\xi}(\tau) = 0,441e^{-0,0042|\tau|}$, где τ задано в секундах

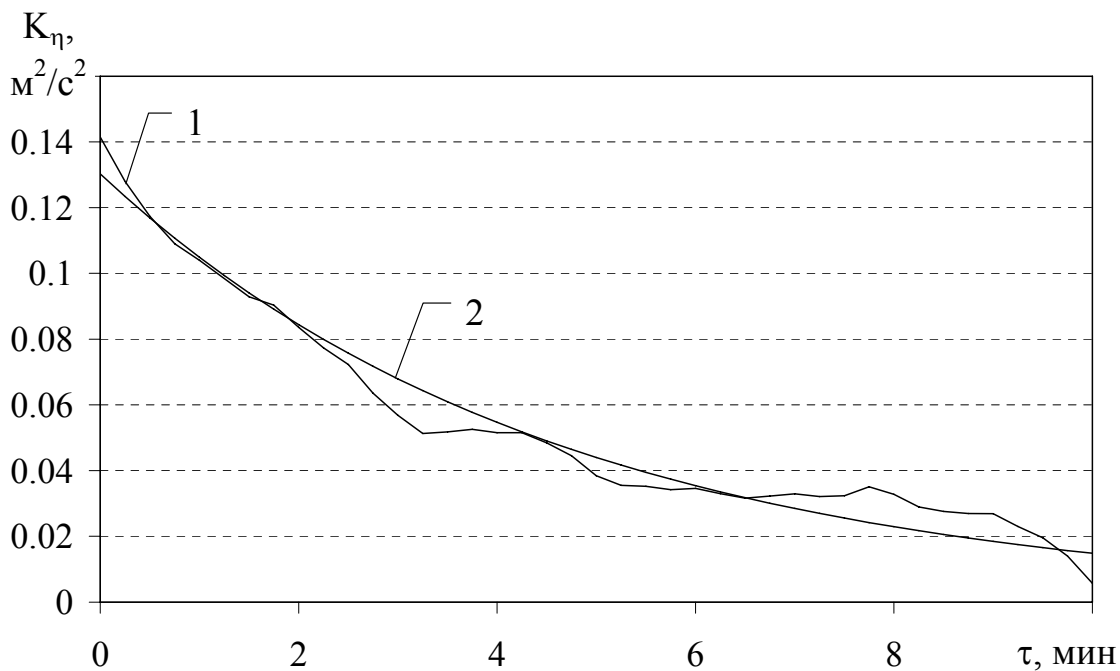


Рис. 5 – Корреляционная функция $K_{\eta}(\tau)$: 1 – оценка, полученная из эксперимента; 2 – аппроксимация $K_{\eta}(\tau) = 0,130e^{-0,0036|\tau|}$, где τ задано в секундах

