

Оценка эффективности восстановления ресурсов из отходов

В статье рассмотрены теоретические и методические аспекты извлечения ресурсоценных компонентов из отходов и их использования в народном хозяйстве, а также предложена методика оценки эффективности процесса восстановления ресурсов из отходов.

Ключевые слова: отходы, ресурсы, эффективность, цена, затраты.

Целью данной статьи является оценка эффективности восстановления ресурсов из отходов (ВРО). Для достижения поставленной цели в статье будут рассмотрены теоретические и методические аспекты извлечения ресурсов из отходов (ИРО) и их использование в народном хозяйстве.

Экономическое содержание понятия «восстановление ресурсов из отходов», на наш взгляд, можно рассматривать как:

- 1) метод обращения с отходами, ориентированный на получение вторичного ресурса из отходов (как альтернатива методам их уничтожения и удаления);
- 2) процесс извлечения вторичного сырья из отходов и его использование в народном хозяйстве;
- 3) различного рода деятельность (экономическую, правовую, научную, инновационную, инвестиционную, организационную) субъектов экономической системы, которая направлена на формирование спроса и предложения на продукты, переработка которых технически возможна, вторичные ресурсы, продукты, произведенные с использованием вторичного ресурса, а также услуги по извлечению ресурсоценных компонентов из отходов для обеспечения возврата материального ресурса в систему «производство-потребление».

К принципам ВРО как процесса можно отнести следующие:

- многократное использование материалов, полученных из отходов;
- экономическая целесообразность извлечения ресурсоценных компонентов из отходов конечных продуктов;
- максимально возможное извлечение ценных компонентов из отходов;
- экологически приемлемое ресурсоизвлечение;
- максимально возможная замена первичного ресурса вторичным и др.

Можно выделить направления ВРО, различающиеся по степени извлечения ресурсоценных компонентов и величине затрат, связанных с их получением:

- 1) полное восстановление ресурсов, не требующее мероприятий, связанных с их сортировкой, предварительной обработкой и/или переработкой (промышленные отходоудного предприятия, которые могут потребляться другим предприятием);
- 2) полное ВРО, предполагающее повторное использование ресурса по первоначальному его назначению и такое, что требует проведения мероприятий, связанных с сортировкой и предварительной обработкой вторичного сырья (стеклянная тара);
- 3) полное ресурсовосстановление, которое предполагает получение вторичного ресурса и его использование в изготовлении исходного продукта (металлолом, техническое масло, макулатура);
- 4) частичное ВРО, которое заключается в переработке отходов с целью получения ресурсоценных компонентов и использовании полученного ресурса для производства исходного продукта (продукты, составляющие части которых могут перерабатываться, – метод амальгамирования, применяемый к батарейкам и электрическим приборам);
- 5) частичное ресурсовосстановление, которое предполагает использование частично извлеченного ресурса по другому назначению (упаковочный бумажный картон – для производства строительного материала – гипсокартона);
- 6) частичное ВРО, при котором вторичный ресурс используется для производства принципиально нового продукта (стеклобой – для производства облицовочной плитки).

Первые три направления ресурсовосстановления характеризуются минимальным уровнем потерь ресурса. Последние три из указанных выше направлений ВРО имеют определенную степень потерь заключенных в отходах ресурсов. В случае, когда меняется назначение использования ресурса, эти потери сравнительно высоки, поскольку ресурсная ценность продукта (ставшего отходами), используемого по первоначальному назначению, безвозвратно теряется. Изменение назначения ресурса, заключенного в отходах, обусловлено неоправданными затратами материальных и энергетических ресурсов, необходимых для ИРО.

Таким образом, каждое из отмеченных направлений ВРО характеризуется своим ресурсным

потенциалом.

Выбор направления ВРО для каждого вида отходов определяется техническими характеристиками и свойствами отходов, а также зависит от технического и экономического потенциала региона.

