

## ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

УДК 628.4.034

doi: 10.31498/2225-6733.36.2018.143038

© Волошин В.С.\*

### ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ МНОГОЦИКЛОВОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ

Главная особенность современных способов переработки отходов – это их одноцикловость. В юбилейном докладе аналитиков Римскому клубу «Соме оп» в 2018 году подчеркивается, что несмотря на развитый инжиниринг в области переработки отходов, их количество в мире не сокращается даже в развитых странах, таких как США, Швеция, Германия, Великобритания, – стран, где эффективно занимаются переработкой отходов. Наиболее радикальным остается способ сжигания тех отходов, которые к этому приспособлены, с получением другого отхода в виде золы. Другие отходы, так или иначе, в конечном итоге, не перерабатываются. В особенности это относится к заранее структурированным по материалам послеэксплуатационным отходам. Одним их выходов видится создание технологий многоциклового переработки таких отходов, что становится важнейшим фактором экономии природных ресурсов. Основным ограничением в таких технологиях может быть интегральная энтропия каждого последующего способа переработки таких отходов. Именно она является критерием, отражающим способность к получению из конкретного отхода некоторой ликвидной продукции на очередном этапе его переработки. Показано, что каждый последующий этап переработки послеэксплуатационного отхода может стать последним, если суммарные затраты энергии определенного качества не приведут к появлению нового товарного продукта, обладающего полезными качествами. Экологическая инженерия владеет только некоторыми из таких многоциклового технологий переработки. Однако существует возможность системного объединения отдельных технологий, которые в виде единого технологического кластера позволят последовательно изменять состояние каждого послеэксплуатационного отхода, доводя его до состояния ликвидной продукции.

**Ключевые слова:** отходы, способы переработки, затратность, экономия природных ресурсов, энергоэнтропийность переработки отходов, качество энергии.

**Волошин В.С. Перспективи та можливості багатоциклової переробки відходів.** Головна особливість сучасних способів переробки відходів – це їх одноцикловість. У ювілейній доповіді аналітиків Римському клубу «Соме оп» в 2018 році підкреслюється, що незважаючи на розвинений інжиніринг в області переробки відходів, їх кількість в світі не скорочується навіть в розвинених країнах, таких як США, Швеція, Німеччина, Великобританія, – країн, де ефективно займаються переробкою відходів. Найбільш радикальним залишається спосіб спалювання тих відходів, які до цього пристосовані, з отриманням іншого відходу у вигляді золы. Інші відходи, так чи інакше, в кінцевому підсумку, не переробляються. Особливо це відноситься до заздалегідь структурованим за матеріалами послеексплуатаційних відходів. Одним з виходів бачиться створення технологій багатоциклової переробки таких відходів, що стає найважливішим фактором економії природних ресурсів. Основним обмеженням в таких технологіях може бути інтегральна ентропія кожного наступного способу переробки таких відходів. Саме вона є критерієм, що відображає здатність до отримання з конкретного відходу деякої ліквідної продукції.

\* д-р техн. наук, професор, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь

кції на черговому етапі його переробки. Показано, що кожний наступний етап переробки послеексплуатаційного відходу може стати останнім, якщо сумарні витрати енергії певної якості не призведуть до появи нового товарного продукту, що володіє корисними якостями. Екологічна інженерія володіє тільки деякими з таких багатоциклових технологій переробки. Однак існує можливість системного об'єднання окремих технологій, які у вигляді єдиного технологічного кластера дозволять послідовно змінювати стан кожного послеексплуатаційного відходу, доводячи його до стану ліквідної продукції.

**Ключові слова:** відходи, способи переробки, витратність, економія природних ресурсів, енергоентропійність переробки відходів, якість енергії.

*V.S. Voloshin. Prospects and opportunities of multi-cycle waste processing. The main feature of modern methods of waste processing is their one-cycle nature. The Roman Club «Come on» jubilee report of the analysts, in 2018 stresses that, despite the development of engineering in the field of waste processing, the amount of wastes in the world is not decreasing, even in the developed countries such as the USA, Sweden, Germany and the United Kingdom, where waste processing is effectively handled. Burning the wastes that can be burnt still remains the most radical way of getting rid of them while getting ash as another kind of waste. Other wastes, one way or another, are ultimately not processed. In particular, this refers to pre-structured in materials post-operational waste. One of the ways out is the creation of technologies for multi-cycle processing of such wastes, which becomes an important factor in saving natural resources. The main limitation in such technologies can be the integral entropy of each subsequent method of processing such wastes. It is the criterion that reflects the ability to receive from a particular waste some ready products at a succeeding stage of its processing. It has been shown that each subsequent stage of post-exploitation waste processing may become the last one if the total expenditure of a certain quality energy does not result in a new commodity product with useful qualities. Environmental engineering has only some of such multi-cycle processing technologies at its disposal. However, it is possible to systematically combine separate technologies that, in the form of a single technological cluster, will make it possible to consistently change the state of each post-operational waste, bringing it to the state of a ready product.*

**Keywords:** waste, ways of processing, cost, saving of natural resources, energy-entropy of waste processing, energy quality.

