

Розроблено математичну модель радіаційно-хімічних процесів, що відбуваються в газовій фазі при ЕЛО димових газів з урахуванням явищ конденсації

Ключові слова: математична модель, електронно-променево очищення

Разработана математическая модель радиационно-химических процессов, происходящих в газовой фазе при ЭЛО дымовых газов с учетом явлений конденсации

Ключевые слова: математическая модель, электронно-лучевая очистка

A mathematical model of radiation-chemical processes occurring in the gas phase under electron-beam (EB) purification of flue gases was developed, taking into account the phenomena of condensation

Key words: mathematical model, electron-beam treatment

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТ SO₂, NO_x, ПАУ, ЛОС

В. В. Моргунов

Научный сотрудник*

Контактный тел.: (057) 733-78-10

E-mail : volodymyr.morgunov@gmail.com

А. Л. Файнштейн

Кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник

Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь»

пр. Ленина, 9, г. Харьков, Украина, 61166

Контактный тел.: (057) 758-07-71

E-mail: o_fainchtein@yahoo.com

А. М. Шкилько

Кандидат физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой*

Контактный тел.: (057) 733-78-54

E-mail: kafedra@oef.uipa.kharkov.ua

*Кафедра общей и экспериментальной физики

Украинская инженерно-педагогическая академия

ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003

1. Введение

Загрязнение атмосферного воздуха вредными газообразными веществами, содержащимися в дымовых газах, выбрасываемых топливно-энергетическими предприятиями, достигает 30% от всех атмосферных выбросов [1]. Выбросы тепловых электростанций содержат значительное количество токсичных химических элементов, среди которых оксиды серы, азота, способные вызывать заболевания верхних дыхательных путей; твердые частицы, тяжелые металлы и оксиды углерода; органические токсические вещества, в особенности бенз(а)пирен, обладающий канцерогенным, мутагенным действием, и естественные радионуклиды. Хроническое действие вредных химических веществ создает кумулятивный риск для здоровья человека и вызывает опасные заболевания, включая рак. Поэтому, одной из острых проблем является очистка дымовых газов от загрязнений, таких как оксиды серы и азота, ПАУ, ЛОС и другие.

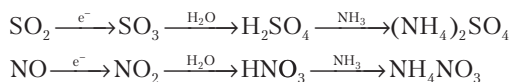
Одной из перспективных современных технологий очистки дымовых газов является электронно-лу-

чевая очистка (ЭЛО) [2]. Ее преимуществом является одновременная очистка от SO₂, NO_x, ПАУ, ЛОС и пыли; относительная экономичность и компактность по сравнению с традиционными методами очистки; продуктом очистки ЭЛО является сульфат-нитрат аммония, который может быть использован в качестве сельскохозяйственного удобрения; высокая степень очистки дымовых газов от загрязняющих веществ (степень одновременной очистки газов в одном аппарате может составлять от SO₂ – 80-90%, от NO_x – 80-85%, от ПАУ (бенз(а)пирена) ~ 70%).

Данная технология активно разрабатывается на протяжении последних 30 лет. Исследования данной технологии проводятся во многих научных центрах мира, в том числе и в Украине [3], построены опытно-промышленные, промышленные установки в Польше, Китае, США, Японии, Болгарии. Задачей этой статьи является построение математической модели радиационно-химических процессов при ЭЛО дымовых газов. Последующей задачей является численное моделирование (численный эксперимент) процессов ЭЛО на основе разработанной математической модели с целью оптимизации технологии ЭЛО.

