

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Прогнозирование составляет фундаментальную основу предпринимательской и управленческой деятельности в любой сфере при выполнении любой из присущих функций, включая природоохранную. Качество воды поверхностных водных объектов – базовая категория среды обитания человека и важнейший фактор его здоровья. Повсеместное ухудшение экологической обстановки, рост антропогенной нагрузки на водотоки, износ гидротехнических сооружений приводят к существенному снижению качества потребляемой воды. Предлагается методика анализа системы локальных индикаторов оценки эффективности природоохранной политики предприятия, полученной в результате экологического аудита.

Ключевые слова: экологический аудит, система локальных индикаторов оценки эффективности природоохранной политики предприятия, качество воды поверхностных водных объектов.

Результаты природоохранной деятельности конца XX столетия, в первую очередь в промышленно развитых странах, подтверждают, что экологическое аудирование представляет собой один из наиболее эффективных инструментов управления воздействием на окружающую среду хозяйствующих субъектов. Экологический аудит, тесно увязывая экологические и экономические аспекты деятельности предприятий, практически не связан с административным «давлением» органов государственного управления, что в немалой степени обусловило его широкое распространение в промышленно развитых странах. Для того чтобы экологический аудит в России стал действенным инструментом регулирования природоохранной политики предприятий и организаций, воздействующих на окружающую среду в процессе своей деятельности, необходимо, чтобы экоаудиторские исследования поднялись на свою высшую, практически ориентированную прогностическую ступень.

Одной из актуальных проблем любого мегаполиса, к числу которых относится и Новосибирск, является состояние водного хозяйства, включая один из существенных компонентов природно-хозяйственной системы – поверхностные водные объекты (ПВО). В настоящее время гигантские массивы недостаточно систематизированной информации, поступающей из различных реперных точек городского хозяйства: бухгалтерская, финансовая и экологостатистическая отчетность предприятий, данные мониторинга Департамента природы и других природоохранных организаций, не позволяют достаточно адекватно оценить уровень экологической опасности хозяйствующих субъектов, осуществляющих выбросы в поверхностные водные объекты города Новосибирска и области.

Одним из главных недостатков существующих систем мониторинга качества поверхностных водных объектов, которые отражаются в ежегодных отчетах Департамента, является анонимность ответственных за ухудшение экологической ситуации. По мнению автора, экологический аудит и публичная отчетность по нему могут устранить этот существенный недостаток, делая адресной ответственность за экологические нарушения. В данном случае наиболее целесообразным представляется выбрать из имеющихся показателей наиболее значимые и использовать их в практике экологического аудита. К таким показателям может

быть отнесена система индикаторов оценки эффективности природоохранной политики предприятия [1]. На основе системы индикаторов можно построить суперкритерий, используемый для определения класса экологической опасности хозяйствующих субъектов.

Остановимся более подробно на описании математического аппарата, позволяющего строить подобные суперкритерии. Данная задача относится к классу так называемых многокритериальных задач. Один из наиболее распространенных и простых способов определения и сравнения многокритериальных оценок заключается в сведении многокритериальной задачи к однокритериальной, т. е. к замене функции векторного аргумента на скалярную функцию. Данная операция в специальной литературе получила название вычисления свертки или построения суперкритерия.

Это один из методов векторной оптимизации, которые базируются на эвристическом использовании понятия векторного критерия качества систем (многокритериальные задачи) и включают методы главного критерия, лексикографической оптимизации, последовательных уступок, скаляризации, человеко-машинные и другие методы. При решении задач векторной оптимизации векторный (многокомпонентный) критерий эффективности, выраженный через показатели исходов операции, заменяют скалярным на основе какой-либо функции свертки.

Рассмотрение указанных подходов в системном анализе основано на трех важных особенностях.

Во-первых, полагается, что не существует такой системы, которая не зависела бы от лица, принимающего решение (ЛПР). Всегда лишь для данного ЛПР данная система может быть наилучшей. Другое ЛПР в таких же условиях может предпочесть альтернативную систему.

