

УДК 675.8

Масленникова Ирина Сергеевна,
заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор,
Санкт-Петербургский государственный экономический университет;
e-mail: dept.see@engec.ru,

Еронько Ольга Николаевна,
кандидат химических наук, доцент,
Санкт-Петербургский государственный технологический институт;
e-mail: olgaeronko@mail.ru,

Грищенко Татьяна Юрьевна,
кандидат экономических наук, доцент,
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»;
e-mail: xculture@gmail.com

ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ РЕСУРСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ СИСТЕМ

Показаны основные направления научных изысканий, связанных с решением проблемы создания условий, при которых все виды отходов производства и потребления могут использоваться как товарная конечная продукция или в качестве полуфабрикатов для изготовления товаров производственного назначения и народного потребления.

Ключевые слова: ресурсоперерабатывающие системы, безотходные, малоотходные производства, технологии, регенерация, рециркуляция, циркуляционные системы.

Maslennikova Irina Sergeevna,
Saint-Petersburg State University of Economics,
Eronko Olga Nikolaevna,
Saint-Petersburg Institute of Technology (Technical University),
Grishenko Tatiana Jurevna,
National research University «Higher school of economics»

BASES OF THE CREATION OF HIGHLY EFFICIENT SYSTEMS FOR USE OF RAW MATERIALS

The main directions of scientific research related to solving the problem of creating conditions in which all kinds of production and consumption wastes can be used as a commodity end products or as semi-finished products for the production of capital goods and consumer goods.

Keywords: use of raw materials systems, waste-free, low-waste production, technology, regeneration, recycling, circulation systems.

Задача создания высокоэффективных ресурсоперерабатывающих систем сводится к созданию производства, состоящего из систем большой единичной мощности с высокой интенсивностью работы и высокой степенью эффективного использования сырьевых ресурсов, а также энергоресурсов, обеспечивающего получение продукта требуемого качества с минимально возможной себестоимостью при практически полном отсутствии выбросов экологически опасных компонентов отходящих газов в атмосферу или стоков в гидросферу.

В настоящее время является общепризнанным, что только создание безотходных, а на первое время малоотходных производств и территориально-производственных комплексов (ТПК) яв-

ляется основным путем решения проблемы рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды от промышленных загрязнений. Хозяйственная деятельность людей должна осуществляться по принципу природных экосистем, в которых экономно расходуются вещества и энергия и в которых отходы одних организмов служат средой обитания для других, т.е. осуществляется замкнутый кругооборот веществ.

Основные задачи в разработке и создании малоотходной и безотходной технологии были обсуждены на Общевропейском совещании на высоком уровне по сотрудничеству в области охраны окружающей среды, состоявшемся в Женеве в ноябре 1979 г. На Совещании по ини-



циативе Советского Союза была принята «Декларация о малоотходной и безотходной технологии и использовании отходов». Согласно этой Декларации «безотходная технология есть практическое применение знаний, методов и средств с тем, чтобы в рамках потребностей человека обеспечить наиболее рациональное использование природных ресурсов и энергии и защитить окружающую среду».

Приведенное выше понятие безотходной технологии охватывает широкий круг проблем: от практического осуществления научно-технических достижений в обеспечении рационального ресурсопользования до реального снижения антропогенного воздействия на окружающую природную среду. Особо следует обратить внимание на то, что указанное определение ограничивает использование ресурсов только рамками потребности человека. Таким образом, под безотходной технологией понимается такой принцип функционирования народного хозяйства, региона, отрасли, производства, при котором рационально используются все компоненты сырья и энергии в цикле сырьевые ресурсы – производство – потребление – вторичные ресурсы и не нарушается экологическое равновесие.

