

5. Povodzinskiy, V. M., Rezenchuk, O. E., Shibetskiy, V. Y. (2011). Classification and analysis of fermenters with air mixing. Scientific news NTUU "KPI", 3, 79–84.

6. Barabash, V. M., Begichev, V. I., Belevitsky, M. A., Smirnov, N. N. (2007). Problems and tendencies of development of the theory and practice of mixing liquid media. Theoretical fundamentals of chemical technology, 41 (2), 140–147.

7. Guidance Document RD 26.260.008-92 (1993). Fermenter for production of microbiological synthesis. Methods of calculating the basic structural elements and modes of operation. Official publication.

8. Aiba, S. (1975). Biochemical technology and equipment. Ed. and with an introduction by GK Scriabin, PI Nikolayev. Moscow: Food Industry, 288.

9. Stabnikov, V. N., Loboda, P. P., Povodzinskiy, V. M. (1984). Features of the calculation fermenters with vibromixing device. Chem. and Petr. engineering, 5, 26–28.

10. Ruzhinska, L. I., Povodzinskiy, V. M., Cherednik, E. M., Morozov, E. V. (2013). Mathematical modeling of mixing by culturing biological agents that are sensitive to shear stress. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1/4 (61), 27–30. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/9148/7931>

11. Povodzinskiy, V. M., Ruzhinska, L. I., Shibetskiy, V. Y. (2010). Modelling hydrodynamics rolernoho fermenter in biotechnology vaccines. Scientific Herald of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology, 12, 2 (44), Part 4, 76–81.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Мельник В. М.
Дата надходження рукопису 27.04.2015*

Закоморний Дмитро Миколайович, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

E-mail: zakomorniy@gmail.com

Поводзинський Вадим Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

E-mail: vpovodzinskiy@mail.ru

Шибетький Владислав Юрійович, асистент, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

E-mail: sjavva@mail.ru

УДК 504.4.054

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.42379

РАСЧЕТ ИНДЕКСА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В РАМКАХ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОДУКЦИИ

© О. А. Проскурнин, Б. Н. Комаристая, С. А. Смирнова

Обосновывается целесообразность оценки комплексного влияния жизненного цикла продукции на окружающую среду. В качестве примера в статье рассматривается загрязнение поверхностных вод на этапе производства продукции. Предлагается механизм ранжирования показателей загрязнения поверхностных вод по степени их значимости. Приводится алгоритм статистической проверки согласованности экспертных суждений при установлении весовых коэффициентов для показателей загрязнения, основанный на использовании коэффициента конкордации

Ключевые слова: жизненный цикл продукции, окружающая среда, поверхностные воды, показатель загрязнения, весовой коэффициент, экспертиза, коэффициент конкордации

The assessment feasibility of the combined effect of the product life cycle on the environment is grounded. As an example, the pollution of surface waters at the production stage is considered in the article. A mechanism of ranking indicators of surface water pollution according to their importance is proposed. An algorithm for checking the consistency of the statistical expert judgment in determining weight coefficient for the indicators of pollution, based on the use of the concordance coefficient, is given

Keywords: product life cycle, environment, surface water, pollution index, weight coefficient, expertise, concordance coefficient

1. Введение

Существующий в настоящее время комплекс глобальных экологических проблем является прежде всего результатом осуществления человечеством процессов жизнедеятельности без учета возможностей биосферы компенсировать антропогенное влияние, а также результатом выработки стратегии развития исходя из социально-экономических приоритетов [1]. Нарастание глобальных экологических проблем, возникновение локальных кризисов и катастроф ан-

тропогенного происхождения, возникновение угрозы для человеческого выживания привели к необходимости пересмотра системы взаимоотношений «природа-человек», поиску путей их гармонизации и выработке механизмов согласования путей развития с объективными законами существования природы и общества [2].