Во-вторых, считается, что не существует оптимальной системы для всех целей и воздействий внешней среды. Система может быть эффективной только для конкретной цели и в конкретных условиях. В других условиях и для других целей она может быть неэффективной.

В-третьих, методы исследования операций (линейное, нелинейное, динамическое программирование и др.) не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к задачам оценивания сложных организационных систем, так как вид целевой функции либо неизвестен, либо не задан аналитически, либо для нее отсутствуют средства решения. Общность подходов заключается в том, что оценивание систем по критериям производится с помощью шкал.

Пусть S_i – множество оценок по i -му критерию системы A , рассматриваемых как альтернативы. Тогда множеством векторных оценок альтернатив называется множество

$$S = S_1, S_2, \dots, S_n,$$

а процесс присвоения векторных оценок альтернативам (оценивание альтернатив) описывается отображением

$$\varphi: A \rightarrow S.$$

Оценивание систем в условиях определенности производится с использованием методов векторной оптимизации с помощью шкал.

Постановка задачи. Пусть $K = (k_1, k_2, \dots, k_n)$ – векторный критерий, представляющий собой отображение $K: A \rightarrow R^1$, $K(a)$ – векторная оценка альтернативы $a \in A$; R^1 – шкала, числовая система при условии, что R^1 – множество всех действительных чисел. Тогда общая задача векторной оптимизации может быть сформулирована следующим образом:

$$K(a) \rightarrow \text{opt}_{a \in A} K(a), \quad (1)$$

где opt – оператор оптимизации, определяющий семантику оптимальности. Решением задачи (1) является множество

$$D = \{a \in A: a = \tau^{-1}[\text{opt}_{a \in A} K(a)]\}.$$

Вследствие того, что, как правило, множество D пусто, оценка сложных систем в условиях определенности на основе методов векторной оптимизации проводится в три этапа.

1. С использованием системного анализа определяются частные показатели и критерии эффективности.

2. Находится множество Парето, формулируется задача многокритериальной оптимизации в форме (1).

3. Задача (1) решается путем скаляризации критериев.

Принцип Парето. Постановка задачи оптимизации как поиск решения по критерию превосходства хотя и была признана некорректной, но помогла сформулировать понятие множества Парето, как подмножество A^* множества альтернатив A . Множество A^* задается свойством его элементов:

$$(\forall a \in A)(\exists a^* \in A^*)(K(a^*) \geq K(a)). \quad (2)$$

Смысл выражения (2) определяет принцип Парето, который состоит в следующем. Множество Парето A^* (переговорное множество, множество компромиссов) включает альтернативы, которые всегда более предпочтительны по сравнению с любой альтернативой из множества $A \setminus A^*$. При этом любые две альтернативы из множества Парето по предпочтению несравнимы.

Применив метод свертывания векторного критерия в скалярный, первоначальную задачу заменим задачей (1)*

$$k(a) \rightarrow \text{extr}, \quad a \in A,$$

где $k(a)$ – скалярный критерий, представляющий собой некоторую функцию от значений компонентов векторного критерия:

$$k(a) = f(k_1(a), k_2(a), \dots, k_n(a)).$$

Основной проблемой этого подхода как раз и является построение функции, называемой сверткой. Данная проблема распадается на четыре задачи.

1. Обоснование допустимости свертки. Требуется подтверждения факта, что рассматриваемые показатели эффективности однородны. Известно, что показатели эффективности разделяются на три группы: показатели результативности, ресурсоемкости и оперативности. В общем случае разрешается свертка показателей, входящих в обобщенный показатель для каждой группы отдельно. Свертка показателей из разных групп связана с потерей физического смысла такого критерия.

2. Нормализация критериев. Проводится подобно нормировке показателей.

3. Учет приоритетов критериев. Осуществляется в большинстве методов свертывания путем задания вектора коэффициентов важности критериев

$$\Gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n) \sum \gamma_i = 1,$$

где γ_i – коэффициент важности критерия (весовой множитель) k_i , обычно совпадающий с коэффициентом значимости частного показателя качества.

