



БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ 2/2013

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ

Подписные индексы: «Роспечать» – 18316, «Пресса России» – 11237

- Расчет класса опасности отходов
- Эргатическая система – анализ управляющих движений оператора
- Профессиональные качества оператора
- Веб-приложение для оценки условий труда
- Утилизация коксовой пыли
- Контроль загрязнения воздуха и накопления тяжелых металлов растениями
- Влияние железнодорожного транспорта на природу
- Подготовка кадров в области безопасности

УДК 504.05:63

Совершенствование расчетного метода определения класса опасности отходов

Л.Н. Григорьев, заведующий кафедрой, профессор, д-р техн. наук¹

О.А. Шанова, доцент, канд. техн. наук²

¹ Санкт-Петербургская государственная химико-фармацевтическая академия

² Санкт-Петербургский государственный университет растительных полимеров

e-mail: grig.lev@mail.ru

Ключевые слова:

отходы,
класс опасности,
расчет,
опасные свойства.

Показана целесообразность совершенствования действующей методики определения класса опасности отходов. Предложен новый способ расчета класса опасности, приведены примеры его практического использования.

1. Введение

Установление класса опасности конкретного отхода промышленного предприятия является весьма значимой операцией, во многом определяющей способ обращения с ним и размер платы за размещение отхода.

В настоящее время для определения класса опасности отхода в основном применяется расчетный метод с использованием литературных данных по составу и свойствам отхода (непосредственно расчетный метод) или результатов аналитического определения концентрации компонентов, входящих в состав отхода (расчетно-экспериментальный метод). При этом, если для отхода в результате расчета получается пятый класс опасности, то этот класс опасности необходимо дополнительно подтвердить методом биотестирования.

Основные принципы расчета класса опасности изложены в приказе Министерства природных ресурсов (МПР России) от 15 июня 2001 г. № 511 «Критерии отнесения опасных отходов к классам опасности для окружающей среды» и в Методическом пособии по применению этого приказа (далее — МП) [1]. Суть расчета заключается в нахождении для каждого i -го компонента отхода значений первичных показателей (предельно допустимые концентрации (ПДК) и классы опасности для различных фаз, относительные растворимость и летучесть, среднесмертельная доза и др.), число которых должно быть, по возможности, достаточно большим (12), и присвоении им соответ-

ствующего балла по четырехбалльной системе. Далее, используя арифметические действия с полученными баллами, находят значения относительного параметра компонента отхода (X_i) и унифицированного относительного параметра экологической опасности (Z_i); в зависимости от значения показателя X_i рассчитывают величину коэффициента степени экологической опасности (W_i , мг/кг). Класс опасности компонента отхода (K_i) определяют из выражения:

$$K_i = C_i / W_i,$$

где C_i — концентрация отдельного компонента в отходе, мг/кг.

Класс опасности отхода определяется по значению суммы показателей коэффициента степени опасности отдельных компонентов:

$$K = \sum K_i = \sum (C_i / W_i). \quad (1)$$

Опыт практического использования МП при разработке проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение, а также паспортов опасных отходов позволил выявить ряд особенностей, которые, вследствие их неопределенности, позволяют относить близкие по составу отходы разных предприятий к разным (более высокому или низкому) классам опасности.

Следует отметить отсутствие в МП подробного математического вывода промежуточных и конеч-

ного показателей, необходимых для расчета класса опасности отхода (или его компонента), что делает невозможной оценку погрешности расчетного способа. При этом не раскрывается физическая суть принятых допущений и граничных условий.

Цель работы — на основе анализа МП определить направления совершенствования методики расчета класса опасности отходов.

2. Аналитическая часть

Анализ алгоритма расчета класса опасности, представленного в МП, приводит к следующим выражениям для промежуточных (X_i , Z_i) и конечного (W_i) показателей.

Относительный параметр опасности компонента отхода X_i :

$$X_i = \Sigma B_i / n, \quad (2)$$

где ΣB_i — сумма баллов по всем найденным показателям;

n — число показателей, включая информационный.