2. Краткое описание технологии

Дымовые газы облучаются пучком ускоренных электронов с энергией порядка 1 МэВ. В результате облучения дымовых газов образуются радикалы, возбужденные молекулы, ионы, которые, взаимодействуя с оксидами серы и азота, образуют, соответственно, пары серной и азотной кислот. Перед облучением, в очищаемые газы вводится аммиак, либо в виде капель водного раствора, либо в газообразном виде. Аммиак взаимодействует с парами серной и азотной кислот с образованием сульфатов и нитратов аммония, которые улавливаются пылеуловителем. Упрощенно, схематически процессы, происходящие во время ЭЛО можно представить в виде:



Следует отметить, что подобные процессы уже миллионы лет работают в природе. Таким образом очищается атмосферный воздух от SO₂ и NO_x, поступающих из естественных природных источников: вулканов, лесных пожаров и т.п. В атмосфере есть и необходимые для окислительных процессов влага и аммиак из естественных природных источников, а ускоренные электроны и частицы проникают в атмосферу из космоса. Следовательно, ЭЛО-технология повторяет природные процессы и является так называемой экотехнологией. Известно, что природа «выбирает» наиболее эффективные и рациональные процессы для своего существования. Поэтому ЭЛО-технология не наносит вред окружающей среде и ее побочным продуктом, как и в естественном природном процессе ЭЛО, являются удобрения для сельского хозяйства.

3. Основные результаты

3.1. Процессы, происходящие во время ЭЛО дымовых газов

3.1.1. Прохождение первоначально нерасходящегося пучка ускоренных электронов через газ

Ускоренные электроны при прохождении через газообразное вещество участвуют в двух видах взаимодействий [4]: электромагнитное и слабое. Слабое взаимодействие меньше электромагнитного в ~10¹⁰ раз, поэтому для упрощения задачи, принимать во внимание этот вид взаимодействия можно не рассматривать. Электромагнитное взаимодействие для заряженных частиц может быть следующих видов: упругое рассеяние (кулоновское) и неупругие рассеяния (ионизационное и радиационное торможение).

Для рассматриваемого случая (энергия электронов ≈ 1 МэВ), основная энергия электронов расходуется на ионизационные потери (потери на радиационное торможение сравнимо с потерями при ионизационном торможении для случая воздуха при энергиях электронов порядка 83 МэВ) [5]. Таким образом, ионизационное торможение является главным механизмом потерь энергии при прохождении заряженной частицы через вещество.

Ионизационные потери энергии движущегося электрона обусловлены его столкновениями с электронами атомных оболочек и способны передать электрону атомной оболочки долю своей энергии [6]. Доля переданной энергии зависит от времени взаимодействия, которое в основном определяется скоростью (энергией) падающего электрона. Атомному электрону может быть передана энергия меньшая или большая потенциала ионизации. В первом случае молекула будет возбуждена, во втором – ионизирована. Возникший при ионизации электрон называют вторичным. Если вторичные электроны имеют достаточную энергию, чтобы вызвать ионизацию атомов и молекул среды, то их называют дельта-электронами (δ-электроны). На каждый электрон из ускоренного пучка образуется порядка 10⁴ вторичных электронов. Дельта-электроны передают веществу основную часть энергии первичных электронов. На рис. 1 представлены зависимости сечения ионизации и возбуждения от энергии в газовой фазе [6]. Видно, что в газовой фазе вероятность возбуждения выше вероятности ионизации. При неупругом рассеянии, каким является ионизационное торможение, электрон теряет около 30 эВ при единичном акте столкновения [7].

Таким образом, при энергии пучка электронов в 1 МэВ, единичный электрон претерпевает около 30 000 столкновений.

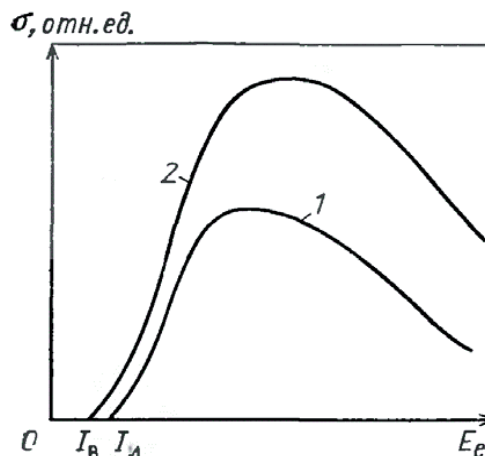


Рис. 1. Зависимость сечения неупругих соударений от энергии падающих электронов при ионизации (1) и возбуждении (2) в газовой фазе