Практически все отходы имеют остаточную ресурсную ценность. Зачастую потери ресурсов в процессе обращения с отходами происходят в случае:

а) технической невозможности и экономической нецелесообразности получения вторичных ресурсов из отходов;

б) неполного извлечения ресурсоценных компонентов из отходов (при существующих технических, технологических и экономических возможностях более высокой степени извлечения ресурса);

в) изменения первоначального назначения ресурса, заключенного в отходах (когда отходы используются для производства принципиально нового продукта).

Вместе с тем сам процесс ИРО требует затрат материальных и энергетических ресурсов. Уровень этих затрат меняется в зависимости от направления ВРО. Для первого и второго направлений такие затраты минимальны. Третье и четвертое направления требуют определенных затрат материальных и энергетических ресурсов. Важно отметить, что извлечение ресурсов из определенных видов отходов (относящихся к пятому и шестому направлениям ВРО) без изменения его первоначального назначения требует неоправданных затрат. Это делает невозможным сохранение заключенной в отходах исходной ресурсной ценности. Восстановление ресурса с изменением его первоначального назначения позволяет существенно снизить затраты на переработку отходов, однако вместе с этим безвозвратно теряется первоначальная ресурсная ценность.

Максимально возможный объем вторичных ресурсов, который может быть извлечен из отходов, можно определить следующим образом:

$$V_{t(q)}^{\max} = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij} * k_{\dot{e}\dot{c}\dot{a}\dot{e}\dot{y}}^{\max} \right) * N_j = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{ij}, \quad (1)$$

где $V_{t(q)}^{\max}$ – общий объем вторичных ресурсов, который может быть извлечен из отходов, образованных за период t в регионе q ;

X_{ij} – объем i -го ресурса, содержащегося в j -м виде отходов (j -м продукте, ставшим отходом);

$k_{\dot{e}\dot{c}\dot{a}\dot{e}\dot{y}}^{\max}$ – коэффициент максимально возможного извлечения i -го ресурса из j -го вида отходов;

N_j – количество j -го вида отходов, образовавшихся за период t ;

R_{ij} – максимально возможное количество i -го ресурса, которое может быть извлечено из j -го вида отходов за период t в регионе q .

Коэффициент максимально возможного извлечения i -го ресурса из j -го вида отходов ($k_{\dot{e}\dot{c}\dot{a}\dot{e}\dot{y}}^{\max}$) можно определить как

$$k_{\dot{e}\dot{c}\dot{a}\dot{e}\dot{y}}^{\max} = 1 - k_{i_y}^t, \quad (2)$$

где $k_{i_y}^t$ – коэффициент потерь i -го ресурса в j -м виде отходов по причине технической невозможности и экономической нецелесообразности его извлечения.

Фактический объем извлечения вторичных ресурсов из отходов за период t в регионе q можно определить следующим образом:

$$V_{t(q)}^{\dot{o}\dot{a}\dot{e}\dot{o}} = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij} * k_{\dot{e}\dot{c}\dot{a}\dot{e}\dot{y}}^{\dot{o}\dot{a}\dot{e}\dot{o}} \right) * N_j = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Y_{ij}, \quad (3)$$

где $V_{t(q)}^{\dot{o}\dot{a}\dot{e}\dot{o}}$ – общий объем вторичного ресурса, который фактически извлекается из отходов, образованных за период t в регионе q ;

Y_{ij} – объем i -го вторичного ресурса, фактически извлеченного из j -го вида отходов за период t в регионе q ;

$k_{\dot{e}\dot{c}\dot{a}\dot{e}\dot{y}}^{\dot{o}\dot{a}\dot{e}\dot{o}}$ – коэффициент фактического извлечения i -го ресурса из j -го вида отходов.

Значение коэффициента $k_{\dot{e}\dot{c}\dot{a}\dot{e}\dot{y}}^{\dot{o}\dot{a}\dot{e}\dot{o}}$ можно определить как

$$k_{\dot{e}\dot{c}\dot{a}\dot{e}\dot{y}}^{\dot{o}\dot{a}\dot{e}\dot{o}} = k_{\dot{e}\dot{c}\dot{a}\dot{e}\dot{y}}^{\max} - k_{i_y}^y, \quad (4)$$

где k_{ij}^y – коэффициент потерь i -го ресурса в j -м виде отходов по причине их неполного извлечения.