Исходя из этого определения можно выделить несколько основных направлений деятельности, обеспечивающих осуществление принципов безотходной технологии:

- создание и внедрение процессов комплексной переработки сырья;
- создание и внедрение принципиально новых технологических процессов без образования отходов;
- переработка всех видов отходов производства и потребления с получением товарной продукции;
- создание и выпуск новых видов продукции с учетом требований повторного ее использования;
- создание и внедрение замкнутых систем промышленного водоснабжения;
- использование осадков очистных сооружений;
- создание безотходных территориально-промышленных комплексов и экономических регионов.

По всем этим основным направлениям в России активно проводятся научно-исследовательские работы, ведется строительство конкретных объектов и создается база реального осуществления принципов безотходной технологии на многих предприятиях различных отраслей народного хозяйства, где технический прогресс полностью совместим с охраной окружающей среды.

Помимо определения понятия безотходной технологии, Декларация рекомендует странам принять ряд мер на национальном уровне для осуществления в народном хозяйстве принципов безотходной технологии. Можно с удовлетворением отметить, что в нашем государстве четко и последовательно осуществляются эти рекомендации. Это хорошо прослеживается на примере проводимых в РФ работ по выполнению рекомендации о создании методов оценки экономических, социальных и экологических последствий малоотходной и безотходной технологии и использования отходов, которые можно применять в странах с различными социально-экономическими системами.

В соответствии с этой рекомендацией в РФ разработаны:

- положение о планировании, проектировании и эксплуатации безотходных технологических систем;
- временная методика определения эффективности затрат в мероприятиях по охране окружающей среды;
- разработка предложений по стимулированию ценами переработки отходов горно-металлургического комплекса;
- методические указания по разработке отраслевых схем развития производств, исключающих воздействие на окружающую среду;
- методика оценки экономической эффективности переработки твердых отходов;
- методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды;
- временная типовая методика оценки экономической эффективности малоотходных технологических схем переработки минерального сырья.

В настоящее время разработаны и приняты к использованию ряд ведомственных методических рекомендаций, изучаются социальные задачи перевода народного хозяйства на принципы безотходной технологии.

Активно осуществляется рекомендация Декларации о проведении разработок малоотходной и безотходной технологии и переработке отходов. Так, создание малоотходных и безотходных технологических процессов ведется по специальной программе работ соответствующей научно-технической проблемы. Помимо общероссийской программы, в отраслях разработаны и утверждены специальные координационные планы по созданию безотходных технологических процессов и переработке отходов. В стране про-



веден единовременный учет всех отходов производства и потребления, в том числе и токсичных. Постоянный контроль над вредными выбросами ведут органы санитарного контроля.

Для формирования и облегчения понимания некоторых терминов рекомендуется схема ресурсопользования по этапам производства в народном хозяйстве в цикле ресурсы – производство – потребление – вторичные ресурсы (рис. 1).

Как уже было сказано, основным источником природных материалов является окружающая природная среда. Разрабатывая месторождения полезных ископаемых, используя водные ресур-

сы, заготавливая растительное сырье, в том числе лес, собирая урожай, человек получает необходимое сырье для дальнейшей переработки. Природные материалы могут быть также использованы непосредственно в качестве готовой товарной продукции. Например, пресная или минеральная вода для питья, лес для отопления и т.п. При добыче и необходимой первичной обработке природных материалов образуются отходы O_1 . Эти отходы могут быть отнесены к категории неиспользованного природного сырья, которое может быть, а при безотходном производстве должно быть направлено на комплекс-

