

Рисунок 1— Относительное распределение вредных веществ в горной выработке без водяной завесы (1), с водяной завесой (2) и с химическими добавками к ней (3)

#### Библиографический список

1. **Беляева Л.С.** Комплексный анализ химического загрязнения шахтной среды // Сборник научных трудов НГУ/ – Днепропетровск: РИК НГУ, 2003. – т. 2. – С. 497 - 504.
2. **Ющенко Ю.Н., Лапин Л.И.** Автоматические установки пожаротушения и локализации для горных выработок шахт. // Горноспасательное дело: Сб. науч. тр. / НИИГД. – Донецк, 2002. – С. 32 –37.
3. **Пашковский П.С., Филимонов С.Г., Ломако В.А.** Многофункциональный пожарный ствол СШПМ-50 // Горноспасательное дело: Сб. науч. тр./ НИИГД. – Донецк, 2002. – С. 8 –16.
4. **Бухгольц Н.Н.** Основной курс теоретической механики, ч. I. – М.: Наука, 1964. – 468 с.
5. **Краткий физико-технический справочник**, т. I. / Под общей редакцией К.П.Яковлева. – М.: Госиздат физ-мат. лит., 1960. – 412 с.

© Беляева Л.С., Зинченко И.Н. 2004

УДК 502.34:352

Г.В. АВЕРИН, А.В. ЗВЯГИНЦЕВА, (ДОННТУ)

### ОЦЕНКА РИСКОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

*Работа направлена на разработку подходов в определении приемлемых и неприемлемых экологических рисков на основе анализа критериев воздействий при загрязнении атмосферы*

**Ключевые слова:** оценка риска загрязнения атмосферы, потенциальная опасность, неблагоприятные события, нормы и критерии оценки воздействия, временной ряд распределения концентраций, допустимый уровень, контроль загрязнения на стационарных постах

В настоящее время концепция оценки рисков получила широкое распространение во всем мире в процессе принятия решений по управлению качеством окружающей среды. Методология риск-анализа сегодня достаточно быстро совершенствуется [1, 2, 3].

Большинство определений риска сводятся к тому, что риск – это вероятность реализации потенциальной опасности, вызванной воздействием внешних факторов и деятельностью человека, которая приводит к возникновению негативных последствий.

Например, для оценки риска загрязнения атмосферы в качестве количественной меры риска может быть принята вероятность реализации опасности [1, 3] вида:

$$R = \sum_{i=1}^n W_i(C) \cdot P_i(C), \quad (1)$$

где  $W_i(C)$  - условная вероятность нанесения вреда человеку при поглощении концентрации (дозы) величиной  $C$ ;  $P_i(C)$  - вероятность поглощения концентрации (дозы) величиной  $C$  при наступлении неблагоприятных событий, связанных с загрязнением атмосферы  $i$ -тым опасным ингредиентом;  $n$  - число возможных опасных ингредиентов в атмосферном воздухе;  $R$  - количественная мера риска.

Полученные оценки значений риска позволяют, с использованием той или иной классификации уровней риска, судить об экологическом качестве территорий.

На практике наблюдаются определенные различия в определении норм и критериев оценки воздействий и классификации уровней риска при загрязнении атмосферы. Например, в соответствии с [1, 3] имеются следующие градации уровней риска и показателей загрязнения (табл. 1, 2).

**Табл. 1.** Уровни рисков при оценке воздействий, связанных с загрязнением атмосферы

Характеристика риска	Классификация значений рисков в соответствии с:																	
	требованиями ВОЗ				требованиями ATSDR				коэффициентом опасности (HQ)		индексом опасности (HI)		комплексным показателем загрязнения (Q)					
Уровень риска	Минимальный	Низкий	Средний	Высокий	Минимальный	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий	Минимальный	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий	Допустимый	Имеется вероятность вредных эффектов	Пренебрежимо малый	Имеется вероятность вредных эффектов
Диапазон численных значений	$<10^{-6}$	$10^{-6} - 10^{-4}$	$10^{-4} - 10^{-3}$	$>10^{-3}$	$<10^{-6}$	$10^{-6} - 10^{-4}$	$10^{-4} - 10^{-3}$	$10^{-3} - 10^{-1}$	$\geq 10^{-1}$	Менее 0,1	0,1 - 1,0	1 - 5	5 - 10	$>10$	$HI \leq 1$	$HI > 1$	$Q \leq 1$	$Q > 1$

Примечание. ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения; ATSDR – Агентство США по токсическим соединениям и регистрации заболеваний;  $HQ$  – коэффициент опасности,  $HQ = \frac{C_i}{RfC_i}$  [3,10,11];  $RfC$  - референтная концентрация (безопасный уровень воздействия),  $mg/m^3$ ;  $C_i$  - среднесуточная концентрация  $i$  - той вредной примеси в воздухе,  $mg/m^3$ ;  $HI$  – индекс опасности,  $HI = \sum_{i=1}^n HQ_i$  [10];  $Q$  - комплексный показатель загрязнения атмосферного воздуха,  $Q = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ПДК_i}$  [1];  $ПДК_i$  - предельно допустимая концентрация.