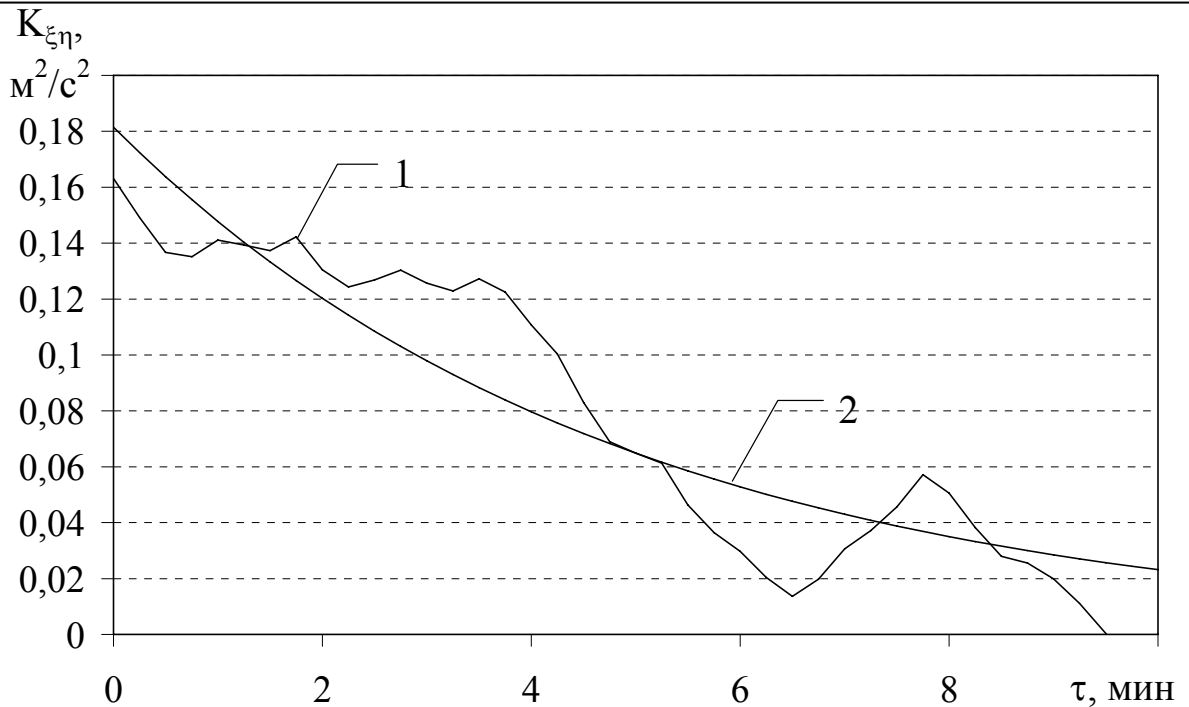


Рис. 6 – Совместная корреляционная функция $K_{\xi\eta}(\tau)$: 1 – оценка, полученная из эксперимента; 2 – аппроксимация $K_{\xi\eta}(\tau) = 0,181e^{-0,0037|\tau|}$, где τ задано в секундах

Из других типичных корреляционных функций отметим также функции вида $\sigma^2 e^{-\alpha|t|} \cos \beta t$, $\sigma^2 e^{-\alpha t^2}$, $\sigma^2 e^{-\alpha t^2} \cos \beta t$. Мы используем именно функцию (5), т.к. наличие множителя $\cos \beta t$ с физической точки зрения означает наличие периодических колебаний в системе [4], а в рассматриваемом случае таких предпосылок нет. Основное отличие между функциями вида $\sigma^2 e^{-\alpha|t|}$ и $\sigma^2 e^{-\alpha t^2}$ состоит в недифференцируемости первой в точке 0 (а, следовательно, и недифференцируемости всего случайного процесса $\xi(t)$) и дифференцируемости второй из них [4]. Поскольку дифференцируемость процесса для нас несущественна, то мы используем более простые функции. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать корреляционные функции в виде

$$K_{\xi}(\tau) = \sigma_{\xi}^2 \exp(-\alpha_{\xi}|\tau|), \quad (9)$$

$$K_{\eta}(\tau) = \sigma_{\eta}^2 \exp(-\alpha_{\eta}|\tau|), \quad (10)$$

$$K_{\xi\eta}(\tau) = s_{\xi\eta} \exp(-\alpha_{\xi\eta}|\tau|), \quad (11)$$

где σ_{ξ}^2 , σ_{η}^2 – дисперсии случайных процессов ξ и η ; α_{ξ} , α_{η} , $\alpha_{\xi\eta}$, $s_{\xi\eta}$ – параметры.

Параметры σ , α , s аппроксимирующих функций подбирались так, чтобы минимизировать сумму квадратов отклонений от экспериментальных точек

$$\sum_i (\sigma^2 \exp(-\alpha|\tau_i|) - K_i)^2 \rightarrow \min_{\sigma, \alpha, \beta, \gamma}, \quad (12)$$

где K_i – оценка значения корреляционной функции $K(\tau)$ в точке (τ_i) . Поиск точки минимума для функции (8) был проведен с помощью системы Maple. Результаты расчетов параметров аппроксимирующих функций (9)-(11) приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Параметры аппроксимирующих функций

Корреляционная функция	σ^2 ($s_{\xi\eta}$), $\text{м}^2/\text{с}^2$	α , с^{-1}	Средняя погрешность, %
K_{ξ}	0,441	0,0042	56
K_{η}	0,130	0,036	14
$K_{\xi\eta}$	0,181	0,037	39

Наибольшая погрешность аппроксимации возникает с приближением корреляционной функции к нулю при росте τ (рис. 9-11).