Развитие производства и рост масштабов хозяйственной деятельности, в ходе которых человек использует все большее количество природных ре-

сурсов, предопределяют тотальное усиление антропогенной нагрузки на окружающую среду (ОС) и нарушение равновесия в окружающей природной среде [3]. А это, в свою очередь, приводит к заострению социально-экономических проблем. Одновременно с исчерпанием запасов невозполнимых сырьевых и энергетических ресурсов усиливается загрязнение окружающей среды, в частности, водных ресурсов и атмосферного воздуха, уменьшаются площади лесов и плодородных земель, исчезают отдельные виды растений и животных. Все это в конечном итоге нарушает естественно ресурсный потенциал общественного производства и негативно отражается на состоянии ОС и здоровье человека.

В соответствии с концепцией устойчивого развития предприятия должны стремиться к внедрению стабильно функционирующих высокотехнических, экологически безопасных технологий, способных обеспечивать выпуск продукции, которая будет удовлетворять требованиям международных стандартов по учету всех стадий жизненного цикла продукции (ЖЦП), в том числе стадий использования ресурсов, производства, потребления и утилизации продукции [1].

Важность проблемы охраны окружающей природной среды и возможных негативных последствий, связанных с изготовлением и потреблением продукции, повышает интерес к разработке методов, направленных на снижение данных последствий.

Кроме того, актуальность такой работы обусловлена переходом на европейские экологические стандарты в рамках существующей общегосударственной политики, направленной на евроинтеграцию.

2. Постановка проблемы

Традиционные подходы к оценке влияния продукции на ОС были заложены во второй половине 20-го века и сводились к исследованию загрязнения отдельных составляющих природной среды на отдельных этапах ЖЦП. Однако в настоящее время, при существующем разнообразии материалов, источников и видов энергии, технологий производства, транспортировки и утилизации, такой подход не обеспечивает экологическую безопасность на должном уровне [4]. В силу этого является актуальным разработка и совершенствование методов оценки комплексного воздействия продукта на ОС на всех стадиях его жизненного цикла.

Целью данной работы является выработка предложений по механизму экспертного оценивания важности составляющих комплексной оценки влияния этапов ЖЦП на ОС. В качестве примера в статье рассматривается загрязнение поверхностных вод на этапе производства продукции.

3. Литературный обзор

Разработке экологических показателей в концепции устойчивого развития посвящены труды многих ученых, в частности, украинских: Г. О. Статюхи, Т. В. Бойко, И. Б. Абрамова, В. И. Бендюга, С. П. Иванюти, В. В. Трофимовича, О. М. Трофимчука, В. М. Удод [5]. В их работах раскрыт преимущественно вопрос оценивания показателей экологиче-

ской безопасности и рисков на разных этапах функционирования промышленных объектов, но не рассматривается отдельно характеристики и свойства продукта и его влияние на окружающую природную среду в течение всех этапов его жизненного цикла. Проблемами устойчивого развития, а также оценкой влияния ЖЦП занимались такие ученые как М. З. Згуровский, Г. О. Статюха, В. И. Бендюг, И. М. Джигирей, И. Б. Скворцов, Б. В. Мисник, О. М. Миночкина, Н. М. Ершова, Х. В. Горбова, Л. П. Гринаш [5]. В их работах основное внимание уделено проблемам глобального и регионального устойчивого развития, и проводятся попытки оценки ЖЦП с экономической точки зрения, однако при этом недостаточно внимания уделяется экологическому аспекту [3, 5].

Изучение комплексного влияния всех стадий ЖЦП на ОС на сегодняшний день находится на ранней стадии разработки. Одним из примеров данного исследования является работа [5]. В указанной работе предлагалось в качестве комплексной оценки влияния ЖЦП на ОС рассматривать среднее геометрическое пяти унитарных индексов: индекса устойчивого развития, индекса энергоёмкости продукции, индекса производственного загрязнения, индекса эффективности использования природных ресурсов и индекса вредности продукта. Все пять унитарных индексов (каждый из которых в свою очередь также является комплексным показателем) представляют собой безразмерные величины в интервале от 0 до 1 [5–7]. Однако при этом в работе не предусматривалось ранжирование по степени значимости как указанных пяти индексов, так и тех показателей, по которым эти индексы рассчитываются по приведенным в [5] методикам.

