

Представлено підходи до оцінювання сталості різномасштабних об'єктів від регіонів України до техногенних об'єктів і продукційних систем: екологічної сталості та уразливості територій, екологічного ризику у разі проектування техногенного об'єкту, ресурсозберігального потенціалу продукційної системи

Ключові слова: сталий розвиток, оцінювання, індикатор, ресурсозбереження

Представлены подходы к оцениванию устойчивости разномасштабных объектов от регионов Украины до техногенных объектов и продукционных систем: экологической устойчивости и уязвимости территорий, экологического риска при проектировании техногенного объекта, ресурсосберегающего потенциала продукционной системы

Ключевые слова: устойчивое развитие, оценка, индикатор, ресурсосбережение

The sustainability assessment approaches of different scale objects from Ukrainian regions to technogenic objects and product systems (environmental sustainability and vulnerability of territories, environmental risk of a technogenic object under design, resource saving potential of a product system) are presented

Key words: sustainable development, assessment, indicator, resource saving

УДК 136.42+504+330.34

ПРАКТИКА ОЦЕНИВАНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Г. А. Статюха

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой*

Контактный тел.: (044) 408-82-12

E-mail: gen.statyukha@mail.ru

И. Н. Джигирей

Кандидат технических наук, старший преподаватель*

Контактный тел.: (044) 408-82-12

E-mail: dzhygyrey@gmail.com

Е. С. Бондаренко

Кандидат химических наук, доцент, доцент*

Контактный тел.: (044) 408-82-12

E-mail: kxtp@list.ru

*Кафедра кибернетики химико-технологических процессов

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056

1. Введение

Планы действий «Повестка дня на 21 столетие» (1992 г.) и Йоханнесбургский план выполнения решений (2002 г.) выделяют необходимость разработки систем показателей для оценки достигнутого прогресса и содействия устойчивому развитию. На сегодняшний день межправительственными, национальными, региональными, научными и негосударственными организациями разработаны и используются разнообразные индикаторы и индексы устойчивого развития. Эти метрики оценивания устойчивого развития отличаются аспектами, масштабом анализируемых объектов, сложностью, уровнем агрегирования, обобщенностью, базовой концепцией и т.д., и предназначены для усовершенствования принятия решений на всех уровнях общественной жизни ради устойчивого развития.

2. Оценка экологической устойчивости территорий

Экологическая устойчивость территории – оценка экологичности обращения с природными ресурсами и отходами жизнедеятельности Человека, состояния

окружающей среды и антропогенной нагрузки на нее, эффективности механизмов защиты окружающей природной среды. Украинский региональный индекс экологической устойчивости (URESИ 2008) разработан с целью оценки экологической устойчивости регионов Украины. Структура и наполненность индекса базируются на предыдущих разработках и концептуальных наработках под руководством академика М.З. Згуровского в рамках научно-технической программы НТУУ «КПИ» «Устойчивое развитие» [1]. Индекс сформирован на основе причинной модели «движущие силы – давление – состояние – воздействие – реакция» с привнесением некоторых элементов модели экологической уязвимости «опасности – сопротивляемость – повреждение» с учетом особенностей оценки экологической устойчивости и национальных приоритетов в экологической политике. URESИ охватывает такие компоненты как (1) «Экологические системы», (2) «Экологическая нагрузка», (3) «Опасности» и (4) «Региональное экологическое управление», которые, в свою очередь, содержат 13 индикаторов.

Была проведена оценка экологической устойчивости 23 регионов Украины и двух условных агломератов (г. Киев и Киевская области – агломерат

Таблиця 1

Рейтинг екологічної уязвимості приморських регіонів України по даним 2006–2008 гг.

Регіон	Значення BREVI 2008	Уровень еко-уязвимості
Николаївська і Херсонська області	3,43	Високий
Донецька область	4,00	Високий
Запорізька і Одеська області	4,10	Критический
АР Крим	4,55	Критический

«Київська область» і г. Севастополь і АР Крим – агломерат «Крим»), а саме отримані значення 78 показників на основі близько 150 наборів даних, розраховані значення індикаторів екологічної стійкості, проведена їх нормалізація і визначені значення компонентів і індекса URESI 2008. Як показує кластерний аналіз, оцінювані об'єкти формують чотири кластери: кластер «Висока екологічна стійкість» охоплює Волинську і Чернігівську області, кластер «Середня екологічна стійкість» – Житомирську, Закарпатську, Івано-Франківську, Кіровоградську, Львівську, Николаївську, Полтавську, Рівненську, Сумську, Тернопільську, Харківську, Херсонську, Хмельницьку, Чернівецьку і Черкаську області, кластер «Низька екологічна стійкість» – Вінницьку, Дніпропетровську, Запорізьку, Луганську і Одеську області, а також агломерати «Київська область» і «Крим», і кластер «Сверхнизька екологічна стійкість» – Донецьку область. Така агрегована оцінка як URESI 2008 не дозволяє визначити конкретні проблеми регіону. Тут важливу роль в інтерпретації результатів і підтримці прийняття рішень грають профілі екологічної стійкості регіонів, що містять візуалізовані результати оцінки отриманих показників до індексу.

