

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА В ПРОЕКТАХ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ

В.В. Фалько¹

В статье приведены обобщающие материалы решения задачи определения составляющей экологического риска для человека от точечного источника выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Решение использует стохастическую математическую модель определения поля концентраций загрязняющих веществ.

При проектировании и строительстве предприятий, зданий и сооружений производится оценка воздействия их деятельности на окружающую среду, в частности на атмосферный воздух, а через него – на человека. При этом в комплексной оценке ставится требование определения степени экологического риска от проектируемой деятельности [1]. Однако в настоящее время отсутствует соответствующая нормативная методика оценки риска, что делает актуальным исследование и решение задач в этой проблеме.

Проведенный по литературным источникам [2- 6] анализ методов и способов по оценке экологического риска показал, что можно выделить два вида рисков, возникающих от загрязнения атмосферного воздуха: при аварийных ситуациях и при нормальных условиях функционирования производственных объектов.

При нормальных условиях функционирования производственных объектов, которые будут рассматриваться, риск обусловлен случайным разбросом характеристик источников выбросов загрязняющих веществ и характеристик внешней среды – возмущающих факторов.

В предложенных методиках для случая нормального функционирования объектов учитывается только часть случайных возмущающих факторов, таких, как направление и скорость ветра, параметры, характеризующие устойчивость атмосферы. Ряд возмущающих факторов, таких, как случайный разброс проектных параметров источника, погрешность задания фоновой концентрации, погрешность прогнозного определения концентраций и др. не учитывается.

Освещенные в литературе методы оценки экологического риска базируются на зависимости «доза – эффект», которая отражает количественную связь между уровнем воздействия и состоянием здоровья человека. Они не решают задачу в соответствии с действующим на Украине критерием опасности для человека загрязнения воздуха - обеспечение отсутствия влияния загрязнения атмосферного воздуха. Это достигается введением максимальных разовых предельно допустимых концентраций (ПДК_{мр}) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Расчетные разовые концентрации, относящиеся к 20-30 мин интервалу осреднения при неблагоприятных метеорологических условиях, не должны превышать ПДК_{мр}.

На основании анализа сделан вывод о том, что в проектах необходимо рассматривать риск появления влияния загрязнения атмосферного воздуха на человека, а не вредных эффектов в состоянии здоровья, не говоря уже о летальном исходе.

¹ Сумский государственный университет.

В теории распространения загрязнений в атмосферном воздухе [8-12], а также в практическом использовании ее [13] важное и базовое значение занимает рассмотрение точечного источника выбросов. Другие виды источников (линейные, площадные источники [13]) существенно используют теорию точечного источника. Поэтому целью исследования было решение задачи определения составляющей экологического риска для человека, обусловленного случайным разбросом характеристик точечного источника выбросов и характеристик внешней среды и, как следствие, возникающим стохастическим полем загрязнения атмосферного воздуха.

Существующие теоретические исследования и их практическое приложение [8-13] носят детерминированный характер. В основу их положено решение дифференциального уравнения в частных производных при определенных начальных и граничных условиях, которое описывает распределение концентраций C_j загрязняющих веществ над примыкающей к источнику территорией [8]:

$$\frac{\partial C_j}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 u_i \frac{\partial C_j}{\partial x_i} = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} k_i \frac{\partial C_j}{\partial x_i} - \alpha C_j, j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где t - время; x_i - координаты; u_i и k_i - составляющие средней скорости перемещения примеси и коэффициента обмена, относящиеся к направлению оси x_i ($i = 1, 2, 3$); α - коэффициент, определяющий изменение концентрации за счет превращения примеси.

Поэтому с помощью этих исследований невозможно охарактеризовать рассматриваемую составляющую экологического риска. При детерминированном подходе считается, что если концентрация загрязняющего вещества строго не превышает предельно допустимое значение, то вызывающее ее воздействие является допустимым. Если имеется хотя бы малое превышение, то - недопустимым.

В действительности такого строгого разделения не может быть, так как под действием малых случайных изменений факторов, влияющих на концентрации (возмущающих факторов), происходит случайное изменение поля концентраций. Поле загрязнения атмосферного воздуха не фиксировано, как это рассматривается при детерминированном подходе, а случайно изменяется во времени и пространстве. Тогда задача оценки рассматриваемой составляющей экологического риска может быть решена при введении стохастического подхода.