Относительный параметр экологической опасности компонента отхода Z_i :

$$Z_i = \frac{4X_i}{3} - \frac{1}{3} = \frac{4\Sigma B_i}{3n} - \frac{1}{3} = \frac{1}{3} \left(\frac{4\Sigma B_i}{n} - 1 \right). \quad (3)$$

В зависимости от принятых в МП граничных значений для параметра Z_i коэффициент степени экологической опасности компонента отхода W_i рассчитывается по формулам (4)–(6):

$$\text{при } 1 \leq Z_i < 2 \quad \lg W_i = 4 - \frac{4}{Z_i} = 4 - \frac{12}{\left(\frac{4\Sigma B_i}{n} - 1 \right)},$$

$$W_i = 10^{\left(4 - \frac{12}{\left(\frac{4\Sigma B_i}{n} - 1 \right)} \right)}; \quad (4)$$

$$\text{при } 2 \leq Z_i < 4 \quad \lg W_i = Z_i = \frac{1}{3} \left(\frac{4\Sigma B_i}{n} - 1 \right),$$

$$W_i = 10^{\frac{1}{3} \left(\frac{4\Sigma B_i}{n} - 1 \right)}; \quad (5)$$

$$\text{при } 4 \leq Z_i \leq 5 \quad \lg W_i = 2 + \frac{4}{(6 - Z_i)} = 2 + \frac{4}{\left(6 - \frac{1}{3} \left(\frac{4\Sigma B_i}{n} - 1 \right) \right)},$$

$$W_i = 10^{\left(2 + \frac{4}{\left(6 - \frac{1}{3} \left(\frac{4\Sigma B_i}{n} - 1 \right) \right)} \right)}. \quad (6)$$

Из выражений (4)–(6) можно видеть, что коэффициент W_i не является постоянной величиной для конкретного компонента отхода, не имеет выраженных физико-химического, гигиенического и токсикологического смыслов, зависит только от числа используемых при расчете первичных показателей и суммы баллов, их соотношения; какая-либо связь с первичными показателями (например, с ПДК для различных фаз и др.) или их свойствами (растворимость, летучесть, способность к ионизации в водных растворах, адсорбция и др.) отсутствует. Из (4)–(6) также следует, что коэффициент W_i для всех интервалов изменения показателя Z_i тем больше, чем больше сумма баллов и меньше число используемых показателей. Это противоречит основному положению МП — использовать в расчетах максимально возможное число первичных показателей, что, как следует из отмеченного, способствует повышению класса опасности. Из (4)–(6) нетрудно видеть, что значение W_i зависит, по существу, не столько от суммы баллов и числа факторов, сколько от их соотношения.

В отношении коэффициента Z_i можно отметить, что зависимость $Z_i = f(\Sigma B_i / n)$ является, по существу, линейной:

$$Z_i = 1,18 (\Sigma B_i / n) \quad (7)$$

и характеризуется малой погрешностью относительно предложенной в МП формулы. Справедливость этого выражения видна из данных, представленных в табл. 1.

Представление в МП зависимости $Z_i = f(W_i)$ в виде трех уравнений представляется не совсем обоснованным. С достаточной точностью эта зависимость аппроксимируется экспонентой. С другой стороны, полулогарифмическая зависимость $\lg W_i = f(Z_i)$ пред-

Таблица 1

| Результаты расчета погрешности | | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------------------------|--|
| $(\Sigma B_i / n)$ | $Z_i = 1,18 (\Sigma B_i / n)$ | Z_i по формуле (3) | s (средне-квадратичное отклонение) | v (относительная погрешность среднего значения), % |
| 4,00 | 4,72 | 5,00 | 0,198 | 4,07 |
| 3,50 | 4,13 | 4,33 | 0,141 | 3,33 |
| 3,25 | 3,83 | 4,00 | 0,116 | 2,96 |
| 3,00 | 3,54 | 3,66 | 0,085 | 2,36 |
| 2,00 | 2,36 | 2,33 | 0,021 | 0,90 |

ставляет собой линейную зависимость в широком интервале значений Z_i . Нарушается эта зависимость только при $Z_i > 4$, при этом относительная погрешность расчета (при $Z_i = 5$) составляет 12,85%, что является вполне допустимым не только в инженерных, но и в аналитических расчетах. Таким образом, получается, что для расчета W_i по принятой методике в интервале значений $Z_i = 1 \div 5$ для каждого компонента отхода можно ограничиться применением только одной из формул (4), (5) или (6).

Следует также заметить, что в представленных выше выражениях коэффициент W_i является безразмерной величиной, что не согласуется с выражением (1), в котором коэффициент W_i имеет размерность (мг/кг).