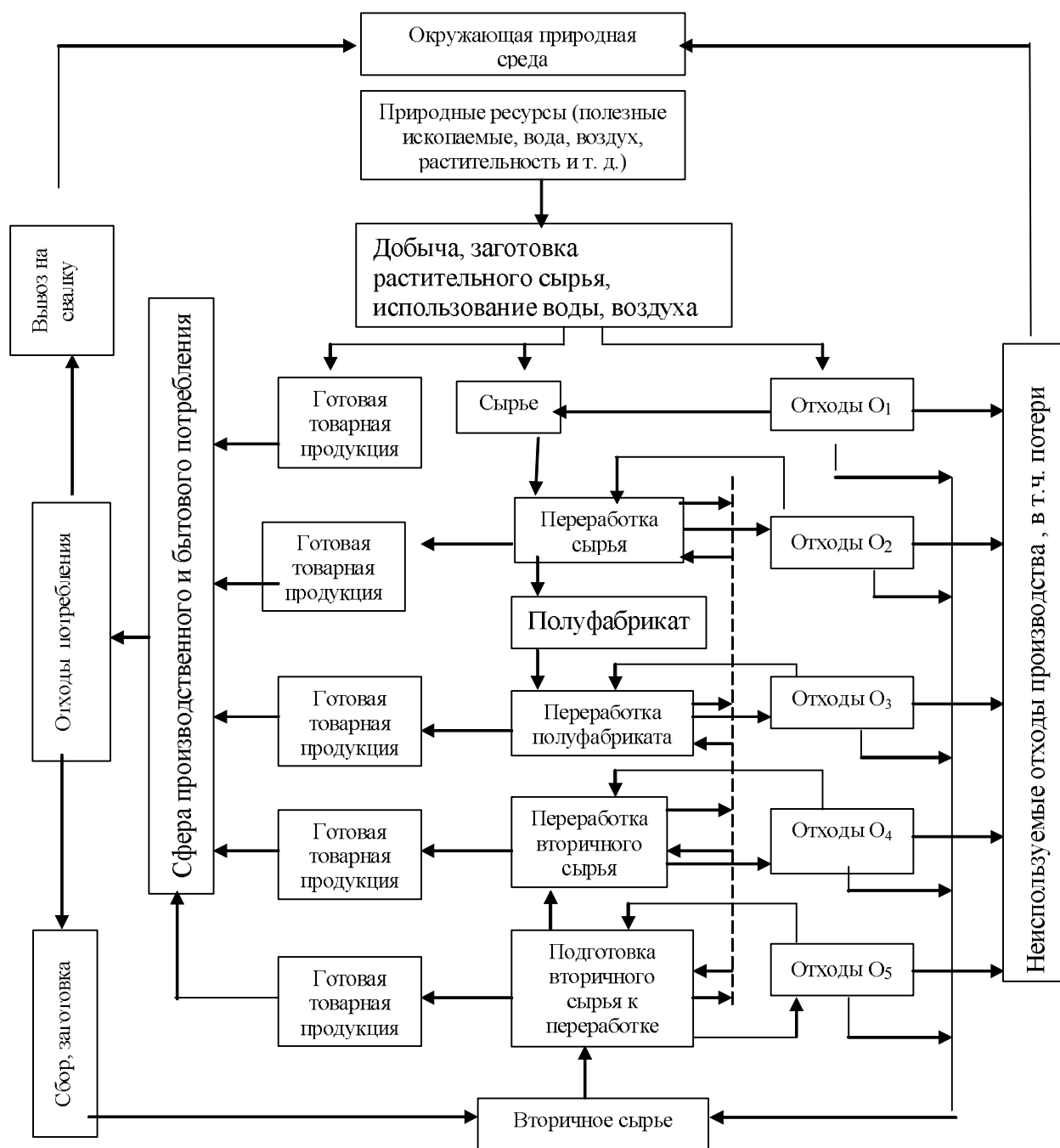


Рис.1. Схема ресурсопользования по этапам производства и потребления в народном хозяйстве



ное использование (селективное извлечение всех компонентов, полезное использование в качестве природного сырья O_1). Часть этих отходов может быть направлена на переработку в качестве вторичного сырья (V_1), а часть в виде безвозвратных потерь (Π_1) и неиспользуемых отходов (H_1) возвращается в окружающую среду. Дальнейший путь природных материалов лежит через процессы переработки сырья, получения полуфабрикатов и их переработки. Каждый из этих этапов может завершаться также и выпуском готовой товарной продукции. Причем под готовой товарной продукцией подразумевается продукция, поступающая непосредственно в сферу потребления (производственного или бытового). На каждом из указанных этапов переработки сырья или полуфабрикатов при неполном и некомплексном их использовании образуются отходы (O_2, O_3) и соответствующие безвозвратные потери (Π_2, Π_3). Причем отходы (O_2', O_3'), как и на этапе добычи сырья (O_1'), могут перерабатываться на этапе своего образования, а отходы (V_2, V_3) – в качестве вторичного сырья. Неиспользуемая часть отходов (H_2 и H_3) и потери (Π_2 и Π_3) возвращаются в окружающую среду.