В свою очередь, стандарты безопасности, существующие в развитых странах, определяют допустимый уровень вероятности возникновения аварийных и опасных ситуаций в промышленности и техносфере в течение года равным  $10^{-5} - 10^{-6}$ . Следует сказать, что риск в техногенной сфере Украины достаточно высок; он равен  $5,35 \cdot 10^{-4}$  [4]. В то же время согласно нормативным документам Евросоюза и России значение индивидуального риска рекомендуется принимать не более  $10^{-6}$  [6].

**Табл. 2.** Критерии оценки воздействий при загрязнении атмосферы

Показатели	Классификация состояния окружающей среды по:								
	комплексному индексу загрязнения атмосферы (КИЗА)				комплексному показателю загрязнения атмосферы при одновременном присутствии различных загрязнителей (P)				
Уровень загрязнения атмосферного воздуха	норма	риск	кризис	бедствие	допустимый (1)	слабый (2)	умеренный (3)	сильный (4)	очень сильный (5)
Диапазон численных значений	менее 5	5 - 8	8 - 15	более 15	менее 3	3,1 - 6	6,1 - 12	12,1 - 24	более 24

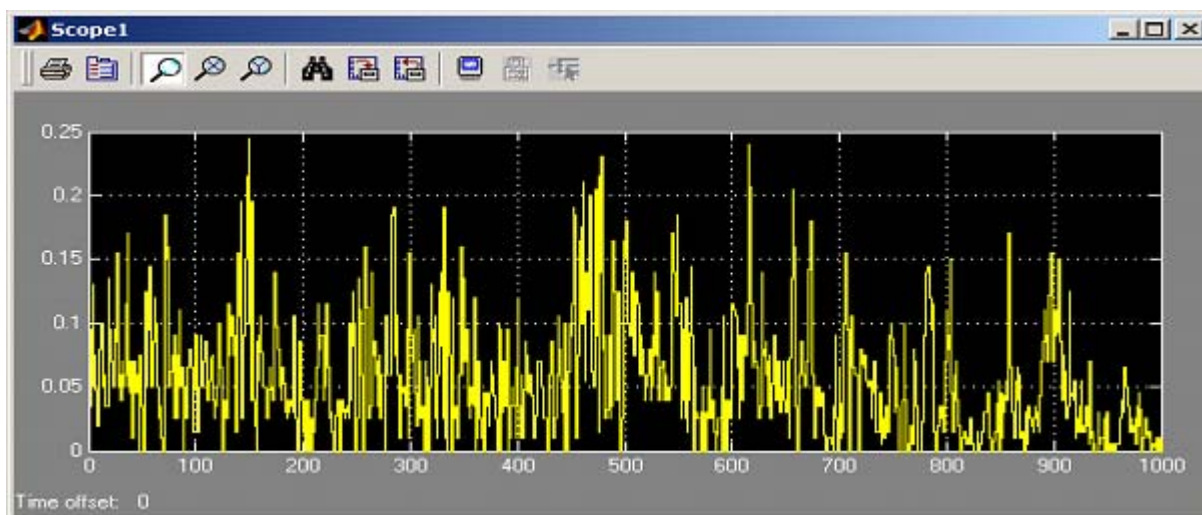
Примечание. Показатель *КИЗА* определяется по формуле:  $КИЗА = \sum_{i=1}^n \left( \frac{C_i}{ПДК_{с.с.}} \right)^{\beta_i}$  [1];

показатель *P* учитывает характер комбинированного воздействия различных веществ и их класс опасности,  $P = \sqrt{\sum \frac{C_i^2}{(ПДК_{с.с.})_i^2}}$  [9], в таблице диапазоны значений показателя *P* даны при одновременном присутствии в атмосферном воздухе 4 – 9 загрязнителей.

