

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА, ВЫЗВАННОГО СБРОСОМ СТОЧНЫХ ВОД В ВОДОТОК С УЧЕТОМ САМООЧИЩЕНИЯ ВОДЫ

**О.А. Проскурнин**, к.т.н.,  
с.н.с., НИУ «Украинский НИИ  
Экологических проблем»  
(НИУ «УКРНИИЭП»), старш.  
научн. сотр.,

**О.В. Рыбалова**, к.т.н., доцент,  
Национальный университет  
гражданской защиты Украины,

**С.А. Смирнова**, НИУ  
«Украинский НИИ  
Экологических проблем»  
(НИУ «УКРНИИЭП»), аспирант,  
г. Харьков, Украина

Одной из наиболее масштабных экологических проблем экономически развитых стран является загрязнение водных объектов (ВО) сточными водами (СВ), отводимыми от промышленных, сельскохозяйственных и коммунальных предприятий. В ряде постсоветских стран, в частности, в Казахстане [2], Российской Федерации [3] и Украине [4], с целью недопущения уровня загрязненности ВО выше безопасного разрабатываются и утверждаются нормативы сбросов загрязняющих веществ. Норматив сброса загрязняющего вещества представляет собой предельную массу этого вещества, которую разрешается отводить в ВО в единицу времени.

Разработка норматива сброса включает в себя расчет допустимого состава СВ. В основу расчета положена оценка состояния ВО при фиксированном уровне загрязнения. На первом этапе проверяется допустимость фактического уровня загрязнения. Недостатком существующего подхода к решению данной задачи является неучет вероятностного характера содержания загрязняющих веществ в СВ, поступающих в ВО. В методической ли-

тературе неустойчивость состава СВ оговорена лишь требованием в качестве фактических концентраций веществ рассматривать средние арифметические значения [6, 8, 9]. (При этом украинская методика [6] с целью повышения репрезентативности выборки наблюдений требует перед осреднением концентраций исключать минимальные и максимальные значения.) Однако в целом расчет носит детерминированный характер: определяются допустимые концентрации веществ в СВ, не приводящие к превышению законодательно утвержденных предельно допустимых концентраций (ПДК) веществ в ВО. Таким образом, является актуальным рассматривать вероятностный характер состава СВ, и, следовательно, вероятностный характер параметров состояния ВО в зоне влияния сброса. Это позволит в большей мере учитывать реальный характер процесса загрязнения ВО.

Наиболее перспективным направлением в решении поставленной задачи видится использование механизма оценки экологического риска. Согласно классическому определению, риск – это мера неопределенности, которую можно оценить вероятностным методом [7]. При этом на практике используют различные критерии данной неопределенности. В большинстве случаев под экологическим риском понимают либо вероятность возникновения негативных изменений в окружающей среде, либо математическое ожидание величины ущерба вследствие таковых изменений [14]. Поскольку в задачах нормирования водоотве-

дения рассматривается лишь возможный факт превышения ПДК в воде ВО без анализа его последствий для экосистемы и человека, то целесообразно использовать первое определение экологического риска – рассматривать риск как вероятность нарушения экологических норм качества ВО вследствие сброса СВ.

В работе [12] описывается способ расчета допустимых концентраций веществ в СВ путем оценки экологического риска. Однако описанный в работе механизм основывался на существенном допущении: вероятностное распределение концентрации вещества в СВ подчинено нормальному закону. Но это справедливо лишь в том случае, если на процесс формирования состава СВ влияет большое количество приблизительно равнозначных факторов [13]. В случае же водоотведения это условие может не соблюдаться, и потому необходимо предусмотреть произвольный закон распределения концентраций веществ в СВ. Для этого может быть использован метод Монте-Карло, который ранее применялся для определения техногенного риска при авариях на потенциально опасных предприятиях [1]. В настоящей работе рассматривается применение метода Монте-Карло для оценки вероятности превышения ПДК в ВО ниже выпуска СВ. Задача рассматривается на примере одного загрязняющего вещества с учетом самоочищения природной воды.