Унитарный индекс загрязнения поверхностных вод I , согласно [5, 8], выражается формулой:

$$I = \exp(-\exp(0.8712 - 0.3952 \cdot J)), \quad (1)$$

где J – индикатор загрязнения, равный

$$J = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{M_i}{ПДС_i} + \frac{1}{12 \cdot (T_{max} + 3)} \cdot \sum_{i=1}^{12} T_i, \quad (2)$$

где n – количество рассматриваемых биохимических ПЗ; M_i – фактическая масса сброса i -го вещества, т/год; ПДС $_i$ – предельно допустимый сброс – допустимая масса сброса i -го вещества в водный объект (ВО), т/год; T_i – фактическая среднемесячная температура СВ за i -й месяц; T_{max} – средняя температура воды ВО за летний период.

Вывод об оценке уровня загрязнения ВО делается по шкале, приведенной в табл. 1.

Таблица 1

Шкала для оценки уровня загрязнения ВО

Значение индекса I	Уровень загрязнения
$0 \leq I < 0,2$	незначительный
$0,2 \leq I < 0,37$	слабый
$0,37 \leq I < 0,63$	средний
$0,63 \leq I < 0,8$	сильный
$0,8 \leq I \leq 1$	очень сильный

Однако в каждой конкретной ситуации превышение норматива качества воды по каждому ПЗ не одинаково по своим негативным последствиям. Например, если по каким-либо показателям природная вода является чистой, то превышение ПДС по данному показателю менее пагубно для ВО, чем превышение ПДС в тех случаях, когда это влечет нарушение требуемых норм качества природной воды. Это обуславливает целесообразность ранжирования ПЗ по степени их негативного воздействия на ВО.

4. Ранжирование показателей загрязнения по степени негативного воздействия

С целью ранжирования ПЗ предлагается формулу (2) усложнить введением весовых коэффициентов, отражающих степень нежелательности загрязнения ВО по соответствующим показателям:

$$J = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N w_i \frac{M_i}{ПДС_i} + \frac{w_{N+1}}{12} \cdot \sum_{i=1}^{12} \frac{T_i}{ДТ_i}, \quad (3)$$

где $w_i, i=1 \div N+1$, – весовые коэффициенты, характеризующие значимость соответствующих ПЗ.

Формализованный подход для установления весовых коэффициентов на сегодняшний день отсутствует. В силу этого ранжирование ПЗ предлагается осуществлять экспертным путем. Результатом экспертизы должны стать весовые коэффициенты, характеризующие важность каждого ПЗ с позиции конкретной экологической ситуации. Для этого назначается группа специалистов-экспертов, в задачу которых входит:

1) интуитивно-логический анализ значимости каждого ПЗ с позиции антропогенной загрязненности ВО, природного (естественного) качества воды ВО, стоимости очистки СВ по рассматриваемому ПЗ, наличие по близости сброса теплообменных вод (для оценки важности температурного превышения) и т. д.;

2) назначение количественных характеристик (рангов) значимости каждого ПЗ.

Количественные характеристики значимости ПЗ могут назначаться по 4-х бальной системе в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Соответствие качественных и количественных характеристик значимости ПЗ

Качественная характеристика значимости ПЗ	Количественная характеристика значимости ПЗ (ранг)
наиболее важный	4
очень важный	3
важный	2
не очень важный	1

Для дальнейших расчетов назначенные экспертами количественные характеристики (ранги) пересчитываются в весовые коэффициенты путем осреднения

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{m} \quad (4)$$

и последующего нормирования

$$w_k = \frac{Z_k}{\sum_{i=1}^n Z_i}, \quad (5)$$

где m – количество экспертов.

