

УДК 67.08

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ САМАРСКОГО РЕГИОНА НА ОСНОВЕ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ИХ РЕСУРСНОЙ ЦЕННОСТИ

Д.В. Каширских

Самарский государственный технический университет
Россия, 443110, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассматривается проблема сравнительной оценки ресурсной ценности объектов хранения нефтесодержащих отходов на основе анализа данных о физико-химическом компонентном составе отходов с целью дифференциации ресурсных источников в анализируемой группе. Применение DEA (Data Envelopment Analysis) метода позволяет получить относительную оценку ресурсной ценности, которая определяет эффективность каждого конкретного объекта с точки зрения вторичного использования по отношению ко всем другим объектам анализируемого множества. Приведен пример применения разработанной методики к задаче сравнительной оценки ресурсной ценности группы, состоящей из двенадцати объектов хранения отходов нефтеперерабатывающей промышленности Самарского региона.

Ключевые слова: *отходы нефтеперерабатывающей промышленности, нефтешламы, ресурсная ценность, дифференциация объектов хранения, вторичное использование, data envelopment analysis.*

Эффективная промышленная утилизация отходов нефтеперерабатывающей промышленности предусматривает дифференциацию (ранжирование) их мест хранения по ресурсной ценности отходов, так как в первую очередь целесообразно утилизировать наиболее ценные и крупные объекты [1–4].

Под ресурсной ценностью понимается количественная оценка отходов, определяющая степень их пригодности для использования в качестве ресурса в технологиях вторичной переработки.

В статье рассматривается методика сравнительного анализа ресурсной ценности объектов хранения отходов, основанная на использовании DEA (Data Envelopment Analysis) метода.

Максимальную ресурсную ценность при таком анализе имеют объекты хранения отходов, для которых рассчитанная по DEA-методу относительная оценка равна единице. При этом такая оценка не означает максимально возможную концентрацию в отходах компонентов, пригодных для вторичной переработки. Это означает, что анализируемый объект является наиболее эффективным с точки зрения вторичного использования отходов по сравнению с другими сопоставимыми объектами анализируемой группы.

Достоинства рассматриваемого метода заключаются в отсутствии субъективного фактора при сравнении объектов с различными анализируемыми параметрами, а также в возможности сопоставлять при анализе объекты с параметрами, имеющими различный физический смысл и измеряемыми в различных единицах.

Рассмотрим в качестве примера применения DEA-метода сравнительную оценку ресурсной ценности на основе данных о количественном и качественном составе отходов нефтеперерабатывающей промышленности в $N = 12$ объектах размещения, представляющих собой амбары, илонакопители, нефтеловушки и нефтешламонакопители Самарского региона (табл. 1) [5].

В силу сложной физико-химической природы отходов нефтеперерабатывающей промышленности в достаточно глубоких (несколько метров) объектах размещения происходит разделение отходов на слои, что необходимо учитывать при расчете ресурсной ценности одного объекта размещения.

С учетом этого в общем случае компонентный состав отходов анализируемого n -го ресурсного источника, $n = \overline{1, 12}$, может быть представлен в виде матрицы:

$$P_n = \begin{pmatrix} P_{n11} & \dots & P_{n1k} \\ \dots & P_{nrj} & \dots \\ P_{ns1} & \dots & P_{nsk} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $r, r = \overline{1, s_n}$ – номер слоя; s_n – количество слоев n -того ресурсного источника; $p_{nrj}, j = \overline{1, k}$ – численное значение j -того элемента компонентного состава отходов в r -том слое n -того ресурсного источника; k – количество анализируемых компонентов состава отходов.

Исходные данные по составу нефтесодержащих отходов [5], разделенных в анализируемых объектах хранения на 3 слоя, включают процентное содержание в единице массы слоя следующих пяти компонентов: 1) асфальтены и смолы; 2) минеральная часть; 3) сера; 4) вода; 5) светлые нефтепродукты. Следовательно, компонентный состав P_n отходов n -го объекта размещения анализируемой группы может быть представлен в виде (1) при $s = 3$ и $k = 5$.

С использованием компонентного состава P_n в форме (1) было рассчитано средневзвешенное по слоям процентное содержание компонентов состава нефтешлама на n -том объекте хранения отходов, тогда соответствующий компонентный состав P_n^m может быть представлен в виде матрицы-строки следующего вида (см. табл. 1):

$$P_n^m = [p_{n1}^m \ p_{n2}^m \ \dots \ p_{n5}^m], \quad (2)$$

где $p_{nj}^m = \sum_{r=1}^3 M_{nr} p_{nrj} / M_n; j = \overline{1, 5}$ – средневзвешенное процентное содержание j -того компонента состава отходов в n -том объекте размещения; $M_{nr} = S_n h_{nr} \rho_{nr}; r = \overline{1, 3}$ – масса отходов в r -том слое n -того объекта размещения (табл. 2), рассчитываемая с учетом h_{nr} – глубины каждого слоя в метрах; S_n – площади поверхности слоя, кв. м; ρ_{nr} – плотности отходов в конкретном слое [5]; $M_n = \sum_{r=1}^3 M_{nr}$ – общая масса отходов в n -том объекте размещения.