В Украине методика определения рисков и их приемлемых уровней для декларирования безопасности объектов повышенной опасности регламентирована нормативным документом [5]. Методикой установлены абсолютно приемлемые и неприемлемые риски для населения за пределами санитарно-защитной зоны предприятия: для территориального риска  $10^{-7}$  и  $10^{-5}$ , соответственно; для индивидуального риска  $10^{-8}$  и  $10^{-6}$ ; и для социального риска  $10^{-7}$  и  $10^{-5}$ . Классификация значений риска по уровням риска (см. табл. 1) методикой не предусматривается.

На практике посчитать экологический риск воздействий того или иного опасного объекта в соответствии с методикой [5] невозможно, так как в ней не определены методология, принципы и процедуры оценки экологического риска. Это в то время, когда европейскими документами в области сдерживания крупных аварий, например [6], из 15 основных характеристик воздействий, по которым авария относится к категории крупной, – 8 являются экологическими. Кроме того, введение жестких приемлемых и неприемлемых уровней рисков без анализа реальных рисков воздействий для тех или иных объектов и территорий нецелесообразно, так как на уровне законодательных норм изначально закладываются явные несоответствия с реально сложившейся ситуацией. Поэтому оценка имеющейся ситуации в этой области сегодня исключительно актуальна. Для оценки риска загрязнения атмосферы промышленных городов Донецкой области использовались данные контроля загрязнения атмосферы на стационарных постах Донецкого гидрометеоцентра. База данных разработана в среде MySQL и содержит около 500 тыс. данных по постам Донецкой области и контролируемым ингредиентам за период 2000 – 2004 гг. Временной ряд распределения концентраций диоксида азота в атмосферном воздухе г. Донецка приведен на рисунке 1.

Из приведенного графика видно, что на территории г. Донецка наблюдаются опасные ситуации, когда среднесуточная концентрация превышает максимально разовую ПДК<sub>м.р.</sub> в 1,5 - 2,5 раза, причем длительность таких событий может составлять от 1 до 3 - 4 суток.



**Рис. 1.** График распределения среднесуточных концентраций диоксида азота в атмосферном воздухе на посту № 2 за 2000 - 2002 гг. (г. Донецк). *Ордината* – концентрация, мг/м<sup>3</sup>; *абсцисса* – время, сутки.

Методики расчета комплексного показателя (Q), индекса загрязнения атмосферы (КИЗА) и показателя (P) принималась согласно [1, 9]. Расчет индексов опасности (HI) при ингаляционных воздействиях выполнялся в соответствии с [3]. Количественная оценка риска при рефлекторном и хроническом воздействии атмосферных загрязнителей проводилась в соответствии с методикой [12] и формулой (1). Верхняя оценка риска основывалась на данных, что риск для пороговой концентрации [8, 12]:

$$C_n = K_s \cdot \text{ПДК} \quad (2)$$

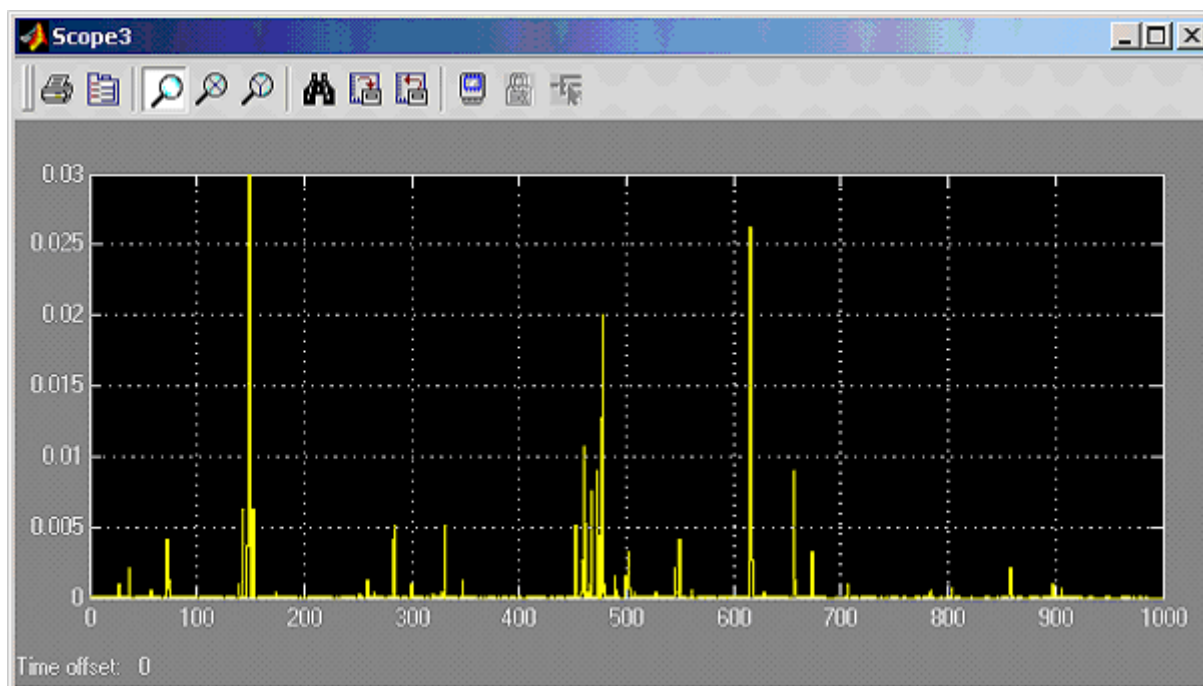
равен  $R = 16\%$ . Здесь  $K_s$  – коэффициент запаса. Распределение риска принималось в виде логнормальной функции, для которой выполняется условие (2) и условие, что  $R < 10^{-6}$  при  $C = \text{ПДК}$ . Следует отметить, что условие (2) является определяющим для оценки величины риска, хотя разными авторами даются разные верхние оценки риска для пороговых концентраций [8 - 12].

