

УДК 504.7.064.3:614(083,74)

Проскурнин О. А.,*НИУ «Украинский НИИ экологических проблем»,
(ул. Бакулина, 6, Харьков, 61166, Украина; e-mail: morlabkr@ukr.net)***Комаристая Б.Н., Бендюг В.И.,***Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского» (НТУУ «КПИ им. И. Сикорского»),
(просп. Победы, 37, Киев, 03056, Украина)***Демьянова О.О.***Частный предприниматель, г. Херсон*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПРИ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОДУКТА НА СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

В статье рассмотрен один из аспектов влияния жизненного цикла продукта на окружающую природную среду – его влияние на водные объекты на стадии производства продукта. Предложен статистический метод определения риска перехода рассматриваемого влияния на качественно иной (более худший) уровень. Приведены два подхода к решению задачи: путем построения эмпирических плотностей распределения показателей состава сточных вод, и методом Монте-Карло в случае невозможности идентификации закона вероятностного распределения рассматриваемых случайных величин.

Ключевые слова: жизненный цикл продукта, сточные воды, комплексный показатель, экологический риск, метод Монте-Карло.

В соответствии с концепцией устойчивого развития страны отечественные предприятия должны внедрять стабильно функционирующие, высокотехнические, экологически безопасные технологии, способные обеспечивать выпуск продукции, удовлетворяющей требованиям международных стандартов. Для рационального выбора технологий необходим учет всех стадий жизненного цикла продукта (ЖЦП), включая использование ресурсов, изготовление продукта, ее потребление и утилизацию [1]. Негативное влияние производства и потребления продукции на окружающую природную среду (ОПС) повышает актуальность разработки методов, направленных на минимизацию его последствий [2].

Традиционные подходы к оценке влияния ЖЦП на ОПС были заложены во второй половине прошлого века. Они сводились к исследованию загрязнения отдельных составляющих природной среды на разных этапах ЖЦП. При нынешнем разнообразии материалов, источников и видов энергии, технологий, транспортировки и утилизации такой ограниченный подход не позволяет обеспечить экологическую безопасность всех стадий ЖЦП на должном уровне [3]. В связи с этим требуется разработать новые или усовершенствовать используемые методы оценки комплексного

воздействия продукта на всех стадиях его жизненного цикла. Актуальность решения этой задачи обусловлена стремлением Украины перейти на европейскую систему стандартизации с применением экологического менеджмента и аудита.

Изучению комплексного влияния всех стадий ЖЦП на ОПС посвящена работа [4]. На рис. 1 представлена верхняя часть иерархии факторов, определяющих окончательную комплексную оценку влияния ЖЦП на ОПС.

Каждый из элементов иерархии (за исключением вершинного) характеризуется количественным показателем влияния на ОПС. Затем по значению количественного показателя производится 5-балльная качественная оценка (см. ниже). Недостатком существующего подхода при этом является неучет вероятностного характера значений количественных показателей, который вызван вероятностной природой изначальных негативных факторов воздействия. В частности, это относится к показателю влияния ЖЦП на состояние водных объектов (ВО) на стадии производства. Данный недостаток не позволяет рассчитать риск перехода качественного показателя на более опасный уровень [5]. Целью

настоящей статьи является оценка экологического риска, связанного с влиянием ЖЦП на состояние ВО на стадии производства.

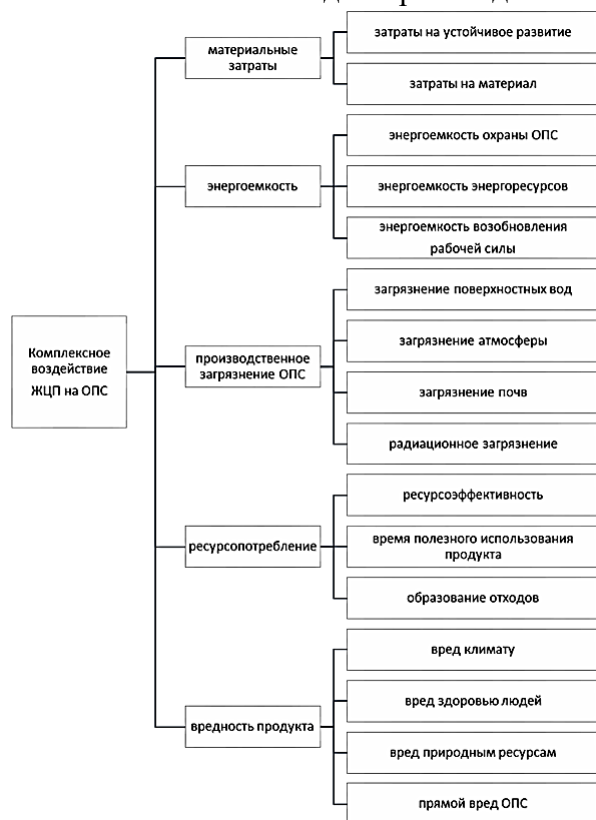


Рис. 1. Иерархическая структура факторов, определяющих комплексную оценку влияния ЖЦП на ОПС