Для базового варианта применения DEA-метода структура комплексного показателя ресурсной ценности $R_n, n = \overline{1, N}$ каждого анализируемого объекта формируется на основе $m_{\text{вх}}$ значений входных величин $X_{ni}, i = \overline{1, m_{\text{вх}}}$ и $m_{\text{вых}}$ выходя-

ных величин $Y_{nj}, j = \overline{1, m_{\text{вых}}}$ как отношение некоторого обобщенного (интегрального) выходного параметра к обобщенному входному параметру:

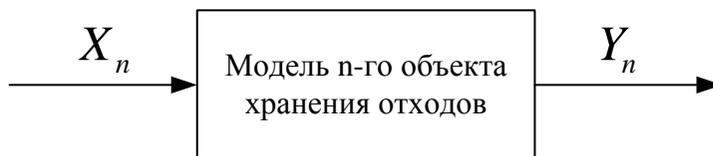
$$R_n = \frac{\sum_{j=1}^{m_{\text{вых}}} u_{nj} Y_{nj}}{\sum_{i=1}^{m_{\text{вх}}} v_{ni} X_{ni}}; u_{nj} \geq 0, j = \overline{1, m_{\text{вых}}}; v_{ni} \geq 0, i = \overline{1, m_{\text{вх}}}; n = \overline{1, N}, \quad (3)$$

где $u_{nj}, j = \overline{1, m_{\text{вых}}}$ – неотрицательные весовые коэффициенты, характеризующие относительный вклад каждого из выходных факторов $Y_{nj}, j = \overline{1, m_{\text{вых}}}$ в комплексный показатель ресурсной ценности R_n , и, соответственно, $v_{ni}, i = \overline{1, m_{\text{вх}}}$ – неотрицательные весовые коэффициенты при входных величинах $X_{ni}, i = \overline{1, m_{\text{вх}}}$.

Выбор отрицательно влияющих на ресурсную ценность входных величин $X_{ni}, i = \overline{1, m_{\text{вх}}}$ осуществляется так, чтобы увеличение каждой из них приводило к снижению величины ресурсной ценности, а выбор выходных величин $Y_{nj}, j = \overline{1, m_{\text{вых}}}$, наоборот, осуществляется таким образом, чтобы увеличение каждой из них приводило к росту ресурсной ценности.

При оценке ресурсной ценности существенное значение имеет отношение массы светлых нефтепродуктов M_n^{ce} к суммарной массе вредных примесей и воды M_n^{ep} , являющееся фактором, положительно влияющим на ресурсную ценность (см. табл. 1).

Тогда модель объекта размещения отходов может быть представлена в виде блока (см. рисунок), имеющего на входе вектор $X_n = (X_{ni} = p_{ni}^m), i = \overline{1, 4}$ параметров, отрицательно влияющих на ресурсную ценность, а на выходе – вектор $Y_n = (Y_{nj}), j = \overline{1, 2}$ факторов, положительно влияющих на ресурсную ценность: $Y_{n1} = p_{n5}^m; Y_{n2} = M_n^{ce} / M_n^{ep}$ (см. табл. 1).



Модель n -го объекта хранения отходов для оценки его сравнительной ресурсной ценности

Согласно DEA-методу, для сравнительной оценки ресурсной ценности каждого из $N=12$ объектов хранения отходов Самарского региона формулируются и последовательно решаются задачи математического программирования для $n = 1, 2, \dots, N$, каждая из которых может быть записана следующим образом:

$$R_n(X_n, Y_n) = \frac{\sum_{j=1}^2 u_{nj} Y_{nj}}{\sum_{i=1}^4 v_{ni} X_{ni}} \rightarrow \max_{(U_n, V_n) \in G} \quad (4)$$

при

$$\frac{\sum_{j=1}^2 u_{nj} Y_{nj}}{\sum_{i=1}^4 v_{ni} X_{ni}} \leq 1; u_{nj} \geq 0, j = \overline{1, 2}; v_{ni} \geq 0, i = \overline{1, 4}, \quad (5)$$

где $V_n = (v_{ni}), i = \overline{1, 4}; U_n = (u_{nj}), j = \overline{1, 2}$ – векторы весовых коэффициентов при входных и выходных параметрах соответственно n -того объекта хранения.