Установление коэффициентов важности критериев, как и в случае с показателями, сталкивается с серьезными трудностями и сводится либо к использованию формальных процедур, либо к применению экспертных оценок.

В результате нормализации и учета приоритетов критериев вместо исходной векторной оценки $k(a)$ альтернативы a образуется новая векторная оценка

$$k^*(a) = (\gamma_1 k_1(a), \gamma_2 k_2(a), \dots, \gamma_n k_n(a)).$$

Именно эта полученная векторная оценка подлежит преобразованию с использованием функции свертки. Способ свертки зависит от характера показателей и целей оценивания системы. Известны несколько видов свертки. Наиболее часто используются аддитивная и мультипликативная свертка компонентов векторного критерия.

4. Аддитивная свертка компонентов векторного критерия состоит в представлении обобщенного скалярного критерия в виде суммы взвешенных нормированных частных критериев:

$$k(a) = \sum_{i=1}^n \gamma_i \frac{k_i(a)}{k_i^0}. \quad (3)$$

Такие критерии образуют группу аддитивных критериев. В них свертка основана на использовании принципа справедливой компенсации абсолютных значений нормированных частных критериев. Суть этого принципа: справедливым следует считать такой компромисс, при котором суммарный уровень абсолютного снижения значений одного или нескольких показателей не превышает суммарного уровня абсолютного увеличения значений других показателей.

Главный недостаток аддитивных критериев состоит в том, что они не вытекают из объективной роли частных критериев в определении качества системы и поэтому выступают как

формальный математический прием, придающий задаче удобный вид. Кроме того, низкие оценки по одним критериям могут компенсироваться высокими оценками по другим критериям. Это значит, что уменьшение одного из критериев вплоть до нулевого значения может быть покрыто возрастанием другого критерия.

Мультипликативная свертка компонентов векторного критерия заключается в представлении обобщенного скалярного критерия в виде произведения

$$k(a) = \prod k_i(a)^{\gamma_i}. \quad (4)$$

Мультипликативный критерий образуется путем простого перемножения частных критериев k_i , возведенных в степени γ_i . Если все частные критерии имеют одинаковую значимость, то $\gamma_i = 1$. При разной значимости критериев $\gamma_i \neq 1$.

В мультипликативных критериях схема компромисса предполагает оперирование не с абсолютными, а с относительными изменениями частных критериев. Применимость мультипликативного критерия основывается на принципе справедливой относительной компенсации: справедливым следует считать такой компромисс, при котором суммарный уровень относительного снижения значений одного или нескольких критериев не превышает суммарного уровня относительного увеличения значений других критериев.

Достоинство мультипликативного критерия состоит в том, что при его применении не требуется нормировки частных критериев. Недостатки критерия: критерий компенсирует недостаточную величину одного частного критерия избыточной величиной другого и имеет тенденцию сглаживать уровни частных критериев за счет неравнозначных первоначальных значений частных критериев. Выбор между аддитивной и мультипликативной свертками частных критериев определяется уровнем значимости абсолютных или относительных изменений значений частных критериев соответственно [2].

Кроме свертки векторного критерия в теории векторной оптимизации особое место занимает *принцип компромисса*, основанный на идее равномерности. Если из существа задачи следует полная недопустимость компенсации значений одних показателей другими, т. е. требуется обеспечить равномерное подтягивание всех показателей к наилучшему уровню, то используют агрегирующую функцию следующего вида:

$$k(a) = \min \left\{ \frac{k_i(a)}{\gamma_i} \right\}, \quad \gamma_i \neq 0. \quad (5)$$

Такой показатель используется в задачах планирования по «узкому месту».

Общим случаем функции свертки (агрегирования, осреднения) является средняя степенная функция:

$$k(a) = \left[\frac{1}{n} \sum_i (k_i(a))^p \right]^{\frac{1}{p}}, \quad p \neq 0. \quad (6)$$

Здесь показатель степени p отражает допустимую степень компенсации малых значений одних равноценных показателей большими значениями других показателей (степень возможной компенсации возрастает с ростом p).