**Постановка проблеми.** Технологии переработки отходов также приносят отходы. Это относится и к переработке послеексплуатационных отходов. В конечном результате большая часть любой товарной продукции, так или иначе, становится отходом и загрязняет окружающую природную среду. Выходом из этого замкнутого круга могут стать технологий многоциклового переработки послеексплуатационных отходов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Сегодня не существует проблем с созданием способов и технологий переработки отходов. Науке известны сотни, если не тысячи, технологий переработки практически всех видов отходов – от бытовых (пищевых, полимерных, стекла и др.) до промышленных, источником которых являются все те же минеральные или сырьевые ресурсы.

Как правило, любые известные технологии переработки отходов является весьма затратными. Это уже аксиома. Но выбирать есть из чего. Новые способы переработки отходов возникают не так часто именно потому, что этот вопрос на данном уровне технологических укладов достаточно проработан, обеспечен практикой и технической реализацией. Человеку не надо «изобретать велосипед». Достаточно обратиться к существующему опыту. Выбор заключается в экономичности, энергоэффективности этих технологий, потребительской ценности продукта, получаемого из отхода.

Главная особенность таких способов переработки отходов – это их одноцикличность. На это обращается внимание и в юбилейном докладе аналитиков Римскому клубу «Come on» [1] в 2018 году. Цикличность переработки отходов становится важнейшим фактором экономии ре-

сурсов.

**Цель работы** – привлечь внимание к многоцикловым системам переработки послеэксплуатационных отходов, как способ минимизации отхообразованя. В качестве критерия эффективности переработки предлагается интегральная энтропия той технологии, которая приводит к получению новой товарной продукции.

**Изложение основного материала.** Очевидным является, что технология переработки отходов – это тоже процесс, связанный с получением своей порции отходов, только более энергозатратный [2]. И получаемый из отхода новый полезный продукт – это, как правило, более низколиквидный товар, которые имеет свои ограниченные эксплуатационные ресурсы. Поэтому после окончания эксплуатации эти продукты вновь получают статус отходов и могут подлежать очередной переработке. И так до бесконечности (?). Можно говорить, что сегодня вопросы технологии переработки конкретного отхода следует рассматривать не только с позиций их энергоэффективности, экономичности, экологичности и т. д., но и с точки зрения обеспеченности многоциклового ступенчатой переработки, как ресурса максимально допустимого использования вещества.

Таких технологий пока весьма ограниченное количество. Но это должно быть взглядом в будущее. Эффективность первичной переработки отхода может с успехом перекрываться его последующими освоениями посредством запуска многоциклового процесса «отход – товарный продукт – отход – товарный продукт – .....», который в итоге поэтапно максимально отдал бы свои потребительские качества человеку.

Что является основанием считать после переработки конкретный отход новой товарной продукцией? Видимо его энергоэнтропийные свойства. А после еще одной переработки как послеэксплуатационного отхода? Также его энергоэнтропия? Мы утверждаем, что в любом производстве существует своя энергоэнтропика, различным образом относящаяся к получению товарной продукции и к получению основного отхода. Это так называемое свойство термодинамического двуединства производственных систем [3]. Если полезный продукт этого процесса получается в результате формирования в нем свойств сильной энергетической неравновесности, то отходы – это продукт аналогичного преобразования в слабонеравновесных системах, которые существуют параллельно с сильно неравновесными энергетическими процессами в рамках того же самого производства (рис. 1). Поэтому, как правило, товарная продукция конкретного производственного процесса обладает качествами системности, минимумом энтропии того, что проявляется, прежде всего, в ее эксплуатационных свойствах. А отход не имеет товарного качества в силу высокой энергоэнтропийности и отсутствия системных качеств, которые характерны для потребительского товара.

