

ЗАМКНУТЫЙ ЦИКЛ КАК ФОРМА ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ В РАМКАХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Дорохина Е.Ю.

*ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»,
Москва, e-mail: elena_dorokhina@mail.ru*

Проведен системный анализ возможностей и границ повторного использования материалов в рамках промышленной экологии. Дана классификация невозобновляемых материалов. Отражены направления использования отдельных классов невозобновляемых материалов. Рассмотрены критерии эффективности повторного использования материалов. Приведены структурные признаки замкнутого цикла. Охарактеризованы возможные формы замкнутого цикла. Показано значение замкнутого цикла для обеспечения устойчивого развития. Рассмотрена роль энергии в обеспечении замкнутого цикла. Исследовано сжигание как возможный процесс утилизации отходов. Показана двойственная (позитивная и негативная) роль технологий для обеспечения устойчивого развития. Определено значение инновационных технологий для успешного перехода к промышленной экологии. Сделан вывод о необходимости расширенного использования существующей и испытанной устойчивой техники; инноваций и разработки новой устойчивой техники.

Ключевые слова: промышленная экология, устойчивое развитие, замкнутый цикл

RECYCLING AS MANAGING FORM IN THE FRAMEWORK OF INDUSTRIAL ECOLOGY

Dorokhina E.Yu.

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, e-mail: elena_dorokhina@mail.ru

The system analysis of opportunities and borders of a reuse of materials within industrial ecology is carried out. Classification of non-renewable materials is given. The forms of use of separate classes of non-renewable materials are reflected. Criteria of efficiency of a reuse of materials are considered. Structural signs of the recycling are given. Possible forms of the recycling are characterized. Value of the recycling for providing a sustainable development is shown. The energy role in providing the recycling is considered. Burning as recycling process is investigated. The role of technologies for providing a sustainable development is shown dual (positive and negative). Value of innovative technologies for successful transition to industrial ecology is defined. The conclusion is drawn on need of expanded use of the existing and tested sustainable technologies; innovations and development of new sustainable technologies.

Keywords: industrial ecology, sustainable development, recycling

Закрытие оборота материалов путем возврата в производство или потребления остатков производственных процессов или отслуживших срок старых продуктов и утильсырья называется замкнутым циклом. Замкнутый цикл как экономическая деятельность имеет длительные исторические традиции.

Цель нашего исследования – системный взгляд на возможности и границы возвращения материалов в рамках перехода к промышленной экологии (ПрЭ). Это – значимая и пока не решенная по ряду причин проблема. Процессы замкнутого цикла сложно охватить одним взглядом, в частности, трудно разграничить замкнутый цикл и управление отходами. Хотя известны основные структурные признаки замкнутого цикла, понятие это настолько многогранно, что даже в ПрЭ оно определяется разными способами. Для ПрЭ важны все формы замкнутого цикла – повторное использование, другое применение – во всех их проявлениях, причем переходы между названными формами часто размыты. Собственно гово-

ря, возможность повторного использования материалов в хозяйственном обороте является одной из основных необходимых предпосылок функционирования ПрЭ. Подсмотренное у природы свойство – способность разбирать сложные материалы на их исходные компоненты для нового использования последних [1]. При этом необходимо выяснить, какие формы замкнутого цикла играют существенную роль, и какие встречаются приложения. Различают 3 класса невозобновляемых материалов (см. таблица).

Эта классификация относительна, так как технические возможности и экономические условия постоянно меняются, и участникам процессов не всегда известно, к какому классу относится материал.

Переход к ПрЭ требует, во-первых, увеличения использования в промышленных производственных процессах материалов из классов I и II, во-вторых, избегания материалов из класса III, в-третьих, нахождения путей компенсации незаменимых материалов из класса III с помощью инноваций в классах I и II. Разумеется, в классе III речь

идет, прежде всего, о сильно диссипативных материалах, которые при применении рассеиваются в окружающей среде. Границы их повторного использования определяются лишь законами термодинамики, но с увеличением их применения необходимые издержки стремятся к бесконечности.

Экономическую границу замкнутого цикла разных материалов обуславливает отношение доли привлекательного сырья в природных материалах к его доле во вторичных материалах. Чем меньше эта величина, тем выгоднее обратное получение. При отношении существенно большем единицы замкнутый цикл представляет собой экономически невыгодную форму получения сырья [4]. В конечном счете, все зависит от плотности сырья в первоначальном материале, которая имеет тенденцию к сокращению. С другой стороны, считается, что с уменьшением концентрации вновь обрабатываемого сырья во вторичных материалах экспоненциально растут затраты энергии для обратного получения.