Для оценки загрязнения ВО сточными водами (СВ) стационарных промышленных объектов в течение этапа изготовления продукта разработан следующий индекс [4]:

$$J = \frac{1}{2 \cdot n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{C_i^{год} \cdot V_i}{ПДС_i} + \frac{1}{24} \cdot \sum_{j=1}^n \frac{T_j}{T_{\phi j} + 3} \quad (1)$$

где J – индекс загрязнения ВО; $ПДС_i$ – предельно-допустимый сброс i -го вещества в ВО, т/год; n – количество загрязняющих веществ в СВ; V – годовой расход СВ, м³/год; $C_i^{год}$ – среднегодовая концентрация i -го вещества в СВ, т/м³; $T_j, T_{\phi j}$ – фактическая среднемесячная температура соответственно в СВ и в ВО за j -й месяц, °С.

В табл. 1 приведены качественные показатели уровня загрязнения.

Индекс J является не только комплексным показателем воздействия производства продукта на ВО, поскольку учиты-

вает факторы различной природы, но и интегральным, поскольку учитывает негативное воздействие в течение достаточно большого временного промежутка. С одной стороны, это говорит в пользу информационной содержательности индекса J . Однако, при этом не учитывается возможное повышенное воздействие на ОПС в небольшие промежутки времени. Последнее видится серьезным недостатком при оценке экологической безопасности производства.

Таблица 1 – Соответствие количественных и качественных показателей уровня воздействия ЖЦП на ОПС

Количественный показатель	Качественный показатель
$J < 1$	эталонный
$1 \leq J < 2$	хороший
$2 \leq J < 4$	удовлетворительный
$4 \leq J < 6$	неудовлетворительный
$6 \leq J$	критический

Выходом из ситуации может быть замена оценки воздействия по формуле (1) оценкой экологического риска. Индикатором риска в этом случае должен быть аналог величины J для периода в одни сутки:

$$I = \frac{1}{2 \cdot n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot q_i}{M_i} + \frac{1}{2} \cdot \frac{T}{T_{\phi} + 3} \quad (2)$$

де I – комплексный показатель среднесуточного воздействия производства продукта на состояние ВО; M_i – суточная допустимая к отведению в ВО масса i -го вещества, г/сут; q – суточный расход СВ, м³/сут; C_i – среднесуточная концентрация i -го вещества в СВ, г/м³; T, T_{ϕ} – фактическая среднесуточная температура соответственно в СВ и в ВО, °С.

При этом качественная оценка суточного воздействия на ОПС должна производиться также по табл. 1.

Все свойства СВ, определяемые химическими, биологическими и физическими показателями качества, носят переменный случайный, в силу чего их целесообразно рассматривать как случайные величины. Параметры вероятностного распределения величин, входящих в правую

часть формулы (2), определяют в конечном счете закон распределения показателя I .

В том случае, если расходы СВ также носят переменный характер, то в качестве случайных величин следует рассматривать не отдельно концентрации и расходы, а массы веществ, отводимых в ВО в единицу времени. Однако, для изложения основной идеи это не является принципиальным, и в настоящей статье предполагается постоянный расход СВ.

В качестве экологического риска целесообразно принять вероятность перехода величины I в следующую группу согласно табл. 1. Например, если $I = 1,5$, т.е. уровень воздействия оценивается как «хороший», то значение экологического риска будет определяться как

$$R = P(I \geq 2). \quad (3)$$

В случае, если законы распределения каждой из характеристик СВ установлены, то, с учетом линейной зависимости I от концентраций C_i и температуры T , плотность распределения величины I можно найти, последовательно применяя формулу свертки [6]:

$$f_{a+b}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_a(y) \cdot f_b(x-y) \cdot d(y), \quad (4)$$

где f_a, f_b – плотности распределения независимых случайных величин a и b ; f_{a+b} – плотности распределения суммы $a + b$.

В общем случае закон вероятностного распределения показателей f может быть не установлен в силу малого объема выборки наблюдений. Поэтому необходимо предусмотреть произвольный закон распределения случайных величин. Для этого может быть использован метод Монте-Карло, относящийся к группе непараметрических методов статистического анализа, т.е. методов, которые не требуют информации о параметрах распределения рассматриваемых случайных величин. В экологических задачах ранее метод Монте-Карло применялся для определения техногенного риска при авариях на потенциально опасных предприятиях [7], а также при оценке вероятности превышения допустимых концентраций в воде ВО в зоне действия сброса СВ [8].