Нерасходящийся пучок электронов, попадающий в газ из ускорителя электронов, под действием многократного рассеяния диффузно расходится по мере распространения в газовой среде и его распределение описывается нормальным распределением Гаусса. Распределение мощности дозы по времени для упрощения вычислений будем рассматривать в соответствии с нормальным распределением по следующей формуле [8]:

$$\dot{D} = \frac{D_0}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-0.5\left(\frac{t-T}{\sigma}\right)^2\right]} \tag{1}$$

где \dot{D} - мощность дозы облучения, Гр/с; D_0 доза облучения, Гр; T - общее время облучения, с; σ - па-

раметр, влияющий на ширину кривой Гауссиана мощности дозы, с.

3.1.2. Физические и физико-химические процессы при прохождении электронов через дымовые газы

Взаимодействие пучка ускоренных электронов можно разделить на три стадии [9]: 1) физическую; 2) физико-химическую; 3) химическую. Длительность 1-ой стадии – 10^{-16} - 10^{-15} с [10]. Во время 1-ой стадии происходят процессы поглощения, перераспределения энергии и деградации поглощенной энергии, образование вторичных электронов. Молекулярная система находится в энергетически неравновесном состоянии с неомогенным распределением активных частиц. Во время 2-ой, физико-химической стадии, за время 10^{-13} - 10^{-10} с протекают реакции заряженных и возбужденных частиц, диссоциация электронно-возбужденных молекул, процессы передачи энергии и молекулярная система переходит в состояние теплового равновесия. На этих двух стадиях можно выделить следующие типы промежуточных продуктов:

- Ионы, среди которых можно выделить:
 - первичный ион - однократно заряженный положительный ион, возникающий в первичном акте воздействия первичных и вторичных электронов;
 - вторичный ион – ион, возникающий, при реакции первичного иона с молекулами и атомами среды;
 - возбужденный ион, имеющий электронное или колебательное возбуждение;
 - отрицательный ион – ион, возникающий при захвате вторичного (термализованного) электрона. Лишь одно из 107 соударений электрона с атомом приведет его к захвату и будет сопровождаться образованием отрицательного иона [11].

• Возбужденные молекулы или атомы, имеющие как электронное, так и колебательное и вращательное возбуждение. Электронно-возбужденные состояния могут быть различной мультиплетности: (синглет, триплет и т.д.);

• Свободные радикалы – химические частицы, имеющие неспаренный электрон на внешней электронной орбитали. Выделяют ион-радикалы (катион-радикалы, анион-радикалы), которые имеют неспаренный электрон и заряд; возбужденные свободные радикалы, которые кроме неспаренного электрона имеют колебательное или электронное возбуждение; стабильные радикалы, в которых неспаренный электрон сильно делокализован, вследствие чего их реакционная способность резко понижена;

• Сверхвозбужденные состояния – такие состояния, потенциальная энергия которых выше первого потенциала ионизации;

• Свободные электроны – электроны, которые могут иметь, как тепловую энергию (тепловые электроны), так и более высокую энергию (надтепловые электроны, но с энергией ниже первого колебательного уровня);

• Кластеры – многочастичные образования за счет сил межмолекулярного взаимодействия. Они могут быть как нейтральными, так и заряженными.

Количественной оценкой образовавшихся на первых двух стадиях продуктов служит радиационно-химический выход. Он равен числу молекул, ионов, свободных радикалов, атомов и т.п., возникающих

(или распадающихся) при поглощении 100 эВ энергии электронов из первичного пучка. Он обозначается символом G . Кинетика образования возбужденных молекул, ионов, радикалов при ионизационном торможении описывается следующей формулой радиационно-химического выхода [8]:

$$\frac{dn_i}{dt} = G_{n_i} \dot{D} x_i \rho, \quad (2)$$

где n_i - концентрация i -ой компоненты, моль/м³; G_{n_i} - радиационно-химический выход i -ой компоненты газа, моль/Дж; x_i - мольная доля i -ой компоненты газа; \dot{D} - мощность дозы излучения, Дж/(кг·с); ρ - средняя плотность газа, кг/м³.