Вместе с тем может быть только один путь, реализуемый последовательно всеми заинтересованными лицами. Это путь, ведущий в направлении ПрЭ, т. е. к тому, чтобы все высоко диссипативные материалы соответствовали бы критерию непротиворечивости окружающей среде [2]. Ждать до тех пор, когда технический прогресс позволит замкнуть оборот материалов, когда ресурсы станут настолько дорогими, что не будет никакого иного пути, было бы выражением неуместной инертности имеющихся промышленных систем. Каждая ступень и каждый элемент ПрЭ требует активного подхода. Можно выделить следующие ступени замкнутого цикла:

- непосредственный замкнутый цикл (в пределах того же самого производственного процесса);
- опосредованный замкнутый цикл (в пределах того же самого производственного процесса при временном или пространственном переносе);
- интегрированный замкнутый цикл (комбинация из обоих вышеназванных

Классификация невозобновляемых материалов

Класс невозобновляемых материалов	Замкнутый цикл технологически возможен	Замкнутый цикл экономически выгоден	Примеры
I	Да	Да	Металлы, минералы, почва
II	Да	Нет	Упаковочные материалы, связывающие вещества
III	Нет	Нет	Смазочные вещества, горючее, пигменты, реактивы

Эмпирически доказано, что еще не израсходован экономический потенциал повторного использования тяжелых металлов, представляющих собой опасные отходы (hazardous waste). Однако ему противостоят диссипативные потери экотоксических субстанций, концентрация которых в экосфере во многих случаях повышается. Так как использование тяжелых металлов в ходе индустриализации непрерывно росло, то диссипативные потери постепенно приобретали все большее значение. Хотя не все экотоксические последствия и критические концентрации известны, но, начиная с их определенных уровней, можно ожидать значительных нарушений в окружающей среде.

Мы видим большой потенциал в освещении приложений ПрЭ, так как недостаток информации и правовых норм ограничивают инициативы даже по их экономически выгодному применению. Против использования невозобновляемых материалов III класса есть две причины: безвозвратное использование и истощение соответствующих материалов; токсические последствия для экосистем.

образований при дополнительном включении конструктивных элементов или блоков производственного процесса);

- системно-интегрированный замкнутый цикл (комбинация интегрированных в процесс внутренних положений замкнутого цикла с внешними, реализуемыми на другом предприятии производственными процессами).

При этом необходимо обеспечить, чтобы вторичные продукты использовались как можно раньше и в ближайшем регионе. Это даст экономические преимущества, связанные с уменьшением транспортных расходов и расходов по хранению. Чем выше стоимость вновь используемых благ, тем сильнее становится последний аспект.

Для ПрЭ требуется концепция, которая обобщает все формы замкнутого цикла в холярхическую систему. Кроме того, нужны новые технологии возвращения материалов, продолжающие дело надежных и давно известных замкнутых циклов металлов, стекла и бумаги. При этом речь идет о материалах, для которых, вслед-

ствие их относительно простой химической и механической делимости, уже теоретически возможен замкнутый цикл. Разумеется, даже в уже реализуемых кругооборотах материалов еще имеются нерешенные проблемы с примесями и недостаточной чистотой вторичных материалов, препятствующие более полному повторному использованию материалов. Например, в случае металлов, приобретающих специфические свойства при легировании, смешивание в ходе замкнутого цикла приводит к регулярному снижению качества вторичных материалов. Заметим, что металлы, как раз, характеризуются хорошей приспособляемостью к замкнутому циклу. Регулярно появляющиеся примеси при каждом кругообороте накапливаются во вторичном сырье и уменьшают его чистоту, что фактически соотвечает даунциклингу. В рамках ПрЭ можно расширить границы управления циркуляцией, так как постепенно разрабатываются новые технические и организационные процессы очистки для тех циркулирующих материалов, в которых этот феномен раньше не встречался. В перспективе это станет возможным в существенно большем объеме, так как и природное сырье характеризуется смесями материалов, которые затем разделяются посредством технологических процессов. Тем не менее, для функционирования ПрЭ неизбежна ориентация на замыкание циклов используемых в производстве материалов. При этом будет играть существенную роль «проектирование окружающей среды» (Design for Environment). При ПрЭ доля замкнутого цикла в производстве стремится к 1, так как это – целевое значение, устанавливаемое природой как «образцом». В любом случае это значение может быть достигнуто только в долгосрочной перспективе, так как многие материалы при нынешних замкнутых циклах теряют в качестве, и применимое сырье можно получить только при добавлении новых материалов.