Представляется не совсем корректным предложение в МП выполнять пересчет концентраций компонентов отхода с одной химической формы его существования в другую, более простую. Это может быть обоснованно в отношении неорганических компонентов и — далеко не всегда — для органических составляющих. Применение предложения к органосодержащим отходам приводит к тому, что для одного и того же по химическому составу отхода может быть установлен на различных предприятиях различный класс опасности. Например, для отходов затвердевшей смолы ионообменных материалов (в том числе отработанной), состоящей из стирола (86,5%), дивинилбензола (7,85%) и ионогенной группы (5%), можно получить при расчете, с учетом пересчета стирола и дивинилбензола на углерод, значение показателя K , соответствующее 4–5-му классам опасности. С другой стороны, можно получить значение K , соответствующее 2–3-му классам опасности, — с учетом прямого содержания стирола и дивинилбензола в отходе. В данном случае более правильным представляется комплексное использование информации о фазово-химическом состоянии и свойствах отхода в целом и его компонентов в частности. При этом следует учитывать, что основная масса стирола и дивинилбензола находится в связанном устойчивом состоянии (в форме полимера), а опасные свойства отхода обуславливаются, главным образом, присутствием в отходе мономеров — свободных стирола и дивинилбензола и остаточных ионогенных групп. На наш взгляд, допустимо, по аналогии с природными полимерами, принимать для синтетических устойчивых полимеров значение показателя W_i равным 10^6 ; необходимые первичные показатели находятся для мономеров, ионогенных групп и других низкомолекулярных веществ, находящихся в свободном состоянии и способных растворяться в воде, выделяться в атмосферный воздух и сорбироваться почвой, оказывать токсическое действие.

Представляется также целесообразным при выборе первичных показателей для отхода или его компонентов учитывать физико-химические свойства последних и возможность их проявления с учетом предполагаемого способа обращения. Например, не совсем обоснованным представляется включать в алгоритм расчета коэффициента W_i для вещества, нерастворимого в воде, значение его ПДК (установленного для другой формы существования, например, ионной) в воде водных объектов или включение ПДК (максимально разовой или среднесуточной в атмосферном и производственном воздухе) для компонента отхода, практически нелетучего. Это в равной мере может быть отнесено и к таким относительным показателям, как $\lg(S_i / \text{ПДК}_в)$ и $\lg(C_{\text{нас}} / \text{ПДК}_{\text{рз, с.с, м.р}})$, в которых S и $C_{\text{нас}}$ — соответственно, растворимость и концентрация вещества в воздухе в состоянии насыщения при 20°C и нормальном давлении.

При расчете класса опасности представляется важным знать, в какой фазе (воздух, вода, почва) компонент отхода в наибольшей степени проявляет опасные свойства.

Для оценки значимости первичных показателей был применен метод планирования полного факторного эксперимента с помощью составления матрицы планирования и статистической обработки полученных результатов [2]. В качестве первичных показателей были взяты ПДК_п, ПДК_в и ПДК_{атм}, в качестве определяющего параметра принят относительный параметр опасности компонента (X_i). С учетом интервала изменения значений ПДК согласно МП значения первичных показателей были приняты в следующих пределах: ПДК_п = 5–70 мг/кг; ПДК_в = 0,03–0,80 мг/дм³; ПДК_{атм} = 0,05–0,50 мг/м³. Матрица планирования расчетных опытов приведена в табл. 2, в которой знак (+) означает максимальное значение показателя в безразмерной форме ($Y_{i\text{max}}$), знак (–) означает минимальное значение показателя ($Y_{i\text{min}}$); в скобках приведены натуральные значения показателей.

Таблица 2

Рабочая матрица планирования опытов

| (ПДК _п) Y_1 | (ПДК _в) Y_2 | (ПДК _а) Y_3 | Z_i |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------|
| +(10) | +(0,10) | +(0,10) | 3,33 |
| –(1) | +(0,10) | +(0,10) | 2,66 |
| +(10) | –(0,01) | +(0,10) | 2,66 |
| –(1) | –(0,01) | +(0,10) | 2,33 |
| +(10) | +(0,10) | –(0,01) | 2,66 |
| –(1) | +(0,10) | –(0,01) | 2,33 |
| +(10) | –(0,01) | –(0,01) | 2,33 |
| –(1) | –(0,01) | –(0,01) | 2,00 |

Имеем:

$$Y_i = (Y_{i\max,\min} - Y_{i\text{ср}}) / \Delta, \quad (8)$$

где $Y_{i\max,\min}$ — максимальное или минимальное значение первичного показателя, $Y_{i\text{ср}}$ — среднеарифметическое значение показателя, Δ — интервал изменения показателя относительно среднего значения ($\Delta = Y_{i\max,\min} - Y_{i\text{ср}}$).