Данные по радиационно-химическому выходу содержатся в [12].

3.1.3. Химические реакции промежуточных и конечных продуктов

Во время 2-ой стадии протекают следующие типы реакций:

- С участием положительных ионов: рекомбинация с электронами; рекомбинация с отрицательными ионами; ионная перезарядка;
- Ионно-молекулярные реакции;

Во время 3-ей, химической, стадии протекают реакции образовавшихся на первых двух стадиях ионов, свободных радикалов, электронов с молекулами среды и друг с другом, в результате чего образуются стабильные химические соединения. На третьей стадии радиационно-химических процессов в газовой фазе происходят химические реакции с участием продуктов первых двух стадий. Кинетика этих химических реакций описывается следующей системой дифференциальных уравнений [13]:

$$\frac{dn_i}{dt} = n_i \sum_n k_i^{(n)} \prod_{k=1}^n n_k \quad (3)$$

При заданных начальных концентрациях:

$$n_i(0) = n_{i0} \quad (4)$$

где, n_i - концентрация i -го компонента; $k_i^{(n)}$ - константа скорости n -го порядка химической реакции между i -ой компонентой и k -ыми компонентами газа; n_k - концентрация k -го компонента, n_{i0} - начальная концентрация i -го компонента.

Как известно [14], химические реакции описываются жесткими системами дифференциальных уравнений, особенностью которых является «сильное отличие по величине решений этих дифференциальных уравнений. В таких случаях, шаг интегрирования должен быть достаточно мал, чтобы можно было учитывать изменение наиболее быстро изменяющихся решений уравнений. Хотя трудности, связанные с обеспечением устойчивости решения жестких задач обычными методами, можно временно обойти, уменьшив величину шага, такой подход имеет два недостатка. Во-первых, если величина шага очень мала по сравнению с интервалом, для которого отыскивается решение, то для получения решения требуется очень много времени. Во-вторых, накапливающиеся в процессе длительных вычислений погрешности

округления и усечения могут привести к получению бессмысленного результата». Для решения жестких систем дифференциальных уравнений наиболее эффективен метод Гира [15, 16].

3.1.4. Рост температуры газов вследствие поглощения энергии ускоренных электронов

При поглощении энергии первичных ускоренных электронов средой происходит рост температуры газа. Расчет приращения температуры описывается следующей формуле:

$$dT(t) = \frac{dE(t)}{c \cdot m}, \quad (5)$$

где $dT(t)$ – приращение температуры среды, К; $dE(t)$ – энергия ускоренных электронов, переданная среде, Дж; c – удельная теплоемкость газовой среды, Дж/кг · К; m – масса газовой среды, кг.

Энергия, переданная ускоренными электронами газовой среде, рассчитывается по поглощенной дозе:

$$dE(t) = dD(t) \cdot m, \quad (6)$$

где $dD(t)$ – поглощенная доза, Гр; m – масса газовой среды, кг.

Поглощенная доза рассчитывается интегрированием площади под кривой, приведенной в формуле (1) с момента времени t_0 до t . С учетом формул (5) и (6) получаем следующую формулу приращения температуры газовой среды вследствие бомбардировки ее ускоренными электронами:

$$dT(t) = \frac{dD(t)}{C}, \quad (7)$$

Так как, константы скоростей химических реакций зависят от температуры, то эту зависимость надо учитывать при численном моделировании кинетики радиационно-химических процессов в газовой среде. Для этого, надо выбирать константы скоростей химических реакций либо для диапазона температур газовой среды, для которого проводится численное моделирование, либо такие константы скоростей, в которых указывается явная зависимость от температуры.