Принятые допустимые нормы и безопасные уровни воздействий при загрязнении атмосферы для некоторых приоритетных химических веществ приведены в таблице 3.

**Табл. 3.** Безопасные уровни воздействий  $RfC$ , ПДК и классы опасности для приоритетных веществ

Вещества	ПДК <sub>с.г.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>р.з.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	RfC, мг/м <sup>3</sup>		Класс опасности
				при хронических воздействиях	при кратковременных воздействиях (AREL)	
Аммиак	0,04	0,2	20	0,1	3	4
Диоксид серы	0,05	0,5	--	0,08	0,66	3
Диоксид азота	0,04	0,085	2	0,04	0,47	2
Оксид углерода	3,0	5,0	20	10	23	4
Сероводород	--	0,008	10	0,001	0,1	2
Фенол	0,003	0,01	0,3	0,006	6	2
Формальдегид	0,003	0,035	0,5	0,003	0,3	2
Пыль	0,15	0,5	--	0,1	--	3

Моделирование критериев оценки воздействий и временных рядов риска осуществлено с использованием объектной модели, разработанной в системе Simulink. На рисунке 2 для примера представлен временной ряд изменения риска при рефлекторном воздействии в случае загрязнения атмосферы диоксидом азота.



**Рис. 2.** Временной ряд изменения риска при рефлекторном воздействии в случае загрязнения атмосферы диоксидом азота на посту № 2 за 2000 – 2002 гг. (г. Донецк). *Ордината – риск; абсцисса – время (сутки).*

Неприемлемый территориальный риск согласно [5]  $R \approx 10^{-5}$ , поэтому в течение длительного периода (1000 дней) на посту № 2 в г. Донецке наблюдалось 135 неблагоприятных событий с высоким загрязнением атмосферы диоксидом азота. Для приведенного на рисунке 2 ряда среднее значение рефлекторного риска составляет  $2,45 \cdot 10^{-4}$ , такое высокое значение риска связано с достаточно редкими опасными событиями, при которых риск достигает значений  $50 \cdot 10^{-4} - 250 \cdot 10^{-4}$ . Такие опасные события соответствуют концентрациям  $0,15 - 0,25 \text{ мг/м}^3$ , что составляет 2 – 3 ПДК<sub>м.р.</sub> В свою очередь фоновое значение риска для  $C < 0,103 \text{ мг/м}^3$  равно  $2 \cdot 10^{-6}$ , что на два порядка ниже.

Результаты проведения вычислительных экспериментов с использованием объектной модели сведены в таблицу 4. Проведенные расчеты показали, что при использовании одних и тех же временных рядов концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на контролируемых постах, критерии оценки воздействий и расчетные уровни рисков коррелированы между собой. Однако наблюдается разброс в значениях показателей, что может приводить к качественным отличиям в оценке уровня воздействий по различным критериям и методам. Как показал анализ, наиболее тесную связь с риском дает комплексный показатель  $P$  и индекс КИЗА (коэффициент корреляции 0,9), коэффициент опасности  $HI$  и показатель  $Q$  имеют тесноту связи с коэффициентом корреляции более 0,8. Соответствующие регрессионные уравнения при хронических воздействиях имеют вид:

$$R = A \cdot (\text{показатель} - 1)^b, \quad (3)$$

где, например, для показателя  $P$   $A = 1,06 \cdot 10^{-4}$  и  $b = 3,3$ ; для индекса опасности  $HI$  –  $A = 6,5 \cdot 10^{-6}$  и  $b = 4,4$ .