По данным табл. 2 и формуле $b_i = \Sigma (Y_i Z_i) / N$ (N — число опытов, строк) были рассчитаны коэффициенты b_i , характеризующие значимость показателей: $b_0 = 2,28$; $b_1 = 0,248$; $b_2 = 0,248$; $b_3 = 0,248$ (здесь b_0 — вспомогательный коэффициент, представляющий среднее арифметическое для Z_i). Влияние выбранных первичных показателей на величину Z_i и, следовательно, на W_i можно видеть из следующего уравнения:

$$Z_i = 2,28 + 0,248Y_1 + 0,248Y_2 + 0,248Y_3.$$

Из этого уравнения следует, что каждый из рассмотренных первичных показателей оказывает одинаковое влияние на значение Z_i . Это вызывает определенное сомнение, обусловленное различными химическими и токсикологическими свойствами вещества в зависимости от его фазового состояния.

Исходя из сказанного, представляется целесообразным продолжить работы по совершенствованию данной методики, с учетом, в частности приведенных выше данных, а также по разработке новых способов расчета класса опасности отходов.

3. Расчетная часть

В качестве возможного варианта для рассмотрения предлагается способ расчета класса опасности отхода, основанный на сравнении предельно возможных концентраций компонентов отхода в различных природных фазах (атмосферном воздухе — $C_{\text{атм}}$, воде водных объектов — $C_{\text{в}}$ и почве — $C_{\text{п}}$) и соответствующих нормируемых показателей (например, ПДК). В общем случае концентрация компонента отхода характеризует его определенное свойство: летучесть, растворимость, способность сорбироваться.

С учетом отмеченной взаимосвязь между коэффициентом степени опасности и концентрациями конкретного компонента отхода в различных фазах можно представить в виде: $K_i = f(C_{\text{атм}}, C_{\text{в}}, C_{\text{п}})$. Естественно считать, что величина K_i тем выше, чем выше значения концентраций компонента в каждой фазе, т.е.: $K_i = C_{\text{атм}} + C_{\text{в}} + C_{\text{п}}$. Разделив каждое значение концентрации на некоторое нормируемое значение концентрации этого же вещества в соответствующей фазе, получим:

$$K_i = K_{\text{атм}} + K_{\text{в}} + K_{\text{п}} + K' = C_{\text{атм}} \nu / C_{\text{атм}} + C_{\text{в}} \nu / C_{\text{в}} + C_{\text{п}} \nu / C_{\text{п}} + C'_{\text{п}} \nu / C_{\text{п}}, \quad (9)$$

где ν — доля компонента отхода в его общем количестве; для однородного отхода $\nu = 1$. В уравнение (9) введен дополнительный показатель, характеризующий опасность загрязнения почвы вследствие разлива жидкого или контакта с почвой твердого отхода, $K'_{\text{п}} = C'_{\text{п}} \nu / C_{\text{п}}$ (здесь $C'_{\text{п}}$ — максимальная концентрация компонента отхода на поверхности почвы, мг/кг).

После дифференцирования и интегрирования выражения (9), например, для второго слагаемого, в принятых пределах (граничных значениях) имеем:

$$\int_0^{K_{\text{в}}} dK_{\text{в}} = \int_{\text{ПДК}_{\text{в}}}^{S_i} dC_{\text{в}} / C_{\text{в}};$$

$$K_{\text{в}} = \ln (S_i / \text{ПДК}_{\text{в}}).$$

Аналогичные действия можно выполнить и для других слагаемых выражения (9). В итоге коэффициент степени опасности компонента отхода может быть рассчитан по формуле:

$$K_i = \ln (C_{\text{нас}} / \text{ПДК}_{\text{атм}}) + \ln (S_i / \text{ПДК}_{\text{в}}) + \ln (A_i / \text{ЛПДК}_{\text{п}}) + \ln (C'_{\text{п}} / \text{ПДК}_{\text{п}}), \quad (10)$$

где A_i — предельная величина адсорбции, мг/кг; A_i находится из экспериментальных данных или может быть приблизительно рассчитана по формуле из [3]: $A_i (\text{мг/г}) = (S_{\text{уд.п.}} M_i / N_a \omega) \times 10^{-2}$, где $S_{\text{уд.п.}}$ — удельная поверхность почвы, м²/г (для всех видов почв предлагается принять (с учетом их пространственной структуры) в качестве усредненной условной стандартной величины $S_{\text{уд.п.}} = 5 \text{ м}^2/\text{г}$); M_i — молекулярная масса компонента, г/моль; $N_a = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ (число Авогадро), ω — площадь, занимаемая адсорбированным веществом на поверхности почвы [3], м². Для компонентов, сорбируемых по ионообменному механизму, может быть принято в качестве условного стандарта усредненное значение A_i для всех видов почв (по катионам и анионам) — 10 мг/г.