Переработка вторичного сырья может проходить те же стадии, что и первичное природное сырье. При этом аналогично образуются отходы O_4 и O_5 , появляются вторичное сырье, неиспользуемые отходы и безвозвратные потери, вырабатывается готовая товарная продукция. Вторичное и первичное сырье, подготовленные к переработке, могут использоваться совместно в производстве как готовой товарной продукции, так и полуфабрикатов. Готовая товарная продукция (кроме брака) поступает в сферу потребления в соответствии со своим назначением. Отработав, износившись физически и морально, вся готовая продукция рано или поздно становится отходом потребления (O_6).

Отходы потребления, собранные, заготовленные и соответствующим образом подготовленные, направляются на переработку (V_6). Причем переработка отходов потребления может иметь те же производственные этапы, что и переработка отходов производства. Неиспользуемые отходы (H_6) вывозятся на свалку.

Таким образом, исходя из схемы к вторичным материальным ресурсам (УОВМР) можно отнести совокупность отходов производства и потребления

$$O_{\text{ВМР}} = O_1 + O_2 + O_3 + O_4 + O_5 + O_6 - (\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_5 + \Pi_6) \quad (1.1)$$

К вторичному сырью можно отнести ту часть отходов (UO_{BC}), которая собирается, заготавливается и направляется на переработку

$$\Sigma O_{\text{BC}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 \quad (1.2)$$

При строгом подходе к термину «вторичное» следовало бы к вторичному сырью отнести только то, что прошло некоторую стадию конечного применения (потребления), а затем подвергается переработке. Например, вышедшие из строя приборы, использованная тара и т.п. В этом случае

$$\Sigma O_{\text{BC}} = V_4 + V_5 + V_6 \quad (1.3)$$

Однако практика планирования сбора, заготовки и использования многих видов отходов (V_1, V_2, V_3), сложившаяся у нас в стране, предопределяет отнесение этих отходов к вторичному сырью. Поэтому к вторичному сырью в дальнейшем будем относить все отходы, указанные в формуле (1.2).

К неиспользуемым отходам O_{H} относится та часть отходов, которая не заготавливается, но при необходимости (наличии производственных мощностей) может заготавливаться и использоваться.

$$\Sigma O_{\text{H}} = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 \quad (1.4)$$

Неиспользуемые отходы являются источником пополнения ресурсов вторичного сырья

$$\Sigma O_{\text{ВМР}} = U O_{\text{BC}} + O_{\text{H}} \quad (1.5)$$

Из схемы ресурсопользования видно, что отходы в зависимости от источника образования подразделяются на:

- отходы производства;
- отходы потребления.

Источниками образования отходов могут быть: промышленные предприятия, предприятия строительства, транспорта, связи, сельского хозяйства, сферы обслуживания населения, жилищно-коммунального хозяйства и населения. Причем у населения образуются только отходы потребления (здесь не учитывается возможность появления у населения отходов производства в случае выполнения производственной работы на дому).

В результате анализа приведенной схемы к отходам производства можно отнести остатки сырья и материала, образующиеся в процессе производства, которые полностью или частично утратили потребительские свойства исходного сырья или материала, а также остатки многокомпонентного сырья после извлечения из него целевого товарного продукта (продуктов) или целевого полуфабриката. Причем еще раз следует отметить, что эти остатки к отходам можно отнести условно, так как их образование вызвано несовершенством существующей технологии и они при работе по безотходной технологической схеме должны стать сырьем для производства товарной продукции.