Исходя из максимально возможного и фактического объема ИРО, можно определить величину недоизвлеченного объема ресурсов из отходов за период t в регионе q , а именно:

$$Z_p^{t(q)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Y_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Z_{ij}, \quad (5)$$

где $Z_p^{t(q)}$ – общий объем вторичного ресурса, недоизвлеченного из отходов за период t в регионе q ;

Z_{ij} – объем i -го вторичного ресурса, недоизвлеченного из j -го продукта за период t в регионе q .

Вместе с тем сам процесс ИРО требует материальных и энергетических ресурсов. Уровень затрат меняется в зависимости от его направления ВРО (см. выше).

Затраты на ИРО можно определить как

$$C_p^{t(q)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m K_{ij} * N_j = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij}, \quad (6)$$

где $C_p^{t(q)}$ – сумма затрат на ИРО за период t в регионе q ;

N_j – количество j -го вида отходов, образованных за период t в регионе q ;

K_{ij} – удельные затраты на извлечение i -го вторичного ресурса из j -го вида отходов;

C_{ij} – затраты на извлечение i -го вторичного ресурса из j -го вида отходов за период t в регионе q .

Эффект от извлечения ресурсоценных компонентов за период t в регионе q можно определить как

$$E_{res}^{t(q)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Y_{ij} * P_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij}, \quad (7)$$

где P_{ij} – цена реализации i -го вторичного ресурса, извлеченного из j -го продукта;

Y_{ij} – объем i -го вторичного ресурса, фактически полученного из j -го вида отходов за период t в регионе q ;

C_{ij} – затраты на извлечение i -го вторичного ресурса из j -го вида отходов за период t в регионе q .

Эффективность ИРО в регионе q за период t можно определить следующим образом:

$$EE_{res}^{t(q)} = \frac{E_{res}^{t(q)}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij}}. \quad (8)$$

Эффективность извлечения i -го вторичного ресурса из j -го продукта можно определить как отношение эффекта и затрат:

$$EE_{res_{ij}} = \frac{Y_{ij} * P_{ij} - C_{ij}}{C_{ij}}. \quad (9)$$

При планировании деятельности по извлечению ресурсов из отходов необходимо оценивать альтернативные варианты технологических схем переработки отходов. Если ориентироваться на максимально возможную степень извлечения ресурсов, выбирается тот вариант утилизации отходов, по которому объем ресурсовосстановления будет максимальным (табл. 1).

Таблица 1 – Оценка альтернативных вариантов степени извлечения ресурсов из отходов

| Ресурсы, содержащиеся в отходах определенного вида | Степень восстановления i -го ресурса из отходов определенного вида при различных альтернативных вариантах его утилизации | | | | Максимальная степень извлечения n -ресурсов из определенного вида отходов по j -му варианту его утилизации |
|--|--|----------|-----|----------|--|
| | Вар.1 | Вар.2 | ... | Вар. t | |
| Ресурс 1 | K_{11} | K_{12} | ... | K_{1t} | |
| Ресурс 2 | K_{21} | K_{22} | ... | K_{2t} | |
| ... | ... | ... | ... | ... | |

| | | | | | |
|---|----------|----------|-----|----------|----------------|
| Ресурс n | K_{n1} | K_{n2} | ... | K_{nt} | |
| Степень извлечения ресурсов из определенного вида отходов по j -й альтернативной технологии переработки | K_{n1} | K_{n2} | ... | K_{nt} | K_{nj}^{max} |

Однако в этом случае учитывается результат восстановления ресурса и без внимания остается оценка эффективности этого процесса. Таким образом, при выборе технологической схемы переработки отходов необходимо учитывать величину полученного эффекта на единицу затрат (табл. 2).

Стоимость любого ресурса, как первичного, так и вторичного, представляет собой функцию целого ряда факторов. На стоимость вторичного сырья влияют его количество, качество, доступность, технология переработки, затраты на удаление не утилизируемых отходов, расходы на транспортировку, технология производства конечной продукции, технические условия на продукцию, расходы на транспортировку конечной продукции к рынку [2]. При оценке эффективности технологий переработки отходов с целью получения вторичного сырья оцениваются только те ресурсоценные компоненты, извлечение которых является технически возможным и экономически целесообразным. Кроме того, цена вторичного ресурса должна быть конкурентоспособной по сравнению с ценой на первичный ресурс.