Погрешность расчета величины K_i определяется суммой погрешностей аналитического и расчетного определения показателей, входящих в выражение (9).

Рассмотрим возможность применения данного способа расчета для однокомпонентных (однородных) отходов с достаточно надежно установленными классами опасности. В приведенных ниже расчетах значения ПДК для различных фаз взяты из [4].

Ртуть (II) хлорид — HgCl_2 . Исходные данные: молекулярная масса — 271,5, растворимость (S_i) — 6,6% = 66000 мг/дм³ [5], содержание ртути — 73,88 %, давление насыщенного пара ртути при 293 К —

0,00122 мм рт. ст.; $C_{\text{нас}} = 13,5 \text{ мг/м}^3$ [6]; $A_i = 0$ [7]; $\text{ПДК}_b = 0,0005 \text{ мг/дм}^3$ (по ионам ртути); $\text{ПДК}_{\text{атм}} = 0,0001 \text{ мг/м}^3$ (по ртути); $\text{ПДК}_n = 2,1 \text{ мг/кг}$.

В результате расчетов по формулам (9) и (10) имеем:

$$K_{\text{атм}} = \ln(16,7 \times 0,7388 / 0,0001) = 11,7;$$

$$K_b = \ln(66000 / 0,0005) = 18,7;$$

$$K'_n = \ln(73880 / 2,1) = 12,8;$$

$$K = 11,7 + 18,7 + 12,8 = 43,2.$$

Примечание. Вследствие отсутствия данных по давлению пара ртути над хлоридом ртути в расчете учитывали содержание ртути в соли. В связи с тем, что адсорбция металлической ртути при обычных условиях практически не имеет места [7], учитывали опасность, создаваемую при попадании непосредственно соли (с учетом содержания ртути) в почву вследствие нарушения контакта ее с воздухом и тор-можения на покрытом солью участке биологических аэробных процессов.

Пиридин — C_5H_5N . Исходные данные: молекулярная масса — 79,1; $S_i = 4,4 \times 10^6 \text{ мг/дм}^3$ [6]; $C_{\text{нас}} = 67\,056 \text{ мг/м}^3$ [6]; $\text{ПДК}_{\text{атм}} = 0,08 \text{ мг/м}^3$; $\text{ПДК}_b = 0,2 \text{ мг/дм}^3$; $\text{ПДК}_n = 0,3 \text{ мг/кг}$ (принято по толуолу); $S_{\text{уд.п.}} = 5,0 \text{ м}^2/\text{г}$; $\omega = 0,386 \text{ нм}^2$ [3].

Имеем:

$$K_{\text{атм}} = \ln(67\,056 / 0,08) = 13,6;$$

$$K_b = \ln(4,4 \times 10^6 / 0,2) = 16,9;$$

$$A_i = 5,0 \times 79,1 \times 10^{-2} / 6,02 \times 0,386 = 1,7 \text{ мг/г};$$

$$K_n = \ln(1700 / 0,3) = 8,6;$$

$$K = 13,6 + 16,9 + 8,6 = 39,1.$$

Примечание. Количественно растворимость пиридина в воде принимали из расчета 1 гмоль/гмоль воды с учетом того, что при большем соотношении происходит смена дисперсионной среды, т.е. 4,4 кг/кг воды, что в пределах погрешности определения концентрации пиридина составляет $4,4 \times 10^6 \text{ мг/дм}^3$. Для летучих и хорошо растворимых органических веществ опасность вследствие разлива на поверхности минимальна (практически отсутствует через непродолжительное время после разлива) вследствие поглощения влагой, адсорбции и десорбции в газовую фазу.

Толуол — $C_6H_5CH_3$. Исходные данные: молекулярная масса — 92,1; $S_i = 140 \text{ мг/дм}^3$ [5]; $C_{\text{нас}} = 112\,936 \text{ мг/м}^3$ [5]; $\text{ПДК}_{\text{атм}} = 0,6 \text{ мг/м}^3$; $\text{ПДК}_b = 0,5 \text{ мг/дм}^3$; $\text{ПДК}_n = 0,3 \text{ мг/кг}$; $S_{\text{уд.п.}} = 5 \text{ м}^2/\text{г}$; $\omega = 0,540 \text{ нм}^2$ [3].