В этом случае

$$O_1 = O_1' + \Pi_1 \quad (1.6)$$



при H_1 и V_1 равных нулю, или

$$O_1 = \Pi_1 \quad (1.7)$$

при V_1, H_1 и O_1' равных нулю.

В литературе часто встречаются термины «регенерация» и «рециркуляция». Эти понятия также можно объяснить с помощью схемы ресурсопользования.

Рассмотрим цепочку переработки первичного сырья и образования отхода O_2 . Связь O_2 между отходом O_2 и процессом переработки определяет использование отхода в процессе, где он образовался. Этот отход в некоторых случаях может быть использован в технологическом процессе без предварительной подготовки (обраты). В этих случаях отход не меняет основные физико-химические свойства исходного сырья. Однако в ряде процессов образующиеся отходы отличаются от сырья по своему качеству и могут быть возвращены в процесс переработки первичного сырья лишь после восстановления исходных свойств. Этот процесс подготовки отходов к использованию называется регенерацией. Процессам регенерации (восстановления) могут быть подвергнуты отходы, образующиеся на других стадиях ресурсопользования, в том числе на стадии потребления. Например, восстановление волокон из изношенных текстильных изделий.

Связь $D_2 - D_5$ определяет возможность добавки первичного сырья или отходов при изготовлении товарной продукции (полуфабрикатов) из отходов или из первичного сырья.

Рециркуляция – это замкнутая безотходная система ресурсопользования, когда значения H_1, \dots, H_6 равны нулю. Иногда под рециркуляцией понимают замкнутую систему использования одного или нескольких компонентов природного сырья – малоотходная система. И, наконец, «первичное сырье», «природное сырье» и «материалы» и тому подобные термины можно определить как сырье, непосредственно извлекаемое из природных источников. Природные ресурсы – запасы природного сырья.

Наиболее полно возможности интенсификации производств и, соответственно, уменьшения их материалоемкости могут быть реализованы в системах, работающих по замкнутой схеме с рециркуляцией реакционной смеси. Согласно такой схеме, непрореагировавшие за один проход компоненты могут многократно проходить через реакционные зоны в процессе циркуляции газовой смеси. Работу системы с циркуляцией непрореагировавших компонентов можно отождествить с проведением процессов в системе с открытой цепью и многоступенчатым контактированием и отводом продуктов реакции. Циркуля-

ционные системы обладают всеми достоинствами многоступенчатых систем с промежуточными отводами целевых продуктов при несравненно больших возможностях аппаратного упрощения и технологического совершенствования и, как следствие, удельного снижения потребления минеральных ресурсов второго рода.

Разработка циркуляционных систем, рассматриваемых как основа будущих ресурсоперерабатывающих производств, требует принципиально нового подхода с позиции не только аппаратно-технологического оформления, но и с социально-экологических концепций.

Задача-максимум сводится к созданию производства, состоящего из систем большой единичной мощности с высокой интенсивностью работы и высокой степенью эффективного использования сырьевых ресурсов первого и второго рода, а также энергоресурсов; производства, обеспечивающего получение продукта требуемого качества с минимально возможной себестоимостью при практически полном отсутствии выбросов экологически опасных компонентов отходящих газов в атмосферу или стоков в гидросферу.

Разработка технологических систем будущего должна быть основана на трех общих принципах: принципе опережающего решения, принципе дополнения и принципе реальной перспективы.

Согласно принципу опережающего общего решения стратегические решения по организации производства должны ориентироваться на потенциальные возможности будущей технологии во взаимосвязи с уровнем развития смежных производств, с учетом основной проблемы экологической технологии – создания малоотходных производств, обеспечивающих максимальную эффективность использования природных ресурсов.