В основе метода Монте-Карло лежит следующая математическая закономерность [9]. Если имеется некоторая случайная величина x , то ее функцию 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 $[0, 1]$.

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 непревышения некоторой заданной величины.

В рассматриваемой задаче, как отмечалось выше, индикатором риска служит комплексный показатель воздействия сброса СВ на ВО, выражаемый формулой (2). По выборке натуральных наблюдений за среднесуточными концентрациями $\{C_i\}$ можно построить эмпирическую функцию распределения $F(C_i)$, и затем концентрации C_i представить как w -квантиль, т.е. как аргумент функции распределения при $F(C_i) = w$ (рис. 2).

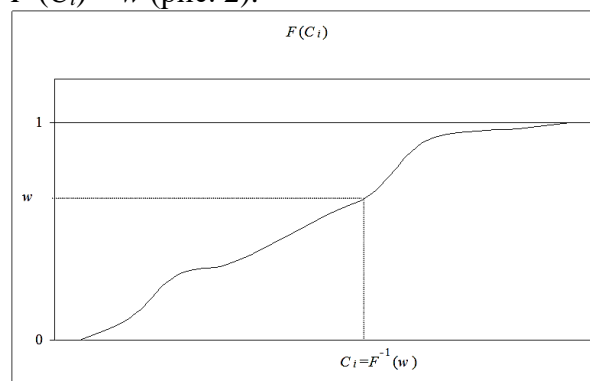


Рис. 2. Представление концентрации C_i в виде w -квантили

Аналогично w -квантилью можно представить температуру СВ T .

Таким образом, на основе ряда натуральных наблюдений $\{C_i\}$ и $\{T\}$ можно численно построить функции $C_i = C_i(w)$ и $T =$

$T(w)$ (как вариант, в виде линейных сплайнов). Далее, задавая многократно равномерно распределенную случайную величину $w \in [0, 1]$, получаем распределение комплексного показателя $I(w)$. По количеству превышений $I(w) > I_{cp}$, где I_{cp} – граничное значение, начиная с которого степень воздействия на ВО переходит на более опасную ступень (см. табл. 1), рассчитывается величина соответствующего экологического риска R . Алгоритм расчета представлен на рис. 3.

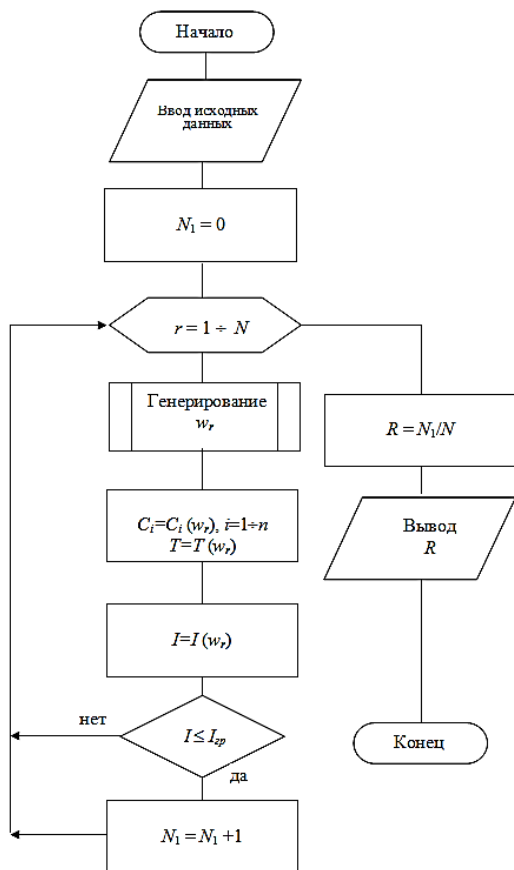


Рис. 3. Алгоритм оценки экологического риска методом Монте-Карло

Вывод. Предложенный подход к оценке влияния ЖЦП на состояние ВО на этапе производства продукта путем оценки экологического учитывает вероятностный характер факторов воздействия. В силу этого, предложенный подход более способствует повышению экологической безопасности ЖЦП.