3. Оцінка екологічної уязвимості територій

Екологічне управління тісно пов'язано з процесами стійкого розвитку і є невід'ємною частиною економічної і соціальної систем будь-якої території. Уязвимость може бути тією метрикою, яка визначає, наскільки відповідає принципам стійкого розвитку економічні, екологічні і соціальні процеси для оцінюваної території.

Оцінка екологічної уязвимості території, наряду з економічною і соціальною уязвимостью, дає можливість охарактеризувати спротивляемость цієї території до зовнішніх і внутрішніх впливів, спрогнозувати можливу реакцію на майбутні події.

Індекс екологічної уязвимості Причорномор'я і Приазов'я (BREVI 2008) розроблений для оцінювання екологічної уязвимості приморських регіонів України з урахуванням національних природоохоронних пріоритетів і особливостей оцінюваних об'єктів. Регіональна модель оцінки сформована на основі трьох аспектів екологічної уязвимості (безпеки – спротивляемость – пошкодження) з використанням 40 індикаторів. Обробка наборів даних для 2006–2008 гг., їх перетворення і масштабування дала можливість отримати значення індикаторів екологічної уязвимості для АР Крим, Донецької, Запорізької, Николаївської, Одеської і Херсонської областей. На основі значень індикаторів визначені значення аспектів і категорій прийняття рішень, рейтинг приморських регіонів України отримано до найменш екологічно уязвимих (табл. 1) і профілі екологічної уязвимості цих регіонів [3].

4. Оцінка стійкості прибережних зон

Одним із напрямків в сфері реалізації парадигми стійкого розвитку є комплексне управління прибережними зонами (КУПЗ). Цей підхід характеризується конвергенцією різних знань і досягнень в області екології моря і прибережних зон, розвитком законодавчих ініціатив, застосуванням системної методології на всіх рівнях і постановкою конкретних цілей. Восемь принципів «хорошого» КУПЗ, дозволяють сформулювати специфічні завдання управління, в т.ч. в межах міжнародного співробітництва – підходу «регіональне море». Успішний досвід застосування методології КУПЗ в Європі показує її ефективність і можливість застосування в оцінці екологічної стійкості приморських регіонів України. Європейська методологія була адаптована з метою забезпечення актуальності в умовах приморських зон України і узгодження з діючою мережею збору статистичних і екологічних даних. Розроблена система індикаторів екологічної стійкості, складовими якої агрегуються в єдиний показник – індекс ICZMU–45. В якості процедури агрегування використовується методика, побудована раніше для отримання індексу екологічної стійкості. Особливу увагу приділено розробці моделей обробки наборів даних по стану прибережних зон для розрахунку індексу і перспектив застосування циклічної моделі «морська екосистема – сміття відходів» і її інтеграції в розроблену індикаторну систему оцінки. Дослідження продовжує роботу НТУУ «КПІ» по оцінці стійкого розвитку і підтримці Мировим центром даних по геоінформатиці і стійкому розвитку (WDC-Ukraine), а також Сетью університетів Чорноморського регіону (BSUN).

5. Оцінка екологічного ризику при проектуванні техногенних об'єктів

В даний час відсутня ефективна методика, що дозволяє кількісно оцінити стан урбанізованої екологічної системи і відповідно говорити про надійні показники стійкого розвитку. При впровадженні нового об'єкта необхідно провести оцінку його впливу на екосистему, дослідити його взаємодію з основними ком-

понентами экосистемы в условиях неопределенности и оценить качество экосистемы после его внедрения. Урбанизированные экосистемы состоят из огромного числа разнородных элементов, объединенных множеством связей и отношений, полностью изучить которые практически невозможно. Сегодняшняя практика определения экологического риска ориентируется в первую очередь на человека как реципиента. При этом допустимые границы влияний, включаемые в оценку экологических опасностей, определяются только по отношению к человеку, а другие компоненты окружающей природной среды (возможно, больше чувствительные) не рассматриваются. Это связано, прежде всего, с отсутствием способа количественной оценки. Поскольку экологический риск – это количественная или / и качественная оценка экологической опасности неблагоприятных воздействий на окружающую среду, то задача разработки универсального алгоритма, включающего возможность количественной оценки экологического риска при проектировании техногенного объекта является актуальной, иными словами, есть необходимость формирования такого показателя качества (индекса), который будет обеспечивать количественную характеристику явления в единстве с его качественным определением.