Имеем:

$$K_{\text{атм}} = \ln(112\,936 / 0,6) = 12,1;$$

$$K_b = \ln(140 / 0,5) = 5,6;$$

$$A_i = 5,0 \times 92 \times 10^{-2} / 6,02 \times 0,540 = 1,41 \text{ мг/г};$$

$$K_n = \ln(1400 / 0,3) = 8,4;$$

$$K = 12,1 + 5,6 + 8,4 = 26,1.$$

Меди (II) хлорид — $CuCl_2 \times 2H_2O$. Исходные данные: молекулярная масса — 170,4; содержание меди — 37,3%; $S_i = 72,7\%$ [5] ($727\,000 \text{ мг/дм}^3$); $\text{ПДК}_b = 1 \text{ мг/дм}^3$ (по

ионам меди); $\text{ПДК}_n = 3 \text{ мг/кг}$ (по ионам меди); $C_{\text{нас}} \approx 0$; $A_i = 10 \text{ мг/г}$.

Имеем:

$$K_b = \ln(727\,000 \times 0,373 / 1) = 12,5;$$

$$K'_n = \ln(727\,000 \times 0,373 / 3) = 11,4;$$

$$K_n = \ln(10\,000 / 3) = 8,1.$$

$$K = 12,5 + 11,4 + 8,1 = 32,0.$$

Кальция сульфат (кусковой) — $CaSO_4 \times 2H_2O$.

Исходные данные: молекулярная масса — 136; содержание SO_4 — 55,814%; $S_i = 0,2036\%$ [5] (2036 мг/дм^3); $C_{\text{нас}} \approx 0$; $A_i \approx 0$; $\text{ПДК}_b = 500 \text{ мг/дм}^3$ (по сульфат-ионам); $\text{ПДК}_n = 226,6 \text{ мг/кг}$ (принято по серной кислоте (160 мг/кг) в пересчете на серу).

Имеем:

$$K_b = \ln(2036 \times 0,56 / 500) = 0,8;$$

$$K'_n = \ln(558\,140 / 226,6) = 7,8.$$

$$K = 0,8 + 7,8 = 8,6.$$

Кальция сульфат (мелкодисперсный) — $CaSO_4$.

Особенность расчета заключается в необходимости определить максимально возможную концентрацию аэрозоля кальция сульфата в атмосферной воздухе: $C_{\text{иатм}}$. Принимаем эту величину с учетом максимально наблюдаемого значения концентрации в атмосфере, $C_{\text{иатм}} \approx 500 \text{ мг/м}^3$ [8]; $\text{ПДК}_{\text{атм}} = 0,5 \text{ мг/м}^3$; остальные исходные данные приняты по предыдущему примеру.

Имеем:

$$K_b = \ln(2036 \times 0,56 / 500) = 0,8;$$

$$K_{\text{атм}} = \ln(500 / 0,5) = 6,9;$$

$$K'_n = \ln(558\,140 / 226,6) = 7,8.$$

$$K = 0,8 + 7,8 + 6,9 = 15,5.$$

Результаты расчетов сведены в табл. 3.

Из сравнения представленных в табл. 3 значений K для различных отходов с соответствующими им классами опасности можно выделить возможные интервалы изменения величины K в пределах каждого из пяти классов опасности отхода.

Таблица 3

Результаты расчетов класса опасности отходов

| Наименование отхода (состав) | Класс опасности [9] | К | Возможные интервалы изменения |
|--|---------------------|------|-------------------------------|
| Отходы солей (ртути хлорид) | I | 43,2 | $K > 40,0$ |
| Остатки пиридина, потерявшего потребительские свойства (пиридин) | II | 39,1 | |
| Отходы хлорида меди в твердом виде (меди (II) хлорид) | II | 32,0 | $30 < K \leq 40$ |
| Остатки толуола, потерявшего потребительские свойства (толуол) | III | 26,1 | $20 < K \leq 30$ |
| Пыль гипсовая (кальция сульфат) | IV | 15,5 | $10 < K \leq 20$ |
| Отходы гипса в кусковой форме (кальция сульфат) | V | 8,6 | $K \leq 10$ |

Рассмотрим, с учетом данных табл. 3, пример расчета для неоднородного (по составу) отхода.