Как видно из рассчитанных относительных DEA-оценок (см. табл. 2), максимальное значение сравнительной ресурсной ценности (100 %) имеют объекты № 1, 2, 7, 9, которые образуют так называемую границу максимальной ресурсной ценности, относительно которой располагаются остальные исследуемые объекты.

Имея информацию об относительной оценке ресурсной ценности R_n каждого из 12 объектов, можно соответствующим образом проводить их ранжирование, т. е. дифференцировать ресурсные источники анализируемой группы по эффективности использования отходов каждого объекта в качестве ресурсов для вторичной промышленной переработки. В рассматриваемом случае можно выделить четыре подгруппы объектов хранения, имеющих сопоставимую ресурсную ценность:

– 1-я подгруппа: объекты хранения с высокой относительной ресурсной ценностью – от 90 до 100 % (№ 1, 2, 7–9, см. табл. 2);

– 2-я подгруппа: объекты хранения со средним уровнем сравнительной ресурсной ценности – от 75 до 89 % (№ 3, 4, 6, 12, см. табл. 2);

– 3-я подгруппа: объекты хранения с низким уровнем относительной ресурсной ценности – от 50 до 74 % (№ 10, 11 см. табл. 2);

– 4-я подгруппа: объекты хранения отходов, применение которых в качестве вторичных ресурсов нельзя считать целесообразным, т. е. объекты с относительной ресурсной ценностью ниже 50 % (№ 5, см. табл. 2).

Полученные результаты позволяют формировать эффективные управленческие решения относительно утилизации отходов, размещаемых в анализируемой группе объектов.

Выводы

Рассмотренный в статье подход позволил дифференцировать объекты хранения отходов Самарского региона по степени их пригодности для использования в качестве вторичных ресурсов переработки, которая, в свою очередь, определялась с помощью оценки ресурсной ценности, рассчитываемой на основе данных

о количественном и качественном физико-химическом компонентном составе отходов.

На основе DEA-метода проведена сравнительная оценка ресурсной ценности анализируемой группы, включающей 12 объектов хранения нефтесодержащих отходов Самарского региона, что позволило выделить подгруппы объектов с высокой, средней и низкой ресурсной ценностью, а также подгруппу объектов, применение которых в качестве вторичных ресурсов нельзя считать целесообразным.

Таблица 1

Параметры объектов размещения отходов

| № п/п, <i>n</i> | Наименование объекта размещения отходов | Входные параметры модели X_{ni} , $i=1,2,3,4$ | | | | Выходные параметры модели Y_{nj} , $j=1,2$ | |
|-----------------|---|---|-----------------------------|----------------|----------------|--|--|
| | | Средневзвешенное содержание компонентов нефтешлама на объекте размещения отходов, %/т | | | | | Отношение массы светлых нефтепродуктов к общей массе примесей и воды M_n^{cs} / M_n^{ep} |
| | | Асфальтены, смолы, P_{n1} | Минеральная часть, P_{n2} | Сера, P_{n3} | Вода, P_{n4} | Светлые нефтепродукты, P_{n5} | |
| 1 | Амбар № 1 | 9,30 | 14,27 | 0,58 | 17,33 | 58,52 | 1,41 |
| 2 | Амбар № 2 | 13,21 | 16,27 | 0,84 | 7,81 | 64,79 | 1,84 |
| 3 | Амбар № 4 | 14,34 | 10,05 | 0,85 | 57,74 | 51,48 | 1,06 |
| 4 | Амбар № 5 | 1,08 | 13,40 | 0,36 | 58,92 | 7,56 | 0,08 |
| 5 | Дрип на газопроводе | 7,14 | 2,45 | 1,03 | 69,13 | 16,23 | 0,19 |
| 6 | Илонакопитель № 1 | 7,43 | 8,14 | 0,58 | 52,65 | 38,19 | 0,62 |
| 7 | Илонакопитель № 2 | 9,77 | 1,25 | 1,24 | 22,41 | 66,69 | 2,00 |
| 8 | Илонакопитель № 3 | 9,24 | 2,07 | 1,06 | 24,21 | 58,61 | 1,42 |
| 9 | Илонакопитель № 4 | 8,62 | 2,87 | 1,27 | 28,55 | 62,39 | 1,66 |
| 10 | Илонакопитель № 5 | 4,58 | 6,37 | 0,96 | 63,72 | 21,44 | 0,27 |
| 11 | Илонакопитель № 7 | 5,95 | 5,85 | 1,20 | 61,95 | 36,08 | 0,56 |
| 12 | Илонакопитель № 8 | 5,67 | 6,26 | 1,26 | 50,12 | 41,76 | 0,72 |