Для решения задачи с использованием системного подхода были проанализированы, с одной стороны, биологическая система [14] (рис.1) и место в ней человека, а с другой - природное и антропогенное воздействие на нее через загрязнение неживой природной среды (атмосферы, литосферы, гидросферы) (рис.2) [1].



Рисунок 1 - Элементы иерархии биологической системы

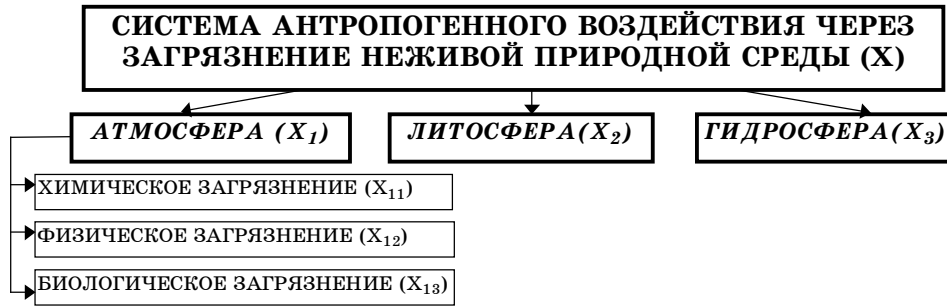


Рисунок 2 - Элементы иерархии системы антропогенного воздействия через неживую природу

Биологическая система рассмотрена как обладающая свойством противостоять антропогенному воздействию и сохранять в норме свои природные функции. Это свойство система, очевидно, приобрела в процессе эволюции в результате природного воздействия. Следуя стохастическому подходу, такое свойство при оценках по краткосрочному прогнозу антропогенного воздействия (20-30 минут), который мы будем рассматривать и который применяется на практике [8, 13], можно характеризовать некоторой случайной величиной Y - обобщенной защищенностью биологической системы от антропогенного воздействия. Аналогично суммарное антропогенное воздействие на биологическую систему для тех же условий можно характеризовать некоторой случайной величиной X . Тогда защищенность биологической системы от антропогенного воздействия будет определяться через вероятность превышения случайной величины Y над случайной величиной X — $P(Y > X)$ и может рассматриваться как один из показателей надежности биологической системы. Противоположную вероятность $\alpha = 1 - P(Y > X)$ можно рассматривать как показатель риска биологической системы выполнять наделенные природой функции при антропогенном воздействии или как составляющую экологического риска, вызванную антропогенным воздействием [15-22].

В том случае, если вероятность $P(Y > X)$ близка или равна единице (риск близок или равен нулю), считается, что биологическая система устойчива при антропогенном воздействии и в условиях антропогенного воздействия будет выполнять свои функции.

В соответствии с иерархической структурой, представленной выше (рис.1), защищенность биологической системы от антропогенного воздействия, характеризуемая случайной величиной Y , рассматривается как система случайных величин [23]: Y_1 - защищенность консументов; Y_2 - защищенность продуцентов; Y_3 - защищенность редуцентов. Аналогично можно выделить системы случайных величин для более низких уровней иерархии биологической системы.

Следуя сложившейся практике построения структуры антропогенного воздействия на окружающую среду [1], случайную величину X , характеризующую это воздействие, будем рассматривать как систему случайных величин: X_1 - воздействие через атмосферу; X_2 - через литосферу; X_3 - через гидросферу (рис.2). В воздействии X выделим составляющие в рассматриваемой далее подсистеме „Атмосфера”: X_{11} - химическое и пылевое загрязнение; X_{12} - физическое загрязнение; X_{13} - биологическое загрязнение.

Здесь также можно выделить подсистему случайных величин для более низких уровней иерархии.

Таким образом, при рассмотренном подходе оценка экологического риска для биологической системы сведется к определению вероятности $\alpha = 1 - P(Y > X)$. Решение общей проблемы требует решения частных задач, одной из которых и посвящены проведенные исследования. Это разработка стохастической методологии оценки воздействия выбросов химических загрязняющих веществ и пыли в атмосферный воздух (составляющая воздействия X_{11} векторной случайной величины X_I) на человека (составляющая противодействия Y_{11} векторной случайной величины Y_I) и определение показателя экологического риска – вероятности $\alpha_{11} = 1 - P(Y_{11} > X_{11})$ от точечного источника выбросов [15-22].