Направлением дальнейших исследований является разработка предложенных

касательно допустимого уровня экологического риска в задачах оценки ЖЦП на ОПС.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Рио-де-Жанейрская декларация по окружающей среде и развитию, Рио-де Жанейро, 1992: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodecl.shtml.
2. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies [Текст]. — 3-rd. ed. — New York: UN, 2007. — 94 p.
3. Бендюг В.І. Екологічний контроль у життєвому циклі продукту [Текст] / В.І. Бендюг, Б.М. Комариста // V Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні шляхи модернізації базових галузей промисловості, енерго- і ресурсозбереження, охорона навколишнього середовища», 23-24 березня 2016 р., Харків. – С. 89-91.
4. Комариста Б. М. Моделювання та розрахунок індикаторів сталого розвитку для технологічних систем: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Б. М. Комариста. — Суми, 2014. — 23 с.
5. 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.
6. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
7. Бойко Т.В. Определение техногенного риска на основе метода Монте-Карло / Т.В. Бойко, И.Р. Батуринская // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – № 2/11 – 2013 – С. 4-6.
8. Проскурнин О.А. Использование метода Монте-Карло для оценки экологического риска, вызванного сбросом сточных вод в водоток, с учетом самоочищения воды/ О.А. Проскурнин, О.В. Рыбалова, С.А. Смирнова / Водные ресурсы и водопользование – № 1 (132) – 2015 – С. 26-32.
9. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы. – М.: Наука, 1975. – 472 с.

Проскурнін О. А., Комариста Б.М., Бендюг В.І., Дем'янова О.О. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ПРИ ОЦІНЮВАННІ ВПЛИВУ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОДУКТУ НА СТАН ДОВКІЛЛЯ. У статті розглянуто один з аспектів впливу на навколишнє середовище - його вплив на поверхневі води на стадії виробництва продукту. Запропоновано статистичний метод визначення ризику переходу розглянутого впливу на якісно інший (більш гірший) рівень. Наведено два

підходи до вирішення завдання: шляхом побудови емпіричних щільностей розподілу показників складу стічних вод, і методом Монте-Карло в разі неможливості ідентифікації закону ймовірнісного розподілу розглянутих випадкових величин.

Ключові слова: життєвий цикл продукту, стічні води, комплексний показник, екологічний ризик, метод Монте-Карло.

Proskurnin O., Komarysta B., Bendug V., Demjanova O. DETERMINING THE ECOLOGICAL RISK AT THE ESTIMATION OF PRODUCT LIFE CYCLE IMPACT ON THE WATERBODY.

The article reviews one aspect of the product life cycle impact on the environment - the impact on surface waters at the production stage of the product. A statistical method for determining the risk of Influence transition to a different (worse) level. There are two approaches to the problem, by constructing empirical density distributions of wastewater composition and Monte Carlo method in failing to identification law of a probability distribution of random variables considered.

Keywords: life cycle of the product, wastewater, comprehensive indicator, environmental risk, Monte Carlo method.

Анищенко Л. Я, Полозенцева В. А.

*НИУ «Український научно-дослідницький інститут екологічних проблем»,
(ул. Бакуліна, 6, Харків, 61166, Україна; e-mail: l_anishenko@ukr.net, polozenceva2402@gmail.com)*

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАКОПИТЕЛЕЙ ШАХТНЫХ ВОД НА КАЧЕСТВО ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
(НА ПРИМЕРЕ р. САМАРА)**

Выполнен анализ размещения накопителей шахтных вод в бассейне р. Самара. Предложено проводить комплексную оценку воздействия накопителей сточных вод на качество воды реки на основе определения временной динамики объёмов сбрасываемых загрязняющих веществ. Оценка выполнялась с применением методов описательной статистики. Выявлены участки р. Самара, на которые оказывается влияние накопителей шахтных вод.

Ключевые слова: накопитель, шахтная вода, минерализация, сброс загрязняющих веществ.

Введение. Проблема накопления, хранения и утилизации промышленных отходов и сточных вод является одной из наиболее актуальных экологических проблем на сегодняшний день.

Одним из радикальных приемов сохранения водных ресурсов в надлежащем для водопользования состоянии является локализация сточных вод в накопителях. Они нашли широкое применение в технологических процессах промышленных комплексов [1].

Основные направления воздействий накопителей могут прослеживаться на все компоненты природно-техногенного комплекса: природная среда (воздух, вода, почва); техногенная среда (промышленные и жилищно-гражданские объекты); социальная среда (жизнедеятельность и здоровье населения, зоны рекреации) [2].

В настоящее время большинство накопителей сточных вод и промышленных отходов, расположенных на территории Укра-

ины имеют высокую степень износа, морально устарело оборудование, отсутствует текущий и капитальный ремонт [3].

На территории Украины большинство накопителей построены и эксплуатируются в бассейнах Днепра (Днепропетровская, Запорожская и Донецкая обл.) и Северского Донца (Луганская и Донецкая обл.) [2]. Одной из наиболее нагруженных рек бассейна Днепра по размещению действующих предприятий (имеющих накопители), которые осуществляют сброс сточных вод, является река Самара.

Бассейн р. Самара относится к территории с «критическим» состоянием природных сред (атмосфера, почвы, поверхностные и грунтовые воды), т.е. концентрации загрязняющих веществ превышают ПДК [4].

Основное содержание статьи. В бассейне реки расположено 10 шахт, предприятия ОАО «Павлоградуголь» (ДТЭК «Павлоградуголь») (рис. 1). Предприятие вхо-