Если предложенный подход использовать при оценке уровней загрязнения атмосферного воздуха для промышленных городов Украины, то возможна увязка существующей классификации уровней риска с диапазонами изменений критериев воздействий. Это позволяет провести оценку приемлемых и неприемлемых уровней экологических рисков для условий Украины на основе анализа реально сложившейся ситуации.

**Табл. 4.** Значения критериев оценки воздействий и риск нанесения вреда при загрязнении атмосферного воздуха в промышленных городах Донецкой области за 2000 - 2003 гг.

Характеристика	Значения критериев оценки воздействий и риска							
	при хронических воздействиях					при кратковременных воздействиях		
	КИЗА	P	HI	Q	$R_{hr}$	HI	Q	$R_r$
Донецк	5,45	3,46	5,5	6,94	$3,91 \cdot 10^{-4}$	0,3	2,24	$51,6 \cdot 10^{-4}$
Макеевка	6,25	3,58	3,14	5,6	$19,5 \cdot 10^{-4}$	0,35	2,25	$36,5 \cdot 10^{-4}$
Мариуполь	5,29	3,07	6,7	5,4	$4,5 \cdot 10^{-5}$	0,24	1,84	$11,5 \cdot 10^{-4}$

## Библиографический список

1. Н.П. Тихомиров, И.М. Потравный, Т.М. Тихомирова. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками. М.: Юнити-Дана, 2003. – 350 с.
2. Экология. Охрана природы. Экологическая безопасность. М.: МНЭПУ, 2000. – 645 с.
3. Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин, С.Л. Авалиани, К.А. Буштуева. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.
4. Е.П. Буравльов, І.П. Дрозд, Г.М. Коваль. Класифікація і управління техногенними ризиками. // Екологія і ресурси. Укр. Ін-т дослідж. навколиш. середовища і ресурсів. – УІНСіР НРОУ, 2003, Вип. 7. С. 17 – 25.
5. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування об'єктів підвищеної небезпеки. К.: Основа, 2003. – 191 с.
6. Директива Совета ЕС 96/82/ЕС. О сдерживании опасностей крупных аварий, связанных с опасными веществами/Совет Европейского союза: Женева, 1996. - 22 с.
7. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. М., 1988. – 75 с.
8. А.В. Киселев, К.Б. Фридман. Оценка риска здоровью. СПб.: Международный институт оценки риска здоровью, 1997.
9. Инженерная экология: Учебник/ В.Т. Медведев. - М.: Гардарики, 2002. - 687 с.
10. С.М. Новиков. Химическое загрязнение окружающей среды: основы оценки риска для здоровья населения. М., 2002. – 24 с.
11. Требования к выполнению работ по оценке риска для здоровья населения, обусловленного воздействием химических факторов среды обитания. СанПиН.– М.: Департамент Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. - 23 с.
12. Временные методические указания по обоснованию предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. М. 1989. – 110 с (Мин. здрав. СССР, Главное санитарно-эпидемиологическое управление. № 4681-88 15 июля 1988).

© Г.В. Аверин, А.В. Звягинцева 2004

УДК 613.6+616 –084

В.П. ГРЕБНЯК (ДОННТУ), Н.П. ГРЕБНЯК (ДОНГМУ)

### **ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ И МЕДИЦИНА ТРУДА ГОРНОРАБОЧИХ ГЛУБОКИХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

*Промышленная экология глубоких угольных шахт характеризуется превышением микроклиматических нормативов и тяжелым физическим трудом. Показано, что способность выполнять физическую работу в нагревающих условиях детерминирована механизмом обеспечения тепловой устойчивости организма. Разработана процедура прогнозирования тепловой адаптации горнорабочих угольных шахт.*

Перспективными приоритетами промышленной экологии как частной области экологии является создание системы управления производственной средой, здоровьем и профилактика производственно обусловленных заболеваний. По данным ВОЗ, более 10 тысяч химических веществ, около 50 физических факторов, более 20 видов физических нагрузок и около 20 неблагоприятных эргономических условий являются вредными факторами и повышают риск болезней [1]. 10-20 % экономических потерь от валового национального дохода обусловлены низким профессиональным здоровьем и снижением работоспособности. Всемирным банком установлено, что 2/3 всех потерь рабочих лет, из-за профессиональной нетрудоспособности, могут быть предотвращены охраной и медициной труда.