Для того, чтобы в рассматриваемой постановке раскрыть воздействие загрязнений через атмосферу и описать случайную величину X_{11} , необходимо было раскрыть соответствующие стохастические закономерности загрязнения атмосферы.

С этой целью и для разработки математической модели и метода решения задачи проанализирован существующий детерминированный подход к оценке антропогенного воздействия на человека через загрязнение атмосферного воздуха, включающий теоретические основы, математические модели и методики оценки воздействия [8-13].

На основании проведенного анализа выбрана детерминированная математическая модель определения концентраций вредных веществ для одиночного источника выбросов [13]. Модель получена на основании исследований по решению детерминированной системы (1) и использована при разработке стохастических закономерностей распространения загрязнений.

В соответствии с этой моделью детерминированное поле концентраций загрязняющих веществ от выбросов точечного источника с круглым устьем (труба) определяется для наихудших 20-30 мин. условий по формуле

$$C_j = \frac{A M_j F_j m n \eta}{H^2 \sqrt{\frac{\pi D^2}{4}} \omega_0 (T_z - T_g)} r(u) S_1(x) S_2(x, y) S_3(x, y, z) + C_{\phi j}, \quad (2)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе; M_j (г/с) – масса j -го вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени; F_j – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания j -го вредного вещества в атмосферном воздухе; m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса и зависящие от ω_0 , D , H , T_z , T_g ; H – высота источника выброса над уровнем земли, м, (для наземных источников при расчетах принимается $H=2$ м); η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности, в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км, $\eta = 1$; T_z – температура выбрасываемой газовой смеси, °С; T_g – температура окружающего атмосферного воздуха, °С; D – диаметр устья источника выброса, м; ω_0 – средняя скорость выхода газовой смеси из устья

источника выброса, м/с; $r(u)$ - коэффициент, учитывающий влияние величины скорости ветра; $S_1(x)$, $S_2(x, y)$, $S_3(x, y, z)$ - коэффициенты, учитывающие изменения расстояний x - от источника вдоль оси факела, y - по перпендикуляру к оси факела; z - превышения земной поверхности в точке с координатами x, y над основанием источника выброса; $C_{\phi j}$ - фоновая концентрация j -го загрязняющего вещества.

Определение зависимостей $r(u)$, $S_1(x)$, $S_2(x, y)$, $S_3(x, y, z)$ от своих переменных приведено в ОНД-86 [13].

Учтены также особенности зависимости (2) для холодных выбросов и выбросов при малых скоростях ветра $u \leq 0,5$ м/с [13].

Величины M_j , F_j , H , D , ω_0 , T_e , а также координаты x , y , z характерных точек местности (границы санитарно защитной зоны, жилой зоны) являются проектными параметрами источника выбросов. Они могут выбираться проектантом для обеспечения нормативных показателей загрязнения атмосферного воздуха, соответствующих обеспечению устойчивого развития территории, к которой относятся источник и проектируемый объект. Величины A , η , T_e , u , $C_{\phi j}$ являются характеристиками окружающей среды и считаются заданными.

Для построения стохастических закономерностей распространения загрязнений в атмосферном воздухе и оценке рассматриваемой составляющей экологического риска были использованы известные методы теории вероятностей, математической статистики и теории надежности: метод линеаризации зависимости функций от случайных аргументов, метод учета нелинейности этой зависимости, метод статистических испытаний, методы оценки надежности сложных систем [23-29].

С использованием:

- стохастического подхода;
- математического аппарата метода линеаризации функции случайных аргументов [23],
- детерминированной математической модели (2) определения концентраций загрязняющих веществ от выбросов одиночного точечного источника [13].

Были получены приближенные аналитические закономерности, определяющие стохастическое поле концентраций и искомую составляющую экологического риска [15].