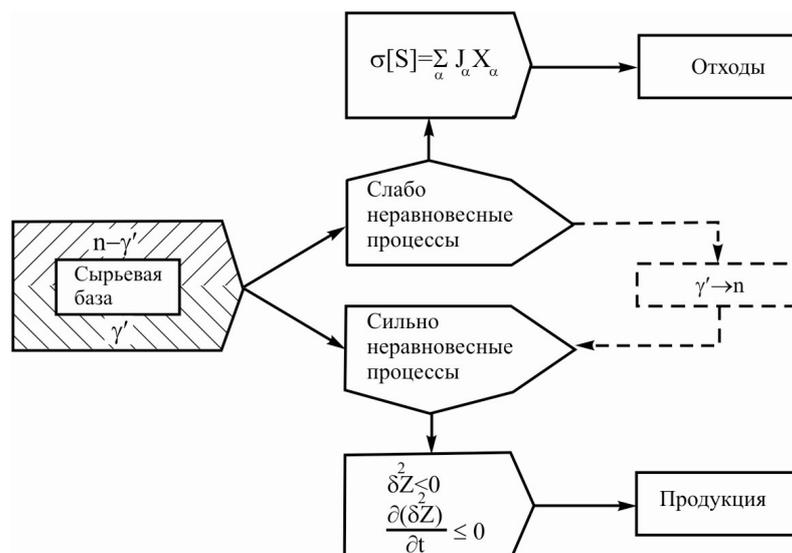


Рис. 1 – Схема реализации принципа термодинамического двуединства в производственных системах

Эти качества отходов могут восстанавливаться в ходе их последующей переработки. Для этого нужны новые источники энергии, новые условия сильной неравновесности в совершенно ином производственном процессе переработки этого отхода. В результате получается некий продукт, который приобретает новые потребительские качества. Уровень этих качеств будет зависеть от качества новой энергии, эффективности ее использования в технологии переработки искомого отхода, условий минимизации общей энтропии производящей системы.

Для того чтобы отход превратить в полезную продукцию при его переработке, необходимо затратить несколько большее количество энергии, иногда энергии иного качества, чем та, которая имела место в основном технологическом процессе. При этом энтропия системы « $P_i$ »  $\rightarrow$  « $O_i$ »  $\rightarrow$  « $P_{i+1}$ » должна уменьшаться (рис. 2). Расчетная разница  $\Delta\sigma$  на каждом этапе показывает высокую энтропийность такой многоциклового переработки, которая с каждым циклом должна возрастать ( $\sigma_{P_i} \gg \sigma_{P_0}$ ), являясь платой за полезность отхода (см. рис. 2).