Опилки древесные, загрязненные бензином.
Исходные данные: состав отхода — опилки — 85% (850 000 мг/кг), бензин — 15% (150 000 мг/кг). Состав опилок — целлюлоза, лигнин, углеводы, влага — 98,5%, зола — 1,5%; данные для бензина: молекулярная масса — 101; $S_i = 34 \text{ мг/дм}^3$ [10]; $C_{\text{нас}} = 3749 \text{ мг/м}^3$ [10]; $\text{ПДК}_b = 0,1 \text{ мг/дм}^3$; $\text{ПДК}_{\text{атм}} = 0,05 \text{ мг/м}^3$; $\text{ПДК}_n = 0,3 \text{ мг/кг}$ (принято по толуолу).

Имеем:

для бензина — $K_b = \ln(34 \times 0,15 / 0,1) = 3,9$;

$K_{\text{атм}} = \ln(3749 \times 0,15 / 0,05) = 9,3$;

$A_i = 5 \times 101 \times 10^{-2} / 6,02 \times 0,515 = 1,6 \text{ мг/г}$;

$K_n = \ln(1600 \times 0,15 / 0,1) = 7,8$;

$K = 3,9 + 9,3 + 7,8 = 21,0$.

По данным табл. 3, отход относится к классу опасности III, что согласуется с классом опасности, приведенным в Федеральном классификационном каталоге отходов.

Для оценки возможности практического применения предлагаемого способа необходимо расширить и создать расчетную базу данных для большого количества отходов. При этом не исключается возможность включения в уравнение (9) дополнительных показателей K_i в безразмерной форме, например, показателя, учитывающего токсичное действие компонента отхода (с учетом среднесмертельной дозы), его пожароопасность (с учетом нижнего концентрационного предела воспламенения). Следует отметить, что увеличение числа показателей K_i способствует повышению правильности конечного результата. При этом возможно изменение интервалов для классов опасности, приведенных в табл. 3.

4. Заключение

Выявлены особенности расчета класса опасности отходов по действующей в настоящее время методике, обуславливающие необходимость ее дальнейшего совершенствования.

Предложен способ расчета класса опасности отхода, предусматривающий использование безразмерных показателей, характеризующих опасные свойства конкретного отхода или его компонента.

Обозначения:

A_i — предельная величина адсорбции, мг/кг;
 B_i — значение балла для отдельного показателя, безразмерное;
 b_i — коэффициент, характеризующий значимость показателей, безразмерный;
 C_i — концентрация отдельного компонента в отходе, мг/кг;

$C_{i\text{атм}}$ — концентрация компонентов отхода в атмосферном воздухе, мг/м³;
 $C_{i\text{в}}$ — концентрация компонентов отхода в воде, мг/дм³;
 $C_{i\text{п}}$ — концентрация компонентов отхода в почве, мг/кг;
 $C'_{i\text{п}}$ — максимальная концентрация компонента отхода на поверхности почвы, мг/кг;
 $C_{\text{нас}}$ — концентрация компонента отхода (вещества) в воздухе в состоянии насыщения при 20°C и нормальном давлении, мг/м³;
 K — класс опасности отхода, безразмерный;
 K_i — суммарный показатель степени опасности компонента отхода, безразмерный;
 $K_{i\text{атм}}$ — показатель степени опасности компонента отхода для атмосферного воздуха, безразмерный;
 $K_{i\text{в}}$ — показатель степени опасности компонента отхода для водных объектов, безразмерный;
 $K_{i\text{п}}$ — показатель степени опасности компонента отхода для почвы, безразмерный;
 $K'_{i\text{п}}$ — показатель, характеризующий опасность загрязнения почвы вследствие разлива жидкого или контакта с почвой твердого отхода, безразмерный;
 M_i — молекулярная масса компонента, г/моль;
 N_a — число Авогадро, 1/моль;
 N — число опытов, безразмерное;
 n — число показателей, включая информационный, безразмерное;
 S_i — растворимость компонента отхода (вещества) в воде при 20°C, мг/дм³;
 $S_{\text{уд.п.}}$ — удельная поверхность почвы, м²/г;
 s — среднеквадратичное отклонение, безразмерное;
 v — доля компонента отхода в его общем количестве, безразмерная;
 W_i — коэффициент степени экологической опасности, мг/кг;
 X_i — относительный параметр компонента отхода;
 $Y_{i\text{max,min}}$ — максимальное или минимальное значение первичного показателя, безразмерное;
 $Y_{i\text{ср}}$ — среднее арифметическое значение показателя, безразмерное;
 Z_i — унифицированный относительный параметр экологической опасности, безразмерный;
 Δ — интервал изменения показателя относительно среднего значения, безразмерный;
 ν — относительная погрешность среднего значения, %;
 ω — площадка, занимаемая адсорбированным веществом на поверхности почвы, м²;
 $\text{ПДК}_{\text{атм}}$ — предельно допустимая концентрация вещества в атмосферном воздухе, мг/м³;
 ПДК_b — предельно допустимая концентрация вещества в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, мг/дм³;
 $\text{ПДК}_{\text{м.р.}}$ — максимально разовая предельно допустимая концентрация вещества в воздухе населенных мест, мг/м³;