При прочих равных условиях (качество вторичного ресурса отвечает требованиям его потребителей, а цена не выше цены первичного), учитывая общие совокупные затраты на извлечение ресурсов из отходов и затраты на его сбыт потребителю (связанные с поиском потенциальных потребителей на вторичный ресурс), выбирается тот альтернативный вариант утилизации определенного вида отходов, по которому показатель эффективности будет максимальным.

Таблица 2 – Оценка эффективности альтернативных вариантов извлечения ресурсов из отходов

| Ресурсы, которые содержатся в отходах определенного вида | Цена реализации i -го извлеченного ресурса | Затраты на сбыт i -го вторичного ресурса | Объем извлечения i -го ресурсоценного компонента при различных альтернативных вариантах переработки определенного вида отходов | | | | Затраты на извлечение i -го ресурсоценного компонента при различных альтернативах переработки отходов определенного вида | | | | Эффективность извлечения ресурсов из определенного вида отходов по каждому альтернативному варианту его переработки | | | |
|--|--|--|--|----------------|--|----------------|--|----------------|--|----------------|---|-----------|--|--------------|
| | | | В _а р.1 | В ар.2 | | В ар. t | В ар.1 | В ар.2 | | В ар. t | В ар.1 | В ар.2 | | В ар. t |
| Ресурс 1 | P_1 | U_1 | Y_{11} | Y_{12} | | Y_{1t} | C_{11} | C_{12} | | C_{1t} | E_{11} | E_{12} | | E_{1t} |
| Ресурс 2 | P_2 | U_2 | Y_{21} | Y_{22} | | Y_{2t} | C_{21} | C_{22} | | C_{2t} | E_{21} | E_{22} | | E_{2t} |
| ... | ... | ... | ... | ... | | ... | ... | ... | | ... | ... | ... | | ... |
| Ресурс n | P_n | U_n | Y_{n1} | Y_{n2} | | Y_{nt} | C_{n1} | C_{n2} | | C_{nt} | E_{n1} | E_{n2} | | E_{nt} |
| | - | - | $\sum_{i=1}^n$ | $\sum_{i=1}^n$ | | $\sum_{i=1}^n$ | $\sum_{i=1}^n$ | $\sum_{i=1}^n$ | | $\sum_{i=1}^n$ | E_1 | E_2 | | E_t |

При вовлечении полученных вторичных ресурсов в хозяйственный оборот нужно учитывать степень замены первичного ресурса вторичным, которая зависит от качественных характеристик полученных вторичных ресурсов. Для всех, кроме последних двух, направлений ВРО (указанных выше) предпосылки таких характеристик закладываются на этапе проектирования продукта, техники и технологии его производства, а также материалов, из которых он будет производиться.

При этом следует выделять максимально возможный уровень замены первичного ресурса вторичным и фактический уровень такой замены.

Максимально возможный объем вторичных ресурсов, который может быть использован для производства продуктов за период t в регионе можно определить следующим образом:

$$D_{\text{áíáëä}^+(t)}^{\text{max}} = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{ij} * x_{ij}^{\text{max}} \right) * N_j^p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m H_{ij}, \quad (10)$$

где y_{ij} – количество i -го первичного ресурса, используемого для производства j -го продукта;

x_{ij}^{max} – максимально возможная степень замены i -го первичного ресурса вторичным для производства j -го продукта;

N_j^p – объем j -го вида продукции, произведенной за период t в регионе;

H_{ij} – максимально возможный объем i -го вторичного ресурса, который может быть использован для производства j -го продукта за период t в регионе.

Фактический объем использования вторичных ресурсов в регионе можно определить как

$$D_{\text{áíáëä}^+(t)} = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{ij} * x_{ij} \right) * N_j^p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m L_{ij}, \quad (11)$$

где x_{ij} – фактическая степень замены i -го первичного ресурса вторичным;

L_{ij} – объем i -го вторичного ресурса, который фактически используется в производстве j -го продукта за период t в регионе.