Замкнутый цикл и энергия

Значение замкнутого цикла для устойчивой экономики можно оценить, анализируя следующие основные принципы, предлагаемые экологией:

а) все применимые невозобновляемые ресурсы должны повторно использоваться, пока это возможно;

б) отношение энергии, используемой для производства и потребления продуктов, и энергии, расходуемой для повторного предоставления сырья, должно быть изменено в пользу замкнутого цикла (т.е. доля энергии в замкнутом цикле в общеэконо-

мическом потреблении энергии существенно увеличится);

в) невозобновляемые ресурсы могут быть введены в циркуляцию только в таком объеме, в каком для этого имеется регенеративная энергия, непригодная для других форм использования;

г) экономика потребления должна признаваться экономически равноценной экономике производства, так как создание там добавленной стоимости представляет собой существенную основу для производства.

Предпосылкой выполнения этих правил является то, что в долгосрочном периоде в распоряжении будут находиться исключительно возобновляемые энергоносители и в единицу времени – лишь ограниченное количество энергии. Вытекающие отсюда ограничения по использованию энергии в индустриальном обществе должны быть операционализированы с помощью критериев устойчивости [3]. Пункты б) и в) показывают, что это вызывает проблему распределения. Если ограниченный ресурс «энергия» не теряется, как это было до сих пор, при нежелательной диссипации веществ в процессах производства и потребления, а направляется на возвращение сырья, то становится очевидным, что прежние способы производства эксплуатировали основы своего собственного существования с двух сторон: сырьевой и энергетической. Если обе стороны теперь рассматривать с энергетической точки зрения и их использование подчинить естественным ограничениям, то доступность энергии станет в конечном итоге самым узким местом промышленных процессов. Если привлекаться в хозяйственный оборот или связываться в продуктах должно большее количество материалов, то должно использоваться больше дефицитной энергии. Как утверждает экология, с возрастанием использования биомассы увеличивается расход энергии по техническому обслуживанию и ремонту. То есть, переход к ПрЭ не может пройти безрезультатно для объема и качества, как промышленного производства, так и массового потребления. Хотя эффективность и состоятельность (непротиворечивость) необходимы для жизнеспособной экономики, но без выполнения условий существования они не являются целевыми характеристиками. Технология, порождающая материальные и энергетические потоки, будет играть решающую роль при переходе к устойчивому развитию. Таким образом, неизбежно, что уже при планировании и конструировании продуктов следует принимать во внимание способность применяемых материалов к замкнутому циклу, и, кроме того, возмож-

ность применения бóльшего количества вторичных материалов. Это означает не что иное, как полное обновление способов производства при постоянном учете требований ПрЭ. Если речь идет о возвращении материалов в экономическую циркуляцию, то необходимо решение многокритериальной задачи, учитывающей, с одной стороны, соотношение между экономическими издержками и экологическими последствиями, а, с другой стороны, качество вновь обретаемых материалов и их экономическую эффективность. Термодинамика указывает на то, что энергетические затраты (и соответственно издержки) растут с уменьшением доли обратного получения и снижением качества вторичного сырья. Связь выражается следующим образом. Чем меньше плотность материала, предназначенного для повторного использования, тем дороже его концентрирование до приемлемой меры, поскольку это влечет за собой непропорциональное использование энергии. Тем не менее, этот процесс требует подробного анализа. Если на экологическом уровне рассматривать условия повторного и дальнейшего применения материалов, то на 5 ступенях трофики от первоначального производителя к первичному, вторичному и третичному потребителям, а также деструкентам, можно видеть относительно возрастающую потерю энергии в форме излучаемого, т.е. бесполезного тепла. Для перехода к ПрЭ потери энергии от одной до другой ступени потребления нужно описывать нормативными методами, учитывающими природно-экологические принципы. Сейчас сложно определить, какие именно процессы замкнутого цикла из-за чрезмерного использования энергии будут оказывать отрицательное влияние на устойчивое развитие, т.е. на «прочность» экосистемы. В обозримом будущем энергия солнца все-таки будет излучаться в экосистему Земли, поэтому узкими местами будут сохранение невозобновляемых материалов и устранение из природного кругооборота веществ, чуждых природе. Отрицательная экологическая «стоимость» потери материала не может превосходить стоимости экологических последствий предоставления энергии. Или, иначе выражаясь, в отношении устойчивости оптимальными являются такие антропогенные процессы замкнутых циклов, при которых предотвращенная отрицательная стоимость (окончательной) потери материала сопоставима со стоимостью предоставления необходимой для процесса (регенеративной) энергии. Проблема «оценки» на основе этого простого правила еще не решена.