Для этого концентрация C_j , (2) рассмотрена как функция случайных аргументов (величин) λ_k :

$$C_j = C_j(\lambda_{1j}, \lambda_{2j}, \lambda_{3j}, \dots, \lambda_{qj}), q = 14, \quad (3)$$

где

$$\lambda_{1j} = M_j, \lambda_{2j} = F_j, \lambda_{3j} = C_{\phi j}, \lambda_5 = \omega_0, \lambda_6 = D, \lambda_7 = H, \lambda_8 = T_e, \lambda_9 = T_e, \lambda_{10} = \eta, \lambda_{11} = u, \lambda_{12} = \phi_1, \lambda_{13} = x, \lambda_{14} = y. \quad (4)$$

Базируясь на предельных теоремах теории вероятностей [23], априорное распределение случайных изменений совокупности концентраций C_j , $j = \overline{1, n}$, было представлено в виде многомерного нормального распределения f [23]. Полагая, что случайные величины λ_k являются независимыми, и, учитывая, что концентрации C_j для различных загрязняющих веществ зависят от части независимых ($q = 1, 2, 3$), а от

части одних и тех же случайных величин ($q=4,5,\dots,14$), пользуясь обычными методами теории вероятности и линеаризации получены основные числовые характеристики многомерного нормального распределения f системы случайных величин концентраций C_j в следующем виде [15]:

– математические ожидания:

$$C_j^* = C_j (\lambda_{1j}^*, \lambda_{2j}^*, \lambda_{3j}^*, \lambda_{4j}^*, \dots, \lambda_q^*), \quad (5)$$

– среднеквадратические отклонения:

$$\sigma_j = \sqrt{\sum_{q=1}^3 \left(\frac{\partial C_j}{\partial \lambda_{qj}} \cdot \sigma_{qj} \right)^2 + \sum_{q=4}^{14} \left(\frac{\partial C_j}{\partial \lambda_q} \cdot \sigma_q \right)^2}, \quad (6)$$

– корреляционные моменты между j -м и p -м загрязняющими веществами:

$$K_{jp} = \sum_{q=1}^{14} \frac{\partial C_j}{\partial \lambda_q} \cdot \frac{\partial C_p}{\partial \lambda_q} \cdot \sigma_q^2, \quad (7)$$

где $\lambda_q^*, \sigma_{1j}, \sigma_{2j}, \dots, \sigma_q$ – известные математические ожидания (средние значения) и среднеквадратические отклонения случайных величин λ_q , $\partial C_j / \partial \lambda_q$ – частные производные концентрации по случайным величинам λ_q , определяемые на основании зависимости (2).

Тогда, в соответствии с изложенным выше, защищенность человека от воздействия химического и пылевого загрязнения атмосферы характеризуется вероятностью

$$P(Y_{11}^{ПДК} > X_{11}) = P(X_{11} < Y_{11}^{ПДК}) = \int_{-\infty}^{Y_{11}^{ПДК}} \int_{-\infty}^{Y_{112}^{ПДК}} \dots \int_{-\infty}^{Y_{11n}^{ПДК}} f dx_{111} dx_{112} \dots dx_{11n}, \quad (8)$$

где $Y_{111}^{ПДК}, Y_{112}^{ПДК}, \dots, Y_{11n}^{ПДК}$ – предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ.

Соответствующая составляющая экологического риска как вероятность противоположного события определена по формуле

$$\alpha = P\{X_{11} > Y_{11}^{ПДК}\} = 1 - P(X_{11} < Y_{11}^{ПДК}), \quad (9)$$

или, другими словами, в этом случае интегрирование в (8) должно производиться от $Y_{11j}^{ПДК}$ до $+\infty$.

В связи с вычислительными трудностями определения многомерного интеграла вероятности (8) при больших размерностях $n \geq 6$ приближенные вычисления его производились с использованием зависимостей, полученных в теории надежности сложных технических систем [26,27]:

$$F_n(h_1, h_2 \dots h_n) = \prod_{i=1}^n F(h_i) + \frac{1}{\pi N} \sum_{i \neq j} \arcsin r_{ij} \left[F(\min h_i) - \prod_{i=1}^n F(h_i) \right], \quad (10)$$

$$h_i = \frac{Y_{11i}^{ПДК} - C_i^*}{\sigma_i}, \quad i = \overline{1, n},$$

где $N = n(n-1)$, $F_n(h_1, \dots, h_n)$ - n -мерная нормальная функция распределения; $F(h_i)$ - одномерная нормальная функция распределения; r_{ij} - коэффициент корреляции между i -й и j -й случайными величинами, определяемый на основании (6),(7) [23].