3.1.5. Образование и рост капель и частиц аэрозоля

После протекания химических реакций и образования паров азотной и серной кислот, а также паров солей сульфат-нитрат аммония происходит конденсация паров этих кислот и солей на частицах пыли, содержащихся в дымовых газах и которые являются ядрами конденсации.

Следует отметить, что «при конденсации пара на твердых ядрах конденсации механизм образования агрегатов-капель такой же, как и на каплях, но пересыщение пара, соответствующее давлению насыщенного пара, для ядер конденсации и капель может отличаться в зависимости от природы частиц вещества и их формы» [17].

«Формирование капель на частицах происходит в результате накопления конденсирующейся жидкости. При этом, независимо от формы, частицы постепенно обволакиваются жидкостью и превращаются в агрегаты-капли. В первом приближении можно принять,

что взвешенные частицы имеют шарообразную форму; они смачиваются жидкостью, но не вступают с нею во взаимодействие» [17].

Конденсация пара в объеме начинается при определенном пересыщении, называемом критическим пересыщением $S_{кр}$. Процесс перехода вещества из одного качественного состояния в другое, происходит скачкообразно. Этот скачок наступает при критических условиях, когда $S = S_{кр}$.

Степень пересыщения пара выражается уравнением [17]:

$$S = \frac{P}{p_{\infty}(T)} \quad (8)$$

где S – пересыщение пара (при $S = 1$ пар является насыщенным, при $S > 1$ – пересыщенным, при $S < 1$ – ненасыщенным);

p – давление пара в газовой фазе;

$p_{\infty}(T)$ – давление насыщенного пара над плоской поверхностью той же жидкости при температуре T .

Над выпуклой поверхностью, которую имеют ядра конденсации, в нашем случае, частицы пыли, давление насыщенного пара больше, чем над плоской поверхностью, и увеличивается с уменьшением радиуса кривизны.

Рассмотрим рост ядер конденсации за счет конденсации пара на их поверхности (образование агрегата). Скорость конденсации является функцией многих переменных:

$$\frac{dq}{dt} = f(T, r, p, \dots) \quad (9)$$

Для ядра конденсации, взвешенного в спокойном газе, скорость конденсации пара на поверхности ядра конденсации выражается формулой Максвелла с поправкой Фукса (последняя учитывает влияние размера ядра конденсации):

$$\frac{dq}{dt} = \frac{4\pi D r M}{RT\phi} [p - p_r(T_r)] \quad (10)$$

где q – количество вещества (пара) в газе, кг; t – время, с; D – коэффициент диффузии пара, m^2/s ; $p_r(T_r)$ – равновесное давление пара над ядром конденсации при температуре капли T_r , Па; T – температура газовой смеси, К; M – масса одного моля жидкости; ϕ – коэффициент, учитывающий размер ядер конденсации; R – универсальная газовая постоянная.

$$\phi = \frac{D}{\alpha v} + \frac{r}{r + \Delta} \quad (11)$$

$$v = \frac{w}{4} = 3643 \sqrt{\frac{T}{M}}, \quad (12)$$

где w – средняя скорость движения молекул пара, м/с; α – коэффициент конденсации, выражающий долю молекул пара, которые ударившись о поверхность жидкости, остаются на ней; Δ – толщина прилегающей к ядру конденсации области, в которой обмен молекул

пара происходит беспрепятственно, как в вакууме, m (приближенно можно принять $\Delta \approx l$, где l – средняя длина свободного пробега молекул, m).

Из [17] известно, что с увеличением радиуса капли (ядра конденсации) коэффициент ϕ уменьшается, приближаясь к единице, когда $g \gg l$ (l – средняя длина свободного пробега молекул). В этом случае справедливо уравнение Максвелла:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{DM}{RT_r} [p - p_r(T_r)] \quad (13)$$

При диаметре частиц пыли в газе $> 0,2$ мкм в формуле (11) можно не учитывать размер пылинок. Таким образом, для учета динамики роста агрегата-капель (ядер конденсации), диаметр которых больше $0,2$ мкм можно пользоваться формулой (13).