Сжигание как стратегия утилизации отходов

Сжигание материалов, неинтегрируемых более в хозяйственный оборот, некоторыми специалистами называется «тепловым применением» и также считается формой замкнутого цикла. С точки зрения термодинамики, этого не может быть, так как сожженные материалы содержат негэнтропию (отрицательную энтропию), но при сгорании или производят энтропию в форме диссипации или, в лучшем случае, полезное тепло [6]. Полученная тепловая энергия (которая, с точки зрения энтропии, представляет собой обесцененный вид энергии) сопоставляется с энергией, заключенной в сожженных (и диссипируемых) материалах. Последняя по своей значимости многократно превышает извлеченное тепло. Сжигание ранее применяемых, но по разным причинам утративших свою полезность, материалов согласно термодинамике является убыточным делом, поэтому не может относиться к методам замкнутого цикла и в рамках ПрЭ должно быть исключением. Оно представляет собой вынужденную меру при отсутствии фантазии и творческого подхода. Только в единичных случаях, которые следует тщательно проверять, сжигание может стать устойчивым решением, оставаясь в целом исключением. Процессы замкнутого цикла требуют адекватной технологии, учитывающей экономические, экологические и социальные интересы. В частности, при нынешних условиях экономические и экологические оптимумы технологических процессов находятся далеко друг от друга и, несомненно, требуют сближения. Известно, что создание мощностей по сжиганию требует высоких капитальных вложений, поэтому некоторые слои общества могут быть заинтересованы в их строительстве. При этом многие зависимости (экологические, социальные) недооцениваются. Отвергаются пути использования, которые могли бы составить конкуренцию сжиганию.

Значение инновационных технологий для обеспечения устойчивого развития

Технология как продукт культурной эволюции человечества при переходе к ПрЭ приобретает большое, если не решающее, значение. Технология играет ключевую роль для преобразования социально-экономических процессов в рамках ПрЭ. Технические инновации явились ядром индустриализации и следующего за ней экономического развития. При этом роль их двойка. Каждая новая технология только тогда становится успешной, когда присоединяемая к ней че-

ловеческая составляющая положительно корреспондирует с техникой, т. е. они способны к соединению. В этом случае новая технология может широко распространиться. Такой процесс называется диффузией технологии.

Технология, напротив, может стать и препятствием для перехода к ПрЭ, так как при высоких инвестициях возникают теневые зависимости.

Исторически культурную и технологическую эволюцию можно разделить на 3 крупных фазы: общество охотников и собирателей, аграрное общество и индустриальное общество. В ходе культурно-технологической эволюции из-за использования новых технологий непрерывно увеличивалось антропогенно вызванное потребление энергии и сырья. Идеализированное мнение многих экологов состоит в том, что устойчивой опцией будущего является отказ от технологии (в общем смысле), так как технология представляет собой главное звено, обуславливающее экологический кризис.

Заключение

На наш взгляд, динамика технологического развития является решающим элементом при переходе к ПрЭ. Антропогенное преобразование природных систем уже настолько продвинулось, что технологии и их действие на окружающую среду стали неотъемлемой частью планеты Земля. Жизнь как феномен возникла и поддерживается путем интеграции материи и энергии. Антропогенно-культурное развитие неотъемлемо связано с экологическим развитием. Первое возможно только путем преобра-

зования материи на основе использования энергии. И окончательное решение этой задачи взяла на себя технология, которая должна приспосабливаться к вновь возникающим требованиям устойчивого развития. Вид и форма использования старой и, прежде всего, новой техники зависит от креативности участвующих лиц и общих экономических условий. В конечном счете, внедрение технических изобретений определяется экономическим эффектом, который они обеспечивают инвесторам. Инвесторы опять-таки зависят от системы стимулирования. Новая культурная организация материи всегда будет связана с технологией, так как только технология запускает феноменальные материальные и энергетические потоки. Таким образом, технологии соответствуют две стратегических опции: возрастающее использование существующей и испытанной устойчивой техники; инновации и разработка новой устойчивой техники.

Список литературы

1. Дорохина Е.Ю., Огольцов К.Ю. К вопросу о концептуальном понимании промышленной экологии // Путеводитель предпринимателя. – 2012. – № 16. – С. 95–103.
2. Дорохина Е.Ю., Огольцов К.Ю. О возможных стратегиях устойчивого развития и промышленной экологии // Путеводитель предпринимателя. – 2013. – № 17. – С. 100–108.
3. Дорохина Е.Ю., Пантелеев С.С. К вопросу о трех столпах устойчивого развития // Научные труды SWorld. – 2012. – Т. 33, № 4. – С. 16–21.
4. Allen D.T. An Industrial Ecology: Material flows and engineering design. Department of Chemical Engineering, University of Texas – Discussion Paper Austin, 2003.
5. Cohen-Rosenthal E. Making sense out of industrial ecology: a framework for analysis and action// Journal of Cleaner Production, 12. Jg. (2004), H. 8-10, P. 1111–1123.