Выражение (10) можно записать так:

$$F_n(h_1, h_2 \dots h_n) = \eta F(h_{\min}) + (1 - \eta) \prod_{i=1}^n F(h_i). \quad (11)$$

При этом коэффициент η вычисляется по формуле

$$\eta = \frac{1}{\pi N} \sum_{i \neq j} \arcsin r_{ij}. \quad (12)$$

На базе этого был разработан алгоритм решения поставленной задачи на ЭВМ, определяющий компьютерную технологию и методику решения задачи [15].

Полученные результаты рекомендованы к использованию при начальных стадиях разработки проектов строительства предприятий, зданий и сооружений [1].

С использованием:

- стохастического подхода;
- математического аппарата метода статистических испытаний (Монте-Карло) [25];
- детерминированной математической модели (2) определения концентраций загрязняющих веществ от выбросов одиночного точечного источника [13], получены более точные закономерности, определяющие стохастическое поле концентраций и искомую составляющую экологического риска [16]. В отличие от закономерностей, полученных с использованием метода линеаризации, они учитывают нелинейность зависимости концентраций загрязняющих веществ от возмущающих факторов, а также возможные виды плотностей распределения возмущающих факторов, но вместе с этим при вычислениях являются более трудоемкими.

Суть получения закономерностей состоит в том, что при определении случайных полей концентраций $C_j(x, y)$ считаются известными плотности распределения $f(\lambda_i)$ случайных возмущающих факторов $\lambda_i, i = \overline{1, m}$. Тогда для произвольной фиксированной точки $A(x, y)$ характеристику случайного поля $C_j(x, y)$ получено на основании реализации случайных величин $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_m)$, определения соответствующих им по (2) реализаций случайных концентраций $C_j(x, y)$ и статистической обработки этих реализаций.

Реализация нормированных, отнесенных к среднеквадратическому отклонению [23] случайных величин λ_{ik}^* , $i = \overline{1, m}, k = \overline{1, p}$ (p - число

реализаций) получена на основании решения для плотности $f_i(\lambda_i^*)$ следующего равенства [25]:

$$\int_{-\infty}^{\lambda_{ir}^*} f_i(\lambda_i^*) d\lambda_i^* = R_k, \quad (13)$$

где R_k - k-е случайное число, получаемое с помощью датчика псевдослучайных чисел, подчиненных закону равномерной плотности в диапазоне от 0 до 1.

Для решения интегрального уравнения (13) использовался метод дихотомии (деления интервала пополам).

Реализации случайных величин λ_{ik} , используемых в (2), определялись по формуле [23]

$$\lambda_{ik} = m_{\lambda_i} + \lambda_{ik}^* \cdot \sigma_{\lambda_i}, \quad (14)$$

где $m_{\lambda_i}, \sigma_{\lambda_i}$ - математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение случайной величины.

С использованием полученных закономерностей разработан алгоритм решения поставленной задачи на ЭВМ, определяющий компьютерную технологию и методику более точного решения поставленной задачи на ЭВМ [22]. Он включает такие блоки:

Блок 1 Входная база данных.

Содержит все необходимые для функционирования алгоритма исходные данные.

Блок 2 Определение случайных реализаций возмущающих факторов.

Содержит алгоритм реализации возмущающих факторов с помощью стандартного датчика случайных чисел, равномерно распределенных в интервале от „0” до „1”. Здесь имитируется случайное изменение возмущающих факторов, имеющих три вида плотности распределения – равномерную, нормальную и произвольную, представленную в виде гистограммы [23].

Блок 3 Определение случайных реализаций концентраций загрязняющих веществ.

В соответствии с методикой ОНД – 86 [13] по полученным в блоке 2 реализациям возмущающих факторов определяются реализации концентраций загрязняющих веществ.

Блок 4 Определение составляющей экологического риска и характеристик стохастического поля концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ.