Таблица 2

Массы слоев в объектах размещения отходов и интегрированная DEA-оценка

| № п/п, <i>n</i> | Наименование объекта размещения отходов | Масса слоя, т | | | Интегральная DEA-оценка R_n |
|-----------------|---|---------------|---------------------|-------------|-------------------------------|
| | | Верхний слой | Средний слой | Нижний слой | |
| 1 | Амбар № 1 | 200,6 | 477,1 | 401,9 | 1 |
| 2 | Амбар № 2 | 25,8 | $4 \cdot 10^{-7}$ | 81,9 | 1 |
| 3 | Амбар № 4 | 40,9 | $1,4 \cdot 10^{-7}$ | 58,5 | 0,8047 |
| 4 | Амбар № 5 | 77,8 | 827,0 | 245,5 | 0,7531 |
| 5 | Дрип на газопроводе | 15,3 | 185,3 | 15,5 | 0,28 |
| 6 | Илонакопитель № 1 | 4464,3 | 4599,4 | 2919,5 | 0,8278 |
| 7 | Илонакопитель № 2 | 2401,2 | 2651,0 | 1550,4 | 1 |
| 8 | Илонакопитель № 3 | 2191,4 | 5558,0 | 1991,0 | 0,9991 |
| 9 | Илонакопитель № 4 | 1534,7 | 1671,7 | 957,7 | 1 |
| 10 | Илонакопитель № 5 | 2527,6 | 6340,7 | 2454,4 | 0,5129 |
| 11 | Илонакопитель № 7 | 2033,2 | 2223,3 | 1170,2 | 0,6886 |
| 12 | Илонакопитель № 8 | 2166,7 | 2352,4 | 1095,1 | 0,8701 |

Достоинства рассматриваемого метода заключаются в отсутствии субъективного фактора при сравнении объектов с различными анализируемыми параметрами, а также в возможности сопоставлять при анализе объекты с параметрами, имеющими различный физический смысл и измеряемыми в различных единицах.

Необходимо отметить, что DEA-методика дает относительную, а не абсолютную оценку ресурсной ценности, т. е. она определяет, насколько каждый конкретный объект эффективен с точки зрения вторичного использования по отношению ко всем другим объектам анализируемого множества, что является ключевой особенностью рассмотренного подхода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Быков Д.Е.* Комплексная многоуровневая система исследования и переработки промышленных отходов: Дис. ... докт. техн. наук: 03.00.16 / СамГТУ и СГАСА. – Самара, 2004. – 303 с.
2. *Мазлова Е.А., Мещеряков С.В.* Проблемы утилизации нефтешламов и способы их переработки. – М.: Ноосфера, 2001. – 56 с.
3. *Мухтаров Я.С., Суфиянов Р.Ш., Дашков В.А.* Анализ источников образования нефтесодержащих отходов / Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 17. – С. 220-223.
4. *Пряничникова В.В., Бикбулатов И.Х., Бахонина Е.И.* Рекультивация нефтешламовых амбаров с использованием геомембранной пленки и нефтезагрязненных почв // Башкирский химический журнал. – 2013. – Т. 20. – № 1. – С. 22-27.
5. *Ермаков В.В.* Классификация нефтешламонакопителей и прогнозирование процесса биодеградации отходов при их ликвидации: Дис. ... канд. техн. наук: 03.00.16 / СамГТУ. – Самара, 2010. – 132 с.

Статья поступила в редакцию 14 января 2017 г.

DIFFERENTIATION OF OBJECTS OF STORAGE OF OIL-CONTAINING WASTES OF THE SAMARA REGION ON THE BASIS OF COMPARATIVE EVALUATION OF THEIR RESOURCE VALUES

D.V. Kashirskikh

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443110, Russian Federation

The paper is devoted to the problem of comparative evaluation of the resource value of storage facilities for oil-containing wastes on the basis of the analysis of data on the physico-chemical composition of waste in order to differentiate resource sources in the analyzed group. The application of DEA (Data Envelopment Analysis) method allows to obtain a relative estimation of the resource value, i.e. it determines effectiveness of each particular object from the point of view of secondary use with respect to all other objects of the analyzed set. An example of the application of the developed methodology to the problem of comparative evaluation of the resource value of a group consisting of twelve waste storage facilities of the oil refining industry in Samara region is given.

Keywords: *waste oil industry, oil-containing sludge, resource value, differentiation of storage facilities, secondary use, data envelopment analysis.*

Dmitry V. Kashirskikh, Postgraduate Student.