В основе метода Монте-Карло лежит следующая математическая закономерность [5]. Если имеется некоторая случайная величина  $x$ , то ее функ-

цию распределения  $F(x)$  также можно рассматривать как случайную величину. В этом случае независимо от закона распределения исходной величины  $x$ , величина  $F(x)$  распределена равномерно на отрезке  $[0, 1]$ . Из этого следует, что возможные значения  $x$  могут найтись из уравнения

$$\int_a^x p(x)d(x) = F(x) = w, \quad (1)$$

где  $a$  – нижняя граница области определения величины  $x$ ;  $p(x)$  – плотность распределения;  $w \in [0, 1]$  – равномерно распределенная случайная величина.

Уравнение (1) каждой реализации случайной величины  $w$   $[0, 1]$  ставит в однозначное соответствие реализацию величины  $x$ , распределенной по заданному закону  $F(x)$ . Это позволяет моделировать поведение случайной величины  $x$  путем генерирования с помощью генератора случайных чисел величины  $w$ .

Применительно к задаче оценки экологического риска данную закономерность можно использовать следующим образом. Если индикатор риска  $I$  представить в виде функции  $I=I(w)$  и генерировать большое количество раз величину  $w_i \in [0, 1], i=1 \div N$ , то по выборке  $\{I_i\}^N = \{I(w_i)\}^N$  можно делать вывод о характере распределения  $I$ . В частности, выборка  $\{I_i\}^N$  позволяет рассчитывать вероятность превышения некоторой заданной величины.

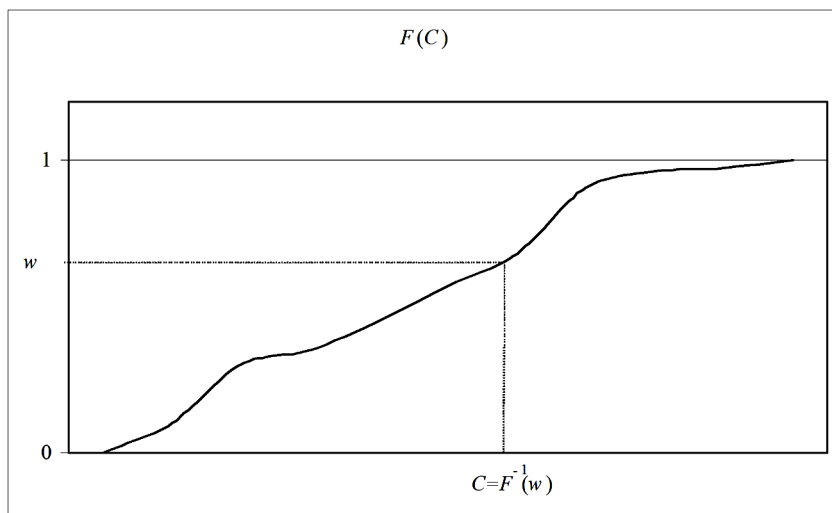
В настоящей задаче индикатором риска служит концентрация вещества в контрольном створе (КС), которая с учетом самоочищения выражается с помощью балансового уравнения:

$$C_{кс} = \frac{Q_{фон} \cdot [(C_{фон} - C_e) \cdot \exp(-k \cdot t_{фон}) + C_e] + q \cdot [(C - C_e) \cdot \exp(-k \cdot t) + C_e]}{Q_{фон} + q}, \quad (2)$$

где  $C_{фон}$ ,  $C$ ,  $C_{кс}$  – концентрация вещества соответственно в фоновом створе (ФС) выше выпуска СВ, в СВ и в КС;  $C_e$  – естественная (без антропогенного вклада) концентрация вещества в воде ВО;  $Q_{фон}$ ,  $q$  – соответственно расход воды в ФС и расход СВ;  $t_{фон}$ ,  $t$  – соответ-

ственно время перемещения воды до КС от ФС и от места сброса СВ.