ПДК_п — предельно допустимая концентрация вещества в почве, мг/кг;
 ПДК_{р.з.} — предельно допустимая концентрация вещества в воздухе рабочей зоны, мг/м³;
 ПДК_{с.с.} — предельно допустимая концентрация вещества среднесуточная в атмосферном воздухе населенных мест, мг/м³.

Индексы:

max — максимальное значение показателя;
 min — минимальное значение показателя;
 атм — атмосферный воздух;

в — водный объект;
 м.р. — максимально разовое значение, определяемое за временной период, равный 20 минутам;
 нас — состояние насыщения;
 п — почва;
 р.з. — рабочая зона;
 ср — среднее значение;
 с.с. — среднесуточное значение, определяемое непрерывно или через равные промежутки времени в течение суток;
 уд.п. — удельная поверхность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методическое пособие по применению «Критериев отнесения опасных отходов к классам опасности для окружающей среды». — М.: Министерство природных ресурсов РФ, ФГУ «ЦЭКА», 2003.
2. Бондарь А.Г. Математическое моделирование в химической технологии. — Киев: «Вища школа», 1973.
3. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. — М.: Химия, 1984.
4. Гигиенические нормативы химических веществ в окружающей среде / под ред. Ю.А. Рахманина, В.В. Семеновой, А.В. Москвина. — СПб.: НПО «Профессионал», 2007.
5. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. — М.: Химия, 1971.
6. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. К.П. Мищенко и А.А. Равделя. — Л.: Химия, 1972.
7. Грег С., Синг К. Адсорбция. Удельная поверхность. Пористость. — М.: Мир, 1984.
8. Бретшнайдер Б., Курфюрст И. Охрана воздушного бассейна от загрязнений: Пер. с англ. / под ред. А.Ф. Туболькина. — Л.: Химия, 1989.
9. Министерство природных ресурсов РФ. Приказ от 02.12.2002 г. № 786 «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» (в ред. приказа МПР России от 30.07.2003 г. № 663).
10. Вредные химические вещества. Природные органические соединения. Изд. справ.-энциклопедич. типа. Т. 7 / под ред. В.А. Филова, Ю.И. Мусийчука, Б.А. Ивина. — СПб.: Изд-во СПХФА, НПО «Мир и Семья-95», 1998.

Computational Method Improvement for Definition of Waste Hazard Classes

L.N. Grigoriev, Head of Chair, Doctor of Engineering, Professor, Saint-Petersburg State Chemical Pharmaceutical Academy
 O.A. Shanova, Ph.D. of Engineering, Associate Professor, Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers

The improvement practicability of current method for definition of waste hazard classes is shown. The new approach for hazard class calculation is proposed, its application examples are given.

Keywords: waste, hazard category, calculation, hazardous characteristics.

Всероссийская научно-практическая конференция «Современные технологии повышения компетентности работников в сфере безопасности труда»

5–7 сентября 2013 года в г. Кемерово состоится Всероссийская научно-практическая конференция «Современные технологии повышения компетентности работников в сфере безопасности труда».

На конференции будут рассмотрены следующие вопросы:

- профессиональные стандарты — нормативно-методическая база повышения компетентности работников по безопасности труда;
- видеoinформационные технологии повышения компетентности работников;

- современные видеoinформационные технологии непрерывного поддержания необходимого уровня компетентности работников в соответствии с требованиями безопасности труда;
- развитие первичных навыков безопасного труда с применением виртуальных управляемых компьютерных моделей;
- компьютерные технологии персонального контроля компетентности работников.

Контакты: Национальная ассоциация центров охраны труда тел.: (499) 164-39-59, e-mail: info@nacot.ru