Задача установления весовых коэффициентов может считаться достаточно выполненной только при условии хорошей согласованности суждений отдельных специалистов-экспертов. Одним из способов оценивания согласованности экспертов является статистический метод с использованием коэффициента конкордации. Суть метода в общем виде заключается в следующем [9]. Пусть имеются n неких объектов, подлежащих ранжированию, и m экспертов. Каждый j -й эксперт производит самостоятельно ранжирование объектов по степени их важности. В результате получается матрица рангов $\{x_{ij}\}$, где $x_{ij} \in \{1, \dots, n\}$.

В том случае, если согласованность суждений «идеальна», т.е. все суждения совпадают, то

$$x_{i1}=x_{i2}=\dots=x_{im}, i=1 \div n.$$

Если же ситуация противоположная, т.е. суждения абсолютно несогласованны, то для каждого объекта i значение x_{ij} – случайная дискретная равномерно распределенная величина в интервале от 1 до n с математическим ожиданием $(n+1)/2$. А математическое ожидание суммы рангов, присвоенных произвольному объекту всеми экспертами, равно:

$$M\left(\sum_{j=1}^m x_{ij}\right) = \sum_{j=1}^m M(x_{ij}) = \frac{1}{2} \cdot (n+1) \cdot m. \quad (6)$$

Достоверность суждений экспертов определяется степенью отклонения рассчитанной суммы $\sum_{j=1}^m x_{ij}$ от правой части выражения (6). Контрольной величиной при проверке гипотезы о согласованности экспертных суждений является коэффициент конкордации [9, 10], равный

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)}, \quad (7)$$

где S – величина, которая рассчитывается по формуле

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m x_{ij} - \frac{1}{2} m \cdot (n+1) \right)^2. \quad (8)$$

Значимость величины W при заданном уровне надежности p проверяется по χ^2 -критерию [10].

Однако вышеописанный механизм статистической оценки согласованности экспертных суждений предполагает, что каждому объекту присваивается свой уникальный ранг, т.е. количество объектов совпадает с количеством возможных рангов. Но при ранжировании ПЗ такое количество рангов является излишним. Если количество рангов равно R ($R < n$), то математическим ожиданием величины x_{ij} будет значение $(R+1)/2$, и величина S в этом случае будет равна

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m x_{ij} - \frac{1}{2} m \cdot (R+1) \right)^2. \quad (9)$$

Таким образом, для объективной проверки согласованности экспертных суждений выполняются следующие действия:

- рассчитывается эмпирическая величина по результатам экспертизы:

$$\chi_{эм}^2 = m \cdot (n-1) \cdot W; \quad (10)$$

- находится значение $\chi_{кр}^2$, равное квантили порядка p распределения χ^2 со степенью свободы $k=n-1$;

- сравниваются значения $\chi_{эм}^2$ и $\chi_{кр}^2$; если $\chi_{эм}^2 > \chi_{кр}^2$, то коэффициент конкордации W считается статистически значимым, а суждение экспертов согласованным.

В том случае, если суждение экспертов оказывается несогласованным, задача назначения весовых коэффициентов повторно ставится перед экспертами.

5. Выводы

Таким образом, предлагаемый в статье способ оценки влияния ЖЦП на состояние ОС с учетом дифференциации ПЗ по степени их значимости является более информативным в сравнении с существующим подходом. Согласованность экспертных суждений может быть оценена статистическим методом с заданным уровнем надежности.

В качестве дальнейших исследований в данном направлении предполагается рассмотрение аналогичной задачи одновременно для нескольких этапов ЖЦП.