Концентрация  $C$  в правой части уравнения (2) является случайной величиной, которую можно представить как аргумент функции распределения, т.е. как  $w$ -квантиль (рис.1).



**Рисунок 1. Представление концентрации  $C$  в виде  $w$ -квантили**

В этом случае индикатор риска представляется как функция от  $w$ :

$$C_{кс} = \frac{Q_{фон} \cdot [(C_{фон} - C_e) \cdot \exp(-k \cdot t_{фон}) + C_e] + q \cdot [(C - C_e) \cdot \exp(-k \cdot t) + C_e]}{Q_{фон} + q}, \quad (3)$$

где  $F^{-1}$  – функция, обратная функции распределения  $F(C)$ .

В практических задачах функция  $F(C)$  может быть построена эмпирически по данным натурных наблюдений с последующим сглаживанием.

Ниже приведен демонстрационный пример, который составлен на основе разработанного и утвержденного норматива сброса городских СВ г. Алушты в реку Улу-Узень (относящуюся к малым рекам Крыма) [11]. В качестве показателя загрязнения рассматривается азот аммонийный. В табл. 1 приведены данные о содержа-

нии указанного вещества в СВ после их очистки на биологических очистных сооружениях.

Расчетные условия для установления допустимой концентрации азота аммонийного в СВ были приняты следующие [11]:

- расход воды в ФС  $Q_{фон} = 0,03 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- расход СВ  $q = 0,02 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- концентрация азота аммонийного в ФС  $C_{фон} = 0,05 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ;
- природная концентрация азота аммонийного в ВО  $C_e = 0,02 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ;
- ПДК азота аммонийного (на момент разработки нормативов)  $0,39 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ;
- коэффициент неконсервативности азота аммонийного  $k = 0,069 \text{ сут}^{-1}$ ;

Таблица 1. Содержание азота аммонийного в городских СВ г. Алушты за 2009 г.

Месяц года	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Концентрация С, мг/дм <sup>3</sup>	0,86	0,79	0,62	1,20	0,65	0,62	0,52	0,78	0,61	0,74	0,77	0,78

В работе [11] расчет допустимой концентрации был проведен в соответствии с действующей методикой [6] без учета вероятностного характера содержания вещества в СВ и без оценки экологического риска. В качестве допустимой концентрации была принята расчет-

ная фактическая концентрация (средняя величина без учета максимального и минимального значений), равная  $C = 0,720$  мг/дм<sup>3</sup>. Принятие фактической концентрации в качестве допустимой объясняется тем, что данная концентрация не приводит к превышению ПДК в КС:

$$C_{кс} = \frac{Q_{фон} \cdot [(C_{фон} - C_e) \cdot \exp(-k \cdot t_{фон}) + C_e] + q \cdot [(F^{-1}(w) - C_e) \cdot \exp(-k \cdot t) + C_e]}{Q_{фон} + q} =$$

$$= \frac{0,03 \cdot [(0,05 - 0,02) \cdot \exp(-0,069 \cdot 0,024) + 0,02]}{0,03 + 0,02} +$$

$$+ \frac{0,02 \cdot [(0,72 - 0,02) \cdot \exp(-0,069 \cdot 0,012) + 0,02]}{0,03 + 0,02} = 0,3177 \text{ мг} / \text{дм}^3 < \text{ПДК} = 0,39 \text{ мг} / \text{дм}^3 \quad (4)$$

С целью оценки экологического риска по данным табл. 1 была построена эмпирическая функция распределения  $F(C)$  с последующим линейным сглаживанием (рис. 2). Уровень допустимости риска принят равным 0,05.