Например, если $p \rightarrow -\infty$ (не допускается никакая компенсация и требуется равномерное подтягивание), то агрегирующая функция (6) дает результаты, совпадающие со значениями (5); если $p > 0$ (т. е. требуется обеспечение примерно одинаковых уровней частных показателей), то в пределе будет совпадение значений средней степенной функции (6) и мультипликативной свертки (4). Во всех этих случаях $\gamma_i = \frac{1}{n}$, $i \in [0; n]$ [3]. Рассмотренные группы мето-

дов дают широкие возможности для анализа многокритериальных оценок в целях выбора наилучшей альтернативы, ранжирования альтернатив и т. д. Тем не менее условия примени-

мости тех или иных методов вследствие эвристического характера последних не могут быть четко сформулированы.

Подведем итоги. Наибольшее распространение имеют аддитивная и мультипликативная свертки, а также средняя степенная функция, как обобщение последней. Использование свертки вместо взвешенного суммирования обладает следующими преимуществами:

- свертка переводит абсолютные значения в относительные, что позволяет сравнивать разнородные качества;
- свертка приводит значения критериев к диапазону $[0; 1]$ абсолютной шкалы, что дает возможность осуществлять в ней все допустимые алгебраические операции,
- указание доли критерия от его максимального значения позволяет сопоставлять оценки, полученные в разных шкалах.

Таким образом, для формирования суперкритерия на базе системы локальных индикаторов, полученных в результате экологического аудита – уровня экологической опасности предприятия, – могут быть использованы методы векторной оптимизации:

- средняя степенная функция;
- аддитивная свертка;
- мультипликативная свертка.

Автором предлагается следующая методика анализа системы локальных индикаторов оценки эффективности природоохранной политики предприятия, полученной в результате экологического аудита, на основе которой выполняется классификация хозяйствующих субъектов по уровню экологической опасности предприятия и строятся прогнозные управленческие решения. Данная система состоит из 12 показателей K_1 – K_{12} , сгруппированных в 4 группы (инновационная эффективность, организационная эффективность, экологическая эффективность, ресурсосберегающая эффективность).

Методика определения класса экологической опасности предприятия представлена следующим алгоритмом.

1. Сделать свертку, используя среднюю степенную функцию в каждой группе коэффициентов, ввести 4 обобщенных критерия: инновационная эффективность; организационная эффективность; экологическая эффективность; ресурсосберегающая эффективность.

2. Ввести экспертные оценки, ранжирующие их значимость, по ним вычислить весовые множители уровня ранга коэффициента.

3. Вычислить суперкритерий эффективности природоохранной политики фирмы S по формуле (3).

4. Ввести классификацию предприятий по уровню суперкритерия.

Рассмотрим применение данной методики на условном примере города F и поверхностного водного объекта (малой реки) R . В реку R осуществляют сброс сточных вод хозяйствующие субъекты: $A_1, A_2, \dots, A_n$. В результате проведения экоаудирования предприятий, функционирующих в районе водотока реки R в заданных границах по системе индикаторов эффективности природоохранной политики [1], были рассчитаны следующие коэффициенты (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты индикаторов эффективности природоохранной политики предприятий, осуществляющих сброс в реку R

Предприятие	Эффективность											
	инновационная			организационная			экологическая			ресурсосберегающая		
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	K_{12}
A_1	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}	k_{16}	k_{17}	k_{18}	k_{19}	$k_{1,10}$	$k_{1,11}$	$k_{1,12}$
A_2	k_{21}	k_{22}	k_{23}	k_{24}	k_{25}	k_{26}	k_{27}	k_{28}	k_{29}	$k_{2,10}$	$k_{2,11}$	$k_{2,12}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
A_n	k_{n1}	k_{n2}	k_{n3}	k_{n4}	k_{n5}	k_{n6}	k_{n7}	k_{n8}	k_{n9}	$k_{n,10}$	$k_{n,11}$	$k_{n,12}$