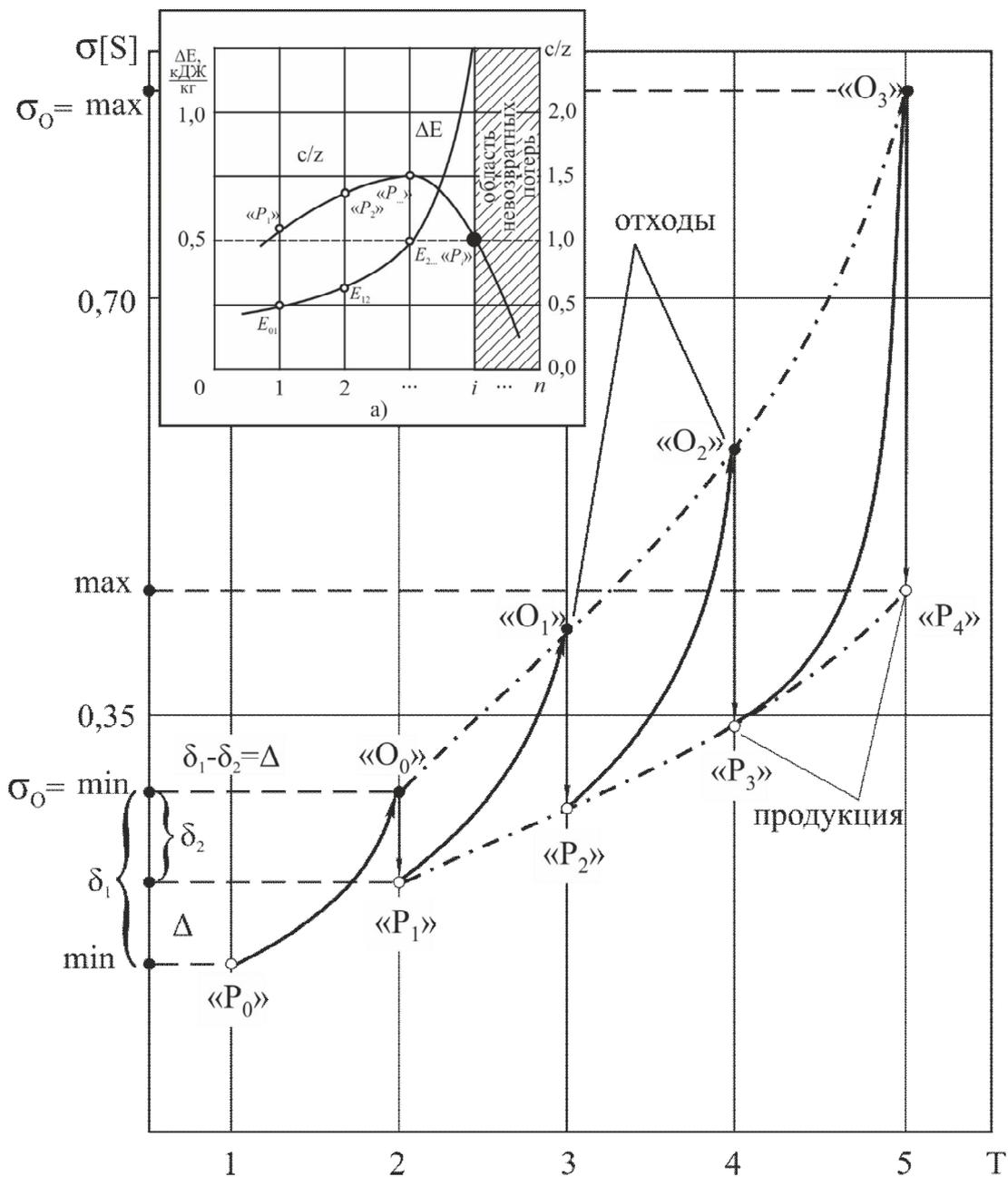


Рис. 2 – Энергоэнтропика многоциклической переработки отходов

Очевидно, что каждый новый цикл переработки отхода, требующий новой энергии во все возрастающем количестве или иного качества, дает новый ресурс потребления этих отходов. Это отражено в изменениях энтропии (см. рис. 2). Здесь  $\delta_1\sigma[S] - \delta_2\sigma[S] = \Delta\sigma$  отражает величину энергетических затрат на приобретение качеств товарной продукции «P<sub>1</sub>» из отхода «O<sub>0</sub>». Такие пары («O<sub>i</sub>» → «P<sub>i+1</sub>») с соответствующими величинами  $\Delta\sigma$  характеризуют многоцикличность переработки отходов.

Определяющими критериями таких переработок отходов может стать их энергоэффективность (E), соотнесенная с некоторой условной потребительской ценностью продукта вторичной переработки, которую можно опять-таки условно оценивать отношением стоимости полученного товарного продукта к его затратной части  $c/z$ . Существует определенный предел  $c/z < 1,0$ , при котором энергетические затраты на переработку вторичного отхода будут превышать потребность в конечном продукте, таким образом делая новый продукт невостребованным на рынке товаров (см. рис. 2, а). Это состояние при многоциклового переработке отходов можно считать предельным, ниже которого отходная часть системы не уменьшается.

Подобные многоцикловые переработки отходов, если им уделять внимание, становятся источником максимально эффективного использования внутреннего ресурса любого отхода – первичного либо вторичного, скрытого ресурса любого технологического процесса.

В инженерной экологии существует множество технологий переработки отходов, которые при определенном подходе можно собрать в некоторый системный кластер, позволяющий на каждом новом этапе появления послеексплуатационного отхода перерабатывать его до состояния повышенной ликвидности готовой продукции. Критерием системности может быть энергоэнтропийные показатели состояния таких последовательных технологий.

### Выводы

Многоцикловая переработка отходов становится источником не только многократного использования изначальных отходов, но и превращается в способ экономии природных сырьевых ресурсов. Для этого необходима только соответствующего качества энергия и соответствующие технологии.

### Список использованных источников:

1. Ulrich von Weizsacker E. Come On! Capitalism, Short-termism, Population and Destruction of the Planet. A Report to the Club of Rome / E. Ulrich von Weizsacker, A. Wijkman. – New York : Springer Science+Business Media LLC, 2018. – 220 p.
2. Данилова Т.Г. О природе отхоодообразования в производственных системах / Т.Г. Данилова, В.С. Волошин // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь, 2000. – Вип. 10. – С. 281-284.
3. Волошин В.С. Природа отхоодообразования / В.С. Волошин. – Маріуполь : Рената, 2007. – 666 с.

### References:

1. Ulrich von Weizsacker E., Wijkman A. Come On! Capitalism, Short-termism, Population and Destruction of the Planet. New York, Springer Science+Business Media LLC Publ., 2018. 220 p.
2. Danilova T.G., Voloshin V.S. O prirode othodoobrazovaniia v proizvodstvennykh sistemakh [On the nature of waste in production systems]. *Visnik Priazovs'kogo derzhavnogo tehnicnogo universitetu – Reporter of the Priazovskyi State Technical University*, 2000, iss. 10, pp. 281-284. (Rus.)
3. Voloshin V.S. *Priroda otkhodoobrazovaniia* [Nature of waste]. Mariupol', Renata Publ., 2007. 666 p. (Rus.)

Рецензент: В.А. Маслов  
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Статья поступила 07.03.2018