Результат расчета случайной величины  $C_{кс}$  при  $N=10000$  следующий: в 932007 случаях имеет место  $C_{кс} \leq \text{ПДК}$ ; в остальных случаях  $C_{кс} > \text{ПДК}$ . Таким образом, вероятность того, что концентрация азота аммонийного в КС превысит ПДК, составляет  $(10000-932007)/10000 \approx 0,09$ . Следовательно, величина рассматриваемого экологического риска превышает принятый допустимый уровень. Таким образом, рассчитанную согласно действующей методике допустимую концентрацию азота аммонийного в сточной воде нельзя считать приемлемой с позиции экологического риска.

На рис. 3 представлена гистограмма распределения величины  $C_{кс}$ .

На рис. 3 представлена гистограмма распределения величины  $C_{кс}$ .

**Вывод.** Предложенный алгоритм оценки экологического риска, в основу которого по-

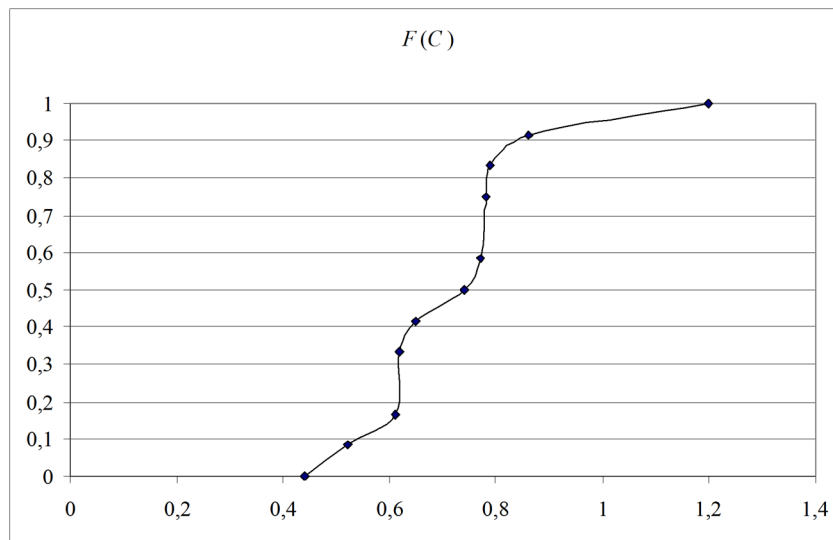


Рисунок 2. Эмпирическая функция вероятностного распределения концентрации С

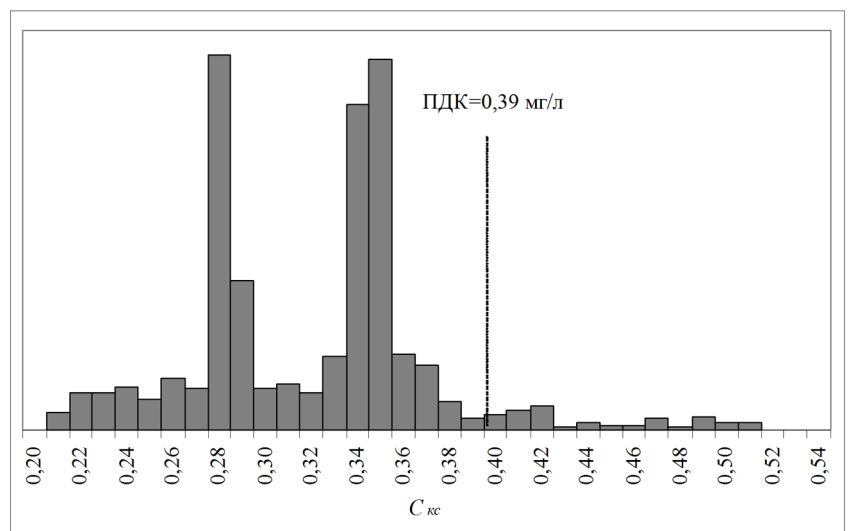


Рисунок 3. Гистограмма распределения величины  $C_{кс}$

ложен метод Монте-Карло, позволяет рассчитать вероятность превышения допустимого уровня концентрации вещества в ВО в зоне влияния выпуска СВ. Поскольку в ходе рассуждений закон распределения концентрации вещества в СВ принимался произвольный, данный метод оценки риска можно отнести к непараметри-

ческим.