Важной характеристикой случайного процесса является его закон распределения. Для его оценки законов распределения случайных процессов $\xi(t)$, $\eta(t)$ были построены гистограммы распределения частот (рис. 7, 8). Для этого диапазоны, в которых изменяются эти величины, были разбиты на 7 интервалов. Из гистограмм видно, что распределение скоростей близко к нормальному распределению [1]

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}.$$

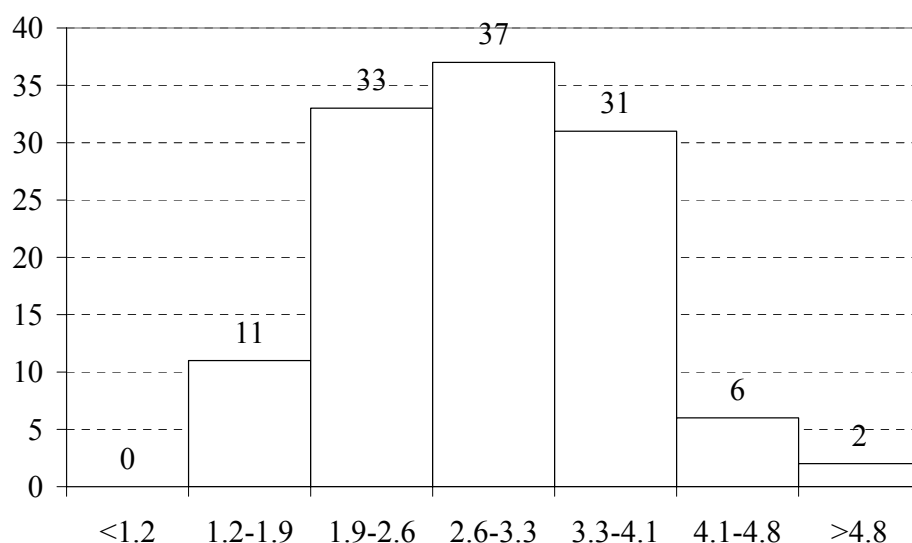


Рис. 7 – Гистограмма распределения частот для компоненты ξ скорости ветра

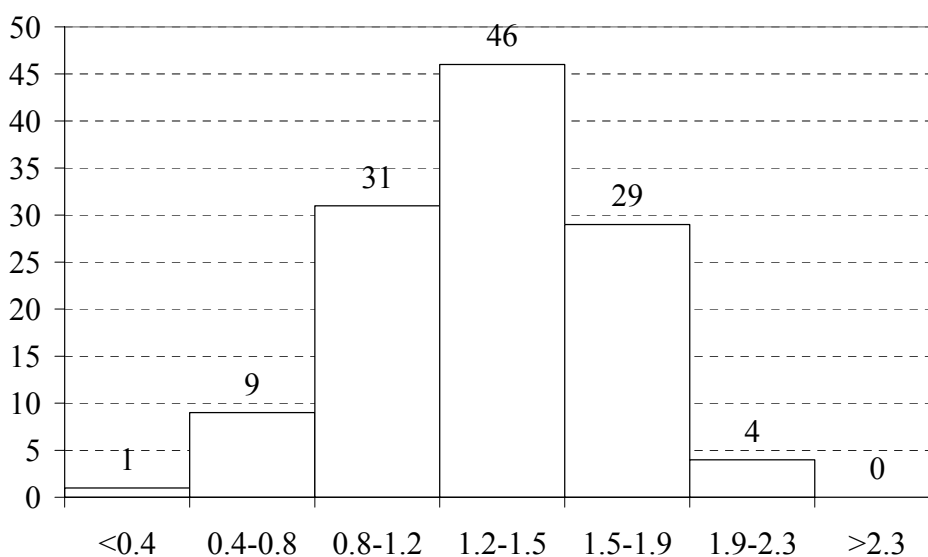


Рис. 8 – Гистограмма распределения частот для компоненты η скорости ветра

Поэтому на основании проведенных наблюдений была выдвинута гипотеза о нормальном распределении компонент ξ и η скорости ветра.