Далее, осуществив мультипликативную свертку по формуле (6) и введя обобщенные критерии, рассчитаем $S_{i1}, S_{i2}, S_{i3}, S_{i4}, i = 1, \dots, n$:

$$S_{i1} = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^3 (k_{ij})^p \right]^{\frac{1}{p}}, \quad S_{i2} = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=4}^6 (k_{ij})^p \right]^{\frac{1}{p}},$$

$$S_{i3} = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=7}^9 (k_{ij})^p \right]^{\frac{1}{p}}, \quad S_{i4} = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=10}^{12} (k_{ij})^p \right]^{\frac{1}{p}}.$$

Введем экспертные оценки $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$, ранжирующие их значимость, по ним вычислим весовые множители уровня ранга коэффициента:

$$S_i = \sum_{j=1}^4 \gamma_j S_{ij}, i = 1, \dots, n; \quad \sum \gamma_j = 1.$$

Вычислим суперкритерий эффективности природоохранной политики (табл. 2).

Таблица 2

Расчет мультикритериев S_i и суперкритерия S

Предприятие	S_1	S_2	S_3	S_4	S
A_1 ,	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_1
A_2	S_{21}	S_{22}	S_{23}	S_{24}	S_2
...	...	...	...	...	...
A_n	S_{n1}	S_{n2}	S_{n3}	S_{n4}	S_n
Веса мультикритериев	γ_1	γ_2	γ_3	γ_4	

Далее введем классификацию предприятий по уровню экологической опасности (табл. 3).

Таблица 3

Классификация предприятия по интервалу суперкритерия S

Интервал мультикритерия S	Класс опасности	Характеристика класса экологической опасности предприятия
[0,90–1,0)	I	Эталонное предприятие, предельно низкие риски загрязнения ПВО
[0,75–0,90)	II	Высокая экологичность, пониженные риски загрязнения ПВО
[0,55–0,75)	III	Средняя экологичность, средние риски загрязнения ПВО
[0,3–0,55)	IV	Низкая экологичность, повышенные риски загрязнения ПВО
(0–0,3)	V	Деятельность предприятия предельно опасна для экологии ПВО

Класс опасности убывает с ростом суперкритерия S . Номер класса растет с ростом суперкритерия.

В заключение проведем стратификацию рассматриваемых предприятий в зависимости от вычисленного значения суперкритерия.

Данная модель прогнозирования уровня экологической опасности промышленного предприятия в загрязнении ПВО выявляет степень персонального воздействия загрязнителя

на водоток, эффективность природоохранной политики предприятия и позволяет строить прогнозные управленческие решения, как самому предприятию, так и контролирующему органу.

Список литературы

1. Анфилатов В. С., Емельянов А. А., Кукушкин А. А. Системный анализ в управлении. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
2. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: Теория и практика. М.: Наука, 1986. 288 с.
3. Кантаева И. А. Значение экологического аудита для прогнозирования аварийных ситуаций водных объектов // Материалы V Всерос. науч.-техн. конф. «Актуальные вопросы строительства». Новосибирск, 2012. Т. 1. С. 115.

Материал поступил в редколлегию 17.09.2012

I. A. Kantaeva

ENVIRONMENTAL AUDIT AS INSTRUMENT OF FORECASTING OF LEVEL OF ECOLOGICAL DANGER OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

Forecast is the basis of enterprising and management in every sphere, including nature preservation. The water quality of the surface-water bodies is the primary category of the human habitat and a supremely important factor for well being. The extensive environmental degradation, the increase of the anthropogenic load on watercourse and hydraulic facilities wear, lead to the essential water quality deterioration. The article in question offers an evaluation methodology for the System of Local Indicators of the efficiency of the environmental policy of a business entity, based on the environmental audit

Keywords: environmental audit, the system of local indicators of the efficiency of the environmental policy, the water quality from surface water bodies.