Следует заметить, что принятие в качестве допустимого уровня загрязненности величины ПДК не является принципиальным с точки зрения алгоритма расчета. В качестве допустимого уровня загрязненности может приниматься экологический норматив для водных объектов, который опре-

деляется как верхняя граница третьей категории качества воды согласно классификации качества поверхностных вод [10].

Предметом дальнейших исследований является усложнение задачи в плане оценки влияния сброса СВ непосредственно на здоровье человека.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бойко Т.В. Определение техногенного риска на основе метода Монте-Карло / Т.В. Бойко, И.Р. Батурина // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – № 2/11 – 2013 – С. 4-6.
2. Водный кодекс республики Казахстан // zakon.kz/vodnyi\_kodex.html.
3. Водный кодекс РФ // zakonrf.info/vodniy\_kodeks/.
4. Водный кодекс Украины. К., Издательский Дом “Ін Юре”, 2004. – 138 с.
5. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы. – М.: Наука, 1975. – 472 с.
6. Инструкция о порядке разработки и утверждения предельно-допустимых сбросов (ПДС) веществ в водные объекты с возвратными водами. – Харьков: УкрНЦОВ, 1994. – 79 с.
7. Лисиченко Г.В., Хмель Г.А., Барбашев С.В. Методология оценивания экологических рисков / Г.В. Лисиченко, Г.А. Хмель, С.В. Барбашев – Одесса: Астропринт, 2011. – 368 с.
8. Методика определения нормативов эмиссий в окружающую среду // <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V070004726>
9. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей // <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=21179>.
10. Методика экологической оценки качества поверхностных вод по соответствующим категориям / В.Д. Романенко, В.М. Жукинский, О.П. Оксик . – К.: Символ-Т, 1998. – 28 с.
11. Отчет о НИР «Разработка норм ПДС нормированных веществ со сточными водами КРП “ППВКХ г.Алушты” в водные объекты». УкрНИИЭП, Харьков, 2009 – 63 с.
12. Проскурнин О.А. Нормирование состава сточных вод путем оценки экологического риска / О.А. Проскурнин // Вода и экология: проблемы и решения. – С.Пб., ООО «Борвик полиграфия», 2013. – № 4. – С. 65–73.
13. Шмойлова Р.А., Минашкин В.Г., Садовникова Н.А. Практикум по теории статистики. – 3-е изд. – М.: Финансы и статистика, 2011. – 416 с.
14. Khigt F. Uncertainty and Profit. – Boston: Houghton Mifflin Co, 1921. – P. 210 – 235.

## В АКТАУ ЗАПУЩЕН ЗАВОД СТЕКЛОВОЛОКНИСТЫХ ТРУБ

На территории специальной экономической зоны «Морпорт Актау» состоялся запуск нового завода по выпуску стекловолоконных труб высокого давления ТОО «KazTrub-Industries».

Общая стоимость проекта 377 млн. тенге. В год новая технологическая линия будет производить 20 километров труб. Стекловолоконные трубы благодаря особым химическим и физико-механическим свойствам принципиально отличаются от обычных металлических и полиэтиленовых труб. Прежде всего, это высокая коррозионная стойкость и большой срок службы, соответственно. Они идеально подходят для транспортировки воды любого качества, а также нефти, химикатов и промышленных отходов. Кроме того, трубы обладают химическим сопротивлением, типичным для пластика, коррозионной стойкостью, свойственной чугуну, и тепломеханическими свойствами, присущими стали. Они незаменимы там, где требуются высокие эксплуатационные параметры, связанные с работой в условиях высокого давления и осевых нагрузок.

Поставлять свою продукцию новый завод планирует компаниям Западного Казахстана, это позволит увеличить объем местного содержания. Новое предприятие предоставило работу 80 жителям Мангыстауской области.

Источник: [aktau-business.com](http://aktau-business.com)