Объем вторичных ресурсов, которые не вовлечены в производственную систему региона за период t , можно определить как

$$D_{i.\dot{a}.(t)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m H_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m L_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m T_{ij}, \quad (12)$$

где T_{ij} – количество i -го вторичного ресурса, не используемого при производстве j -го продукта за период t в регионе (при наличии возможностей замены первичного ресурса вторичным).

Разница между достигнутым на текущий период времени уровнем использования вторичных ресурсов и его уровнем за предыдущий период представляет собой результат вовлечения вторичных ресурсов в производственную систему региона за период t .

Объем извлеченного вторичного ресурса может полностью потребляться в рассматриваемом регионе. Однако возможны ситуации, когда:

1) объем извлечения может превышать объем возможного использования вторичных ресурсов регионом.

Во-первых, это может объясняться тем, что объем его потребления ограничен максимально возможным объемом его использования (технически обоснованная степень замены первичного ресурса вторичным). В свою очередь, максимально возможная степень замены первичного ресурса вторичным зависит от качественных характеристик полученного вторичного ресурса (с улучшением его качества степень замены первичного ресурса вторичным может увеличиваться). Во-вторых, эта ситуация может возникнуть по причине неполного использования потенциала замены первичного ресурса вторичным;

2) объем возможного потребления вторичного ресурса превышает объем его извлечения из отходов за период t .

Прежде всего это может объясняться тем, что вместо метода восстановления ресурсов из отходов используется метод их удаления (путем сжигания и/или захоронения). Кроме того, такая ситуация возможна по причине технической невозможности и экономической нецелесообразности ИРО и/или в силу потерь ресурсов из-за неполного ресурсоизвлечения.

Таким образом, под ВРО в более широком смысле понимается комплекс мероприятий, направленных на получение качественного вторичного материального ресурса (способного конкурировать с первичным) и его

вовлечение в хозяйственный оборот. Как направление обращения с отходами оно предполагает использование отходов исключительно в качестве материальных, а не энергетических ресурсов, а также учитывает технические возможности переработки отходов, экономическую целесообразность и экологическую приемлемость процесса ресурсоизвлечения. Кроме того, это направление предусматривает использование вторичных ресурсов в производственной системе по более приоритетному направлению.

Вместе с тем ВРО предполагает не просто максимально возможное извлечение ресурсоценных компонентов, на которые есть спрос в народном хозяйстве, а их получение в таком объеме, который соответствует величине максимально возможного использования полученных ресурсов в производственной системе (причем цена вторичного ресурса должна быть конкурентоспособной по сравнению с первичным ресурсом). Для определения такого объема в статье предложена методика расчета фактической и максимально возможной величины получения вторичных ресурсов в регионе с учетом коэффициента технической возможности и экономической целесообразности извлечения, а также потребления этих ресурсов регионом с учетом коэффициента технической возможности замены первичного ресурса вторичным.

1. *Экономика* предприятия: учебное пособие ; под общ. ред. Л. Г. Мельника. – Сумы : ИТД «Университетская книга», 2002. – 632 с.
2. *Использование* вторичных ресурсов. Экономические аспекты; под редакцией Давида У. Пирса и Инго Уолтера. – М. : Экономика, 1981.

Получено 01.03.2010 г.

Т.І. Шевченко

Оцінка ефективності відновлення ресурсів з відходів

У статті розглянуто теоретичні та методичні аспекти вилучення ресурсоцінних компонентів з відходів та їх використання в народному господарстві, а також запропоновано методику оцінки ефективності процесу відновлення ресурсів з відходів.

Ключові слова: відходи, ресурси, ефективність, ціна, витрати.

T.I. Shevchenko

Effectiveness evaluation of resources restoration from wastes

In the article theoretic and methodic aspects of retrieving resource-valuable components from wastes and its using in production system are reviewed, effectiveness evaluation methodic of the process of resources restoration from wastes is proposed.

Keywords: waste, resources, efficiency, cost, cost.