Определяются частоты превышения реализациями концентраций загрязняющих веществ предельно допустимых концентраций с учетом эффекта суммации воздействия [13] и частота превышения хотя бы одной концентрацией своей предельно допустимой концентрации, которая характеризует искомую составляющую экологического риска.

По желанию пользователя на основании статистической обработки данных реализаций концентраций определяются основные числовые характеристики плотности распределения случайного поля концентраций в заданной точке. В противном случае обработка не производится.

Блок 5 Выходная база данных.

Содержит искомые результаты расчетов и их формы вывода на печать.

Полученные результаты рекомендованы к использованию на заключительных этапах разработки проектов строительства предприятий, зданий и сооружений [1].

С использованием:

- стохастического подхода;
- теории учета нелинейностей в стохастических зависимостях [23],
- детерминированной математической модели (2) определения концентраций загрязняющих веществ от выбросов одиночного точечного источника [13];
- указанных выше стохастических закономерностей и оценки составляющей экологического риска с использованием метода статистических испытаний получено аналитическое уточнение результатов, использующих метод линеаризации, позволяющее повысить их точность до уровня точности указанной выше нелинейной стохастической математической модели, сохранить простоту и аналитический вид модели и тем самым снизить затраты машинного времени при решении задачи [19-21].

Суть уточнения состоит в том, что в числовые характеристики (5),(6),(7), полученные с использованием метода линеаризации, введены поправочные коэффициенты, учитывающие нелинейность зависимости (2). Коэффициенты получены с использованием метода статистических испытаний, а также теории учета нелинейностей в стохастических зависимостях [23]. В связи с этим произведено уточнение алгоритма, использующего метод линеаризации.

Последние результаты рекомендовано использовать как на начальных этапах проектирования [1], когда известны достаточно точно характеристики возмущающих факторов (например, реконструкция предприятия), так и на заключительных этапах.

Более точные результаты рекомендовано использовать для ответственных в экологическом смысле объектов или при проверочных расчетах.

Полученные результаты были использованы при выпуске в соответствии с [1] проектов строительства отдельных объектов Вольногорского ГМК и ОАО „Николаевский глиноземный завод”.

Результаты решения задачи охватывают все этапы проектирования объектов [1], имеющих источники выбросов загрязнений в атмосферу. Соответствующие решению математические модели и алгоритмы могут быть использованы в подсистеме вычислительного комплекса по оценке для человека составляющей экологического риска от точечного источника выбросов.

SUMMARY

There are generalized materials about the solution of the problem a forming the ecological risk for person from point source of polluting emissions to atmosphere. The solution uses stochastic mathematical model of the polluting materials concentration field.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДБН А.2.2.-1-2003. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. – К.: Держкомбударх, Мінекобезпеки України, 2003. – 19 с.
2. Швыряев А.А.,.Меньшиков В.В. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе. Учебное пособие для вузов. - М: Изд-во МГУ, 2004.-124с.
3. Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск. Анализ и оценка. - Москва: ИКЦ «Академкнига», 2005.- 118с.
4. Хурнова Л.М., Мамина Д.Х. Экологическое аудирование управления рисками: Учебн.пособие. - Пенза: ПГАСА, 2003.-100с.
5. Буравльов Є.П. Основи сучасної екологічної безпеки.- К.:ВAT Інститут транспорту нафти, 2000.- 235с.

6. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Математические модели опасности и риска в теории техногенной безопасности // *Вісник Донецького університету. Сер. Природн. науки.* - 2005. - №2. - С.296-302
7. *Безопасность жизнедеятельности* / Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. С.В.Белова. - М.: Высшая школа, 1999. - 440 с.
8. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. - Л.: Гидрометеоздат, 1985. - 272 с.
9. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. - М.: Наука, ГРФМЛ, 1982. - 320 с.
10. Примак А.В., Кафаров В.В., Кочиашвили К.И. Системный анализ контроля и управление качеством воздуха и воды // *Отв.ред. А.И. Щербань - АН УССР, Ин-т техн.теплофизики.* - К.: Наукова думка, 1991. - 300 с.
11. Методы расчета турбулентных течений: Пер. с англ. / Под ред. В.Кальмана. - М.: Мир, 1984. - 464 с.
12. Попов Н.С., Бодров В.И., Перов В.Л. Основные направления в моделировании загрязнения воздушного бассейна за рубежом // *Хим.пром-сть за рубежом.* - 1982. - Вып.6. - С. 10-34.
13. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. - Л.: Гидрометеоздат, 1987. - 94 с.
14. Білявський Г.О., Падун М.М., Фурдуй Р.С. Основи загальної екології: Підручник. - К.: Либідь, 1995.-368 с.
15. Применение методов системного анализа, аэродинамики приземного слоя и теории надежности для оценки экологического риска / В.В. Фалько, А.В. Артамонова, В.А. Долодаренко и др. // *Екологія і природокористування.* - 2003. - №6. - с. 194-199.
16. Разработка стохастической математической модели загрязнений атмосферного воздуха с использованием метода статистических испытаний и ее применение для оценки экологического риска / В.В.Фалько, А.В. Артамонова, В.А. Долодаренко и др. // *Екологія і природокористування.* - 2003. - №5. - с.231-236.
17. Фалько В.В., Долодаренко В.А., Полищук С.З. Стохастический подход к установлению предельно допустимых концентраций загрязнения атмосферы для растений // *Збірник тез III Міжнародної науково-практичної конференції „Економічні проблеми виробництва та споживання екологічно чистої агропромислової продукції” (ЕП-2003).* - Суми: ВАТ „СОД”, Видавництво „Казацький вал”, 2003. - 216 с.
18. Фалько В.В., Артамонова А.В., Долодаренко В.А. Аналитический анализ в задаче оценки экологического риска влияния малых отклонений ветра на плотность распределения // *Материалы IV Международного симпозиума «Безопасность жизнедеятельности в XXI веке» (Днепропетровск, Украина, январь 2004г.).* Южно-Украинское отделение МАНЭБ // *Технополис.*- 2004, - С.89-90.
19. Фалько В.В., Артамонова А.В. Уточнение при оценке экологического риска влияния малых случайных отклонений направления ветра на распределение концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ // *Вісник Сумського державного університету.*-2004. - №13.- С. 92-99.
20. Фалько В.В., Артамонова А.В., Долодаренко В.А., Чернобровкина Н.А. Анализ случайного разброса прямо пропорционально влияющих факторов на рассеивание концентраций загрязняющих веществ и экологический риск для точечного источника выбросов в атмосферу // *Матеріали IV Всеукраїнської наукової конференції „Математичні проблеми технічної механіки”. ДНВП „ Системні технології”.*- Дніпропетровськ, 2004. - С. 130.
21. Уточнение математической модели для оценки экологического риска от загрязнения атмосферы выбросами одиночного точечного источника / В.В. Фалько, В.А. Долодаренко, Н.А. Чернобровкина и др.// *Екологія і природокористування.* - 2004. - №.7 - С.175-180.
22. Фалько В.В. Алгоритм компьютерной технологии определения составляющей экологического риска для человека от точечного источника выбросов. // *Вісник Сумського державного університету.* - 2005. - №1.- С. 66-76
23. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. 6-е изд. - М.: Высш. школа, 1998. - 576 с.
24. Дунин-Борковский И.В., Смирнов Н.В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике. - М.: ГИТТЛ, 1955. - 556 с.
25. Бусленко Н.П., Шрейдер Ю.А. Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация на цифровых машинах. - М., 1961. - 160 с.
26. Надёжность технических систем: Монография / Е. Перверзев, А. Алпатов, Ю. Даниев, П. Новак. - Днепропетровск: Пороги, 2002. - 396 с.
27. Волков Е.Б., Судаков Р.С., Сверицын Т.А. Основы теории надежности ракетных двигателей. - М.: Машиностроение, 1974. - 393 с.
28. Кахур К., Лимберсон Л. Надёжность и проектирование систем. - М.: Мир, 1980.- 604 с.
29. Надёжность в технике. Научно-технические, экономические и правовые аспекты надёжности: Методическое пособие / Под ред. В.В.Болотина. - М.: МНТК, „Надёжность машин”, 1993. - 253 с.

Поступила в редакцию 12 декабря 2005 г.