Такой системой показателей является разработанная совокупность индексов загрязнения компонентов экологической системы [4]. Разработанная система интегральных показателей, по сути, формируется на основе индекса качества соответствующего компонента внутри составляющей (химическая) и класса (состав). Принцип формирования индексов на основе функции желательности позволяет исключить неопределенность по двум вопросам. Во-первых, он максимально использует сложившуюся практику при проведении оценки воздействий на окружающую среду, а безразмерность индексов облегчает их интерпретацию при применении в системах принятия решений, а также упрощает их сопоставление. Во-вторых, шкала для измерения индексов и оценивания качества компонентов окружающей среды является универсальной (имеет диапазон от 0 до 1), линейной и пропорциональной. При этом система остается открытой и может дополняться новыми индексами для физической или биотической составляющих. Так как количественной мерой, которая определяет экологическую безопасность экосистем, является риск, поэтому необходимо найти метод сравнения и сопоставления такой экологической информации, которая с одной стороны характеризует качество экосистемы (система индексов), а с другой – экологическую безопасность этой экосистемы (экологический риск). Экологический риск в экологии не может рассматриваться как однонаправленный показатель (риск здоровья человека) исходя из сложности экосистемы в целом. Если измерять степень влияния значениями индексов качества экосистемы как мерой количественной оценки отклонения от нормируемого состояния, то соответствующее значение экологического риска будет измерением данного типа влияния. Поэтому показатель экологического риска необходимо связать с другими оценками качества состояния экосистем, например системой индексов. Предложена зависимость определения риска методом «индекс-риск», представляющая собой функциональную зависимость

и устанавливающая связь значения риска изменений в компоненте окружающей природной среды от внедрения техногенного объекта и значения функции желательности. Обобщая индексные оценки, экологический риск можно рассчитать согласно (1):

$$r = 4,99 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-7,557(1-ind)} \quad (1)$$

где r – экологический риск; ind – индекс опасности, при оценке отдельных влияний принять $ind = I_i$, $r = R_i$ (i – учитываемые составляющие экосистемы), рассчитывается по зависимости (2); R_i – экологический риск i -го влияния,

$$ind = 1 - D = \sqrt[k]{\prod_{i=1}^k I_i} = \sqrt[k]{\prod_{i=1}^k (1 - d_i)} = \sqrt[k]{\prod_{i=1}^k 1 - e^{-(e^{-y_i})}} \quad (2)$$

где D – обобщенный показатель качества; I_i – индекс i -го влияния на экосистему; d_i – функция желательности по i -ому компоненту экосистемы; y_i – некоторая безразмерная величина, которая связана с y_i (количественный показатель оценки) и определяется для каждого влияния на экосистему. Проведение оценки уровня риска осуществляется соответственно шкале оценки экологических рисков и используя рекомендации по классификации уровней риска. Предложенный алгоритм оценки экологического риска внедрения техногенного объекта на основе системы индексов качества экосистемы, в частности, индекса опасности как количественной оценки влияния на компоненты окружающей среды, дает возможность системно оценить уровень экологической безопасности. При таком подходе закладываются рычаги управления экологической безопасностью уже на этапе проектирования техногенного объекта.

6. Оценка ресурсосбережения производственных систем с целью эффективного управления

В сфере оценки устойчивого развития разномастных объектов, в том числе экологической устойчивости, многообещающие возможности имеет применение концепции сильной устойчивости и теории природного капитала. С точки зрения сильной устойчивости созданный человеком капитал не является заменителем природного, они лишь дополняют друг друга, а на природный капитал накладывается условие неумножения его запасов. Одно из наиболее глубоких исследований в области анализа связей компонентов природного капитала принадлежит Д.И. Люри, развившему идею ресурсных циклов. Рассмотрение процессов в виде циклов «потребление – восстановление» природных ресурсов позволяет построить приближенную модель круговорота компонентов природных ресурсов в некоторой системе и возможность разработки индикатора устойчивого развития этой системы, с помощью которого можно осуществлять управление, в частности на уровне отдельных производственных систем.

Ранее предложена оценка, характеризующая способность оцениваемой системы восстанавливать и компенсировать использованные ресурсы – коэффи-

коэффициент устойчивого ресурсопотребления η [5]. Этот показатель представляет собой отношение затрат на использование сырья (добыча, транспортировка и т.п.), изготовление и потребление продукции (производство, доставка потребителю и т.п.) к затратам на переработку отходов, утилизацию продуктов, технологию природной очистки, исправление ранее нанесенного природе ущерба. Несложно отметить, что при расчетной оценке $\eta > 1$ система, с точки зрения сохранения её потенциала, будет неустойчивой: потребление природных ресурсов происходит интенсивнее, чем их восстановление. При $\eta = 1$ – система находится на границе устойчивости; при $\eta < 1$ – система устойчива: восстановление ресурсов природы идёт опережающим темпом. Очевидно, что все решения должны быть таковы, чтобы добиваться значения $\eta \leq 1$, как за счет снижения затрат ресурсов и совершенствования технологий производства, так и за счет увеличения затрат на восстановление и пополнение ресурсов.