Литература

1. Рио-де-Жанейрская декларация по окружающей среде и развитию [Электронный ресурс] / Рио де Жанейро, 1992. – Режим доступа: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodecl.shtml
2. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies; 3rd. ed. [Text] / New York: UN, 2007. – 94 p.
3. Spangenberg, J. H. Towards indicators for institutional sustainability: lessons from an analysis of Agenda 21 [Text] / J. H. Spangenberg // Ecological Indicators. – 2002. – Vol. 2, Issue 1-2. – P. 61–77. doi: 10.1016/s1470-160x(02)00050-x
4. Neumayer, E. Weak versus strong sustainability: exploring the limits of two opposing paradigms [Text] /

E. Neumayer. – Cheltenham: Edward Elgar, 2003. – 271 p.

5. Sikdar, S. K. Journey Towards Sustainable Development: A Role for Chemical Engineers [Text] / S. K. Sikdar // Environmental Progress. – 2003. – Vol. 22, Issue 4. – P. 227–232. doi: 10.1002/ep.670220409

6. Статюха, Г. А. Стандарты управления окружающей средой и связь с устойчивым развитием [Текст] / Г. А. Статюха, Б. Н. Комаристая // Спец. вып. за матеріалами Міжнар. наук.-практ. конф. «І Всеук. з'їзд екологів». Вісник Вінницького політехнічного ін-ту. – 2006. – № 5. – С. 63–66.

7. Комариста, Б. М. Моделювання та розрахунок індикаторів сталого розвитку для технологічних систем [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б. М. Комариста. – Суми, 2014. – 23 с.

8. Водный кодекс Украины [Текст] / К., Издательский Дом “In Jure”, 2004. – 138 с.

9. Орлов, А. И. Прикладная статистика [Текст] / А. И. Орлов. – М.: «Экзамен», 2006. – 672 с.

10. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов [Текст] / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.

References

1. Rio-de-Zhanejrskaja deklaracija po okružhajushhej srede i razvitiju (1992). Rio de Zhanejro. Available at: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodecl.shtml
2. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. 3rd edition (2007). New York: UN, 94.
3. Spangenberg, J. (2002). Towards indicators for institutional sustainability: lessons from an analysis of Agenda 21. Ecological Indicators, 2 (1-2), 61–77. doi: 10.1016/s1470-160x(02)00050-x
4. Neumayer, E. (2003). Weak versus strong sustainability: exploring the limits of two opposing paradigms. Cheltenham: Edward Elgar, 271.
5. Sikdar, S. K. (2003). Journey towards sustainable development: A role for chemical engineers. Environmental Progress, 22 (4), 227–232. doi: 10.1002/ep.670220409
6. Statjuha, G. A., Komaristaja, B. N. (2006). Standarty upravlenija okružhajushhej sredoju i svjaz' s ustojchivym razvitijem. Spec. vip. za materialami Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «І Всеук. z'їzd ekologiv». Visnik Vinnic'kogo politehničnogo in-tu, 5, 63–66.
7. Komarysta, B. M. (2014). Modeljuvannja ta rozrahnok indykatoriv stalogo rozvytku dlja tehnologičnyh system. Sumy, 23.
8. Vodnyj kodeks Ukrainy (2004). Kiev, Izdatel'skij Dom “In Jure”, 138.
9. Orlov, A. I. (2006). Prikladnaja statistika. Moscow: «Jekzamen», 672.
10. Bronshtejn, I. N., Semendjaev, K. A. (1986). Spravochnik po matematike dlja inzhenerov i uchaschihsja VTUZov. Moscow: Nauka, 544.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Аніщенко Л. Я.
Дата надходження рукопису 20.04.2015*

Проскурнин Олег Аскольдович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Лаборатория проблем формирования, регулирования качества вод и информационного обеспечения экологического менеджмента, НИУ „Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем”, ул. Бакулина, 6, г. Харьков, Украина, 61166

E-mail: oaproskurnin@mail.ru

Комаристая Богдана Николаевна, кандидат технических наук, кафедра кибернетики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056

E-mail: angel2nika@gmail.com

Смирнова Светлана Александровна, аспирант, Лаборатория проблем формирования, регулирования качества вод и информационного обеспечения экологического менеджмента, НИУ „Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем”, ул. Бакулина, 6, г. Харьков, Украина, 61166