3.2. Математическая модель процессов, происходящих при ЭЛО дымовых газов

На основании детального рассмотрения описанных выше процессов нами была разработана математическая модель радиационно-химических процессов, происходящих при электронно-лучевой очистке, которая представлена в табл. 1

Таблица 1

Математическая модель процессов, происходящих во время ЭЛО газов

№ пп	Процесс	Основные характеристики и образующиеся продукты	Математическое описание процесса
1.	Прохождение первоначально нерасходящегося пучка ускоренных электронов через газ	Распределение мощности дозы от времени	$\dot{D} = \frac{D_0}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-0.5\left(\frac{t-T/2}{\sigma}\right)^2}$ см. формулу (1)
2.	Физические и физико-химические процессы при прохождении через дымовые газы	Возбужденные молекулы, ионы, радикалы	$\frac{dn_i}{dt} = G_{n_i} \dot{D} x_i \rho$ см. формулу (2)
3.	Химические реакции промежуточных и конечных продуктов	Стабильные химические соединения	$\frac{dn_i}{dt} = n_i \sum_n k_i^{(n)} \prod_{k=1}^n n_k$ см. формулу (3)
4.	Рост температуры газов вследствие поглощения энергии ускоренных электронов	Рост температуры газа со временем	$dT(t) = \frac{dD(t)}{c}$ см. формулу (7)
5.	Образование и рост капель и частиц аэрозоля	Конечный продукт – аэрозоль сульфата-нитрата аммония	$\frac{dr}{dt} = \frac{DM}{RT_r} [p - p_r(T_r)]$ см. формулу (13)

После образования аэрозолей в системе протекают гетерогенные реакции. Разработка математической модели гетерогенной системы будет проводиться на следующем этапе работы.

4. Выводы

В статье разработана математическая модель радиационно-химических процессов, происходящих при электронно-лучевой очистке дымовых газов, которую планируется использовать для дальнейшего численного моделирования этих процессов. Такой численный эксперимент позволит провести оптимизацию технологических процессов электронно-лучевой очистки дымовых газов.

Литература

1. Коваленко, Г.Д. Риск здоровью населения от выбросов тепловых электростанций [Текст] / Г.Д. Коваленко, А.В. Пивень // Экология и промышленность - 2008. - №3. - С. 23 - 30.
2. Fainchtein, O.L. Developing wet variants of electron-beam removal of NOX, SO2 and particulate from flue gas [Текст] / O. L. Fainchtein, V. V. Piotrovskiy, M. V. Sagaidak et al. // In: Cooper W.J., Curry R.D., O'Shea K.E. (Eds.) Environmental Application of Ionizing Radiation. New York : Wiley, 1998. - С. 123 - 138. - ISBN 0-471-17086-0.
3. Fainchtein, O.L. On problems of reducing energy consumption for irradiation of flue gas in the electron beam gas treatment technology [Текст] / O.L. Fainchtein, M.V. Sagaidak, V.V. Morgunov // Radiation Physics and Chemistry. - 2002. - №65. - С. 405 - 414.
4. Мухин, К.Н. Экспериментальная ядерная физика [Текст]. Кн. 1. Физика атомного ядра. Ч. 1. : учеб. пособие. / К.Н. Мухин - 5-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1993. -376 с. - ISBN 5-283-04080-1.
5. Сивухин, Д. В. Общий курс физики [Текст]. Т. 5. Атомная и ядерная физика : учеб. пособие / Д. В. Сивухин - 2-е изд., стереот. М. : ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2002. - 784 с. - ISBN 5-9221-0230-3; 5-89155-088-1.
6. Бугаенко, Л.Т. Химия высоких энергий [Текст] / Л.Т. Бугаенко, М.Г. Кузьмин, Л.С. Полак – М. : Химия, 1988. - 368 с. ISBN 5-7245-0101-5.
7. Use of mathematical modelling in Electron Beam Processing: A Guidebook. [Текст]. Vienna : International Atomic Energy Agency, 2010. - 131 с. (IAEA radiation technology series; no 1, ISSN – 2220-7341) - ISBN 978-92-0-112010-6.
8. Matzing, H. Chemical kinetics of flue gas cleaning by irradiation with electron [Текст] / H. Matzing // Advances in Chemical Physics. - 1991. - Т. LXXX. - С. 315 - 402.
9. Пикаев, А.К., Дозиметрия в радиационной химии [Текст] / А.К. Пикаев. - М. : Наука, 1975. - 312 с.
10. Милинчук, В.В.. Радиационная химия [Текст] / В.В. Милинчук // Соровский образовательный журнал. - 2000. - №4. - С. 24 - 29.