Подобный показатель может быть построен на основе монетаризованных влияний на человека и природу в рамках оценки продукционных систем. Модифицированный коэффициент устойчивого ресурсопотребления η^* отличается от вышерассмотренного тем, что представляет собой отношение затрат на сырье, изготовление и потребление продукции к совокупным затратам на сырье, изготовление и потребление продукции, переработку отходов, утилизацию продукции и т.д. Критическое значение этого показателя представляется возможным рассчитывать как

$$\eta_{кр}^* = (C_R + C_P) / (C_R + C_P + C_{RD} + C_{HH} + C_{ES}), \quad (3)$$

где C_R – затраты на использование сырья; C_P – затраты на изготовление и потребление продукции; C_{RD} – необходимые вложения в восстановление ресурсов в единицах истощения вовлеченных ресурсов (например, для минеральных ресурсов это дополнительная энергия необходимая в будущем на их добычу); C_{HH} – необходимые вложения в восстановление здоровья человека в единицах ущерба здоровью, нанесенного продукционной системой (отрицательное значение годов качественной жизни, QALYs); C_{ES} – необходи-

мые вложения в восстановление природных систем в единицах ущерба экосистемам, нанесенного оцениваемой продукционной системой (гектар-годы, скорректированные относительно потери биоразнообразия, ВАНУs). Денежный эквивалент затрат на восстановление здоровья человека и экосистем, т.е. монетаризованное выражение единиц QALYs и ВАНУs приняты здесь согласно работам Бо Вейдема. Если индикатор η^* принадлежит интервалу $(\eta_{кр}^*, 1]$, то оцениваемая система является неустойчивой: ущерб природным ресурсам, здоровью человека и природы не восполняется, и, если индикатор η^* принадлежит интервалу $(0, \eta_{кр}^*]$, то оцениваемая система устойчива. Кроме того, оценка нескольких продукционных систем, при условии выбора одной и той же функциональной единицы, показывает, какая из систем является наиболее устойчивой, а именно система со значением модифицированного коэффициента η^* наиболее близким к нулю. Расчет критического значения представленного коэффициента удобно проводить на основе оценки жизненного цикла, поскольку этот инструмент позволяет охватить влияния оцениваемой продукционной системы на человека и природу от добычи сырья до утилизации продукта. С точки зрения корпоративной социальной ответственности определение критического значения модифицированного коэффициента устойчивого ресурсопотребления может оказаться эффективным для оценки минимально необходимых вложений в восстановление окружающей среды на функциональную единицу продукционной системы.

7. Заключение

Светом в конце туннеля в проблеме оценивания системного взаимодействия устойчивого развития и нижних уровней иерархии общества можно считать ресурсосберегающий подход. Здесь же, по-видимому, скрывается и решение задачи управления технологическими системами по показателям устойчивости на нижнем уровне иерархии, когда учет значений индексов устойчивости высших уровней общественного развития осуществляется хотя бы в виде ограничений.

Литература

1. Analysis of Sustainable Development – Global and Region Contexts: in 2 p. [Electron. resource] / ICSU and others; sci. adv. M.Z. Zgurovsky. – К.: NTUU "KPI", 2009. – p. 1. Global analysis of quality of life and security of world population. – Access link: <http://wdc.org.ua/sites/default/files/sd2009-P1-Full-en.pdf>.
2. Analysis of Sustainable Development – Global and Region Contexts: in 2 p. [Electron. resource] / ICSU and others; sci. adv. M.Z. Zgurovsky. – К.: NTUU "KPI", 2009. – p. 2. Ukraine in the sustainable development indicator analysis. – Access link: http://wdc.org.ua/sites/default/files/sd2009-P2-Full-en_0.pdf.
3. Оценка экологической уязвимости приморских регионов Украины на основе данных 2006–2008 годов [Текст] / Г.А. Статюха, И.Н. Джигирей, Д.В. Чашник, Р.П. Мельничук // Вост.-евр. ж. передовых технологий. – 2010. – № 4/8 (46) – С. 8–14. (на укр. языке).
4. Бойко Т.В. К вопросу определения рисков при оценке воздействий техногенных объектов на окружающую среду [Текст] / Т.В. Бойко // Вост.-евр. ж. передовых технологий. – 2008. – №4/6 (34): Техн.-я неорг. орг. веществ и экология. – С.37–41.
5. Statyukha, G. Sustainable resource consumption assessment on LCA's basis [Text] / G. Statyukha, B. Komarysta and I. Dzhygyrey // Comp. Aided Chem. Eng. – 2009. – 26. – PP. 1111-1116.