Проверка гипотезы с помощью критерия χ^2 [1] подтвердила ее непротиворечивость результатам наблюдений: расчетное значение критерия составило $\chi_{\xi}^2 = 8,08$ и $\chi_{\eta}^2 = 1,56$ при критическом значении $\chi_{кр}^2 = 9,49$.

Выводы. Знание математического ожидания и среднеквадратического отклонения позволит оценить вероятность превышения концентрацией выброшенного вещества некоторого критического значения. Учет этих параметров необходим при рассмотрении возможных сценариев чрезвычайной ситуации и планировании действий подразделений МЧС по ее локализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование пожаров и взрывов / Под общ. ред. Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченко. – М.: Изд. «Пожнаука», 2000. – 482 с.
2. Маршалл В. Основные опасности химических производств. - М.: Мир, 1989. – 672 с.
3. Кірючкін О.Ю., Мурін М.М., Тютюник В.В., Шевченко Р.І. Оцінка багатокритеріальної методики аналізу хімічно-небезпечного стану об'єктів та регіонів України // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2006. - №6. – С. 62 – 73.
4. Моніторинг надзвичайних ситуацій. Підручник./Абрамов Ю.О., Грінченко Є.М., Кірючкін О.Ю., Коротинський П.А., Миронець С.М.- Вид-во: АЦЗУ м. Харків, 2005.- 530с.
5. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий (ОНД-86). – Л.: Гидрометеоиздат, 1987.
6. Моделирование аварийных ситуаций на опасных производственных объектах. Программный комплекс ТОКСИ+ (версия 3.0): Сборник документов. Серия 27. Выпуск 5 /Колл. авт.– М.:Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2006. – 252 с.
7. Стоєцький В.Ф., Дранишников Л.В., Єсипенко А.Д., Жартовський В.М., Найверт О.В. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки.–Тернопіль:Видавництво Астон, 2005.–408 с.
8. Шматко А.В., Говаленков С.С. Алгоритм построения стохастической модели определения полей концентраций при выбросе

УДК 614.8

*Горносталь С.А., преп., УГЗУ,
Созник А.П., д-р физ.-мат. наук, проф., УГЗУ*

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В РЕГЕНЕРАТОРЕ АЭРОТЕНКА

На основе численного решения системы дифференциальных уравнений, описывающей явления восстановления окислительной способности активного ила в регенераторе, проведен анализ полученных результатов. Рассмотрено влияние величин различных параметров, входящих в уравнения, на физические значения концентраций составляющих ила, субстрата и продуктов автолиза

Постановка проблемы. Действующее водное законодательство Украины основывается на двух базовых стратегиях защиты, сохранения и улучшения качества природных водоемов [1]: стандартах качества водной среды, стандартах сбросов. Несмотря на довольно жесткие требования [1], предъявляемые к качеству сточных вод, сбрасываемых в водоем, а также на значительное сокращение объемов промышленного производства, за прошедшее десятилетие не произошло заметного улучшения качества природных водных объектов. В районах сброса сточных вод продолжается интенсивное загрязнение и накопление промышленных загрязнений, потенциально опасных веществ, что приводит к возникновению чрезвычайных ситуаций, характеризующихся наличием или угрозой гибели людей и животных, или значительным ухудшением условий их жизнедеятельности. По последним оценкам министерства здравоохранения до 75% вспышек инфекционных заболеваний и увеличение их количества за последние 3-5 лет связано с использованием воды для хозяйственно-питьевых нужд из загрязненных поверхностных источников [2-3].

Анализ последних исследований и публикаций. Созданию математических моделей, описывающих процессы, происхо-