11. Пшежецкий, С.Я. Механизм радиационно-химических реакций [Текст] / С.Я. Пшежецкий. - М. : Химия, 1968. - 368 с.
12. Willis, C. Excitation in the radiation chemistry of inorganic gases [Текст] / С. Willis, А. W. Boyd // Int. J. Radiat. Phys. Chem. - 1976. - Т. 8. С. 77 - 111.
13. Эммануэль Н.М., Курс химической кинетики [Текст] : учеб. пособие / Н.М. Эммануэль, Д.Г. Кнорре. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1984. - 463 с.
14. Шуп, Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: Практическое руководство [Текст] : пер. с англ. - М. : Мир, 1982. - 238 с.
15. Gear, C.W. The automatic integration of ordinary differential equations [Текст] / С. W. Gear // Communications of the ACM. - 1971. Т. 14, № 3. - С. 176 - 179.
16. Gear, C.W. DIFSUB for solution of ordinary differential equations [Текст] / С. W. Gear // Communications of the ACM. - 1971. Т. 14, № 3. - С. 185 - 190.
17. Амелин, А.Г. Теоретические основы образования тумана при конденсации пара [Текст] / А.Г. Амелин. М. : Химия, 1966. - 293 с.

Для визначення рівня небезпечності рекреаційного водокористування, в статті представлено новий підхід до оцінки прийнятності потенційного ризику здоров'ю населення і запропоновано використання цього показника при оцінюванні якості життя

Ключові слова: ризик, поверхневі води, рекреаційне водокористування

Для определения уровня опасности рекреационного водопользования, в статье представлен новый подход к оценке приемлемости потенциального риска здоровью населения и предложено использование этого показателя при оценивании качества жизни

Ключевые слова: риск, поверхностные воды, рекреационное водопользование

This paper include approach for assessing the appropriateness of the potential risk of public health in order to determine the danger level of recreational water use and the potential for environmental emergencies

Keywords: risk, surface water, recreation

УДК 504.75:574:614.253.81

ОЦІНКА РЕКРЕАЦІЙНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВОДОТОКІВ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЯК ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ ЖИТТЯ

О. В. Рибалова

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: (057) 707-34-57

E-mail: olga.rybalova@mail.ru

Є. О. Вариво́да

Кандидат географічних наук, старший викладач*

Контактний тел.: (057) 707-34-57

E-mail: e.varyvoda@gmail.com

С. В. Белан

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: (057) 707-34-57

E-mail: opteb_nuczu@ukr.net

*Кафедра охорони праці та техногенно-екологічної безпеки

Національний університет цивільного захисту України
вул. Чернишевського, 94, м. Харків, 61023, Україна

Постановка проблеми

Несприятлива екологічна ситуація є причиною виникнення надзвичайних ситуацій і викликає погіршення здоров'я населення, особливо інфекційних і екологічно залежних захворювань. Ця проблема особливо актуальна для Харківської області, що є найбільшим

промисловим центром України, тому що відомо, що антропогенна діяльність викликає порушення стійкості природних екосистем, призводить до медико-біологічних і генетичних наслідків на людину, порушує баланс природних ресурсів, впливає на функціонування виробничих процесів і економічного комплексу в цілому, змінює соціальну сферу життя суспільства.