Согласно принципу дополнения глобальную проблему создания малоотходного высокоинтенсивного химико-энергетического производства большой единичной мощности с малой себестоимостью продукта нельзя решить на основе одного сколь угодно эффективного частного подхода. Необходимо использовать комплексно любые частные подходы к решению того или иного аспекта проблемы с тем, чтобы положительными эффектами, достигаемыми при одних подходах, компенсировать отрицательные последствия, связанные с реализацией других. Только в этом случае можно охватить и увязать все стороны функционирования системы и взаимодействия ее со смежными производствами. Этот принцип предопределяет при разработке систе-



мы будущего необходимость использования одновременно всех (или большинства) интенсифицирующих производство факторов – повышения концентрации исходных реагентов, проведение газофазных гетерогенных процессов под повышенным давлением в реакторах с подвижными слоями плотной фазы (кипящих, псевдооживленных, пенных, поршневых и т. п.), использование новых катализаторов, проведение основных процессов под высоким давлением с рециркуляцией газовой смеси, реализацию всех достижений в области аппаратурного оформления и др. При этом предельные значения основных технологических параметров (например, концентрации, температуры, давления) и долевое участие перечисленных факторов в конечном положительном технологическом эффекте определяют условия выполнения принципа опережающего общего решения.

Принцип реальной перспективы состоит в том, что, ориентируясь на идеальные потенциальные возможности будущей технологии (согласно принципам опережающего общего решения и дополнения), необходимо одновременно опираться на современный уровень развития химической техники и технологии. Отсутствие реальной возможности создания системы при существующем развитии техники, удовлетворяющей современным технико-экономическим и экологическим критериям, означает, что любой проект системы будущего утопичен. Применительно к современному состоянию экономики и промышленности на первом этапе разработки и создания производства, обладающего перечисленными выше качествами, принципу реальной перспективы отвечала бы система, позволяющая увеличить интенсивность работы, снизить удельные капитальные вложения, максимально уменьшить удельные выбросы экологически опасных компонентов реагирующей смеси без существенного изменения себестоимости продукта.

Приняв за основу схему с рециркуляцией, можно сформулировать основное условие, необходимое для ее эффективной реализации в соответствии с принципом реальной перспективы. Оно заключается в ограничении доли инертных примесей в реакционной смеси, поступающей на переработку, критическое значение которой определяется экономическими факторами.

Вторым условием является обеспечение аппаратурно-технологического совершенства, позволяющего улучшить частные экономические показатели и за счет этого компенсировать дополнительные затраты на концентрирование сырьевой смеси. При работе над аппаратурно-технологическим оформлением должен соблюдаться

ряд частных принципов, совокупность которых составляет достаточное условие для успешной реализации циркуляционных систем первого поколения, соответствующих существующему уровню развития химического, нефте-, газохимического машиностроения и технике концентрирования:

- принцип совмещения операций и минимизации числа единиц основного и вспомогательного оборудования;
- принцип ограничения конструктивных размеров аппаратов;
- принцип максимального использования сырья
- принцип уменьшения эксергетических потерь;
- принцип снижения удельных выбросов и соответствия предельно допустимым концентрациям;
- принцип уменьшения контролируемых и управляющих параметров.

Принцип совмещения операций обеспечивает наиболее рациональное использование объемов реакционных зон аппаратов, позволяет сократить общее их число и соответственно повысить интенсивность работы оборудования и системы, в целом.

Согласно принципу ограничения конструктивных размеров необходимо стремиться к тому, чтобы габариты оборудования не превышали предельных размеров, определяющих транспортабельность аппаратов в собранном виде от места изготовления на машиностроительном предприятии до точки строительства ресурсоперерабатывающей системы.

Соблюдение принципа ограничения конструктивных размеров аппаратов должно повысить качество их изготовления, сборки и монтажа, что увеличит срок службы и, соответственно, эффективность использования ресурсов второго рода.

Принцип уменьшения эксергетических потерь и повышения эффективности использования энергоресурсов системы обеспечивает повышение качества или практической пригодности энергии, получаемой в результате химических реакций и заключенной в потоках энергоносителей (пар, горячие газовые смеси или воздух, поступающий в турбины, вода и др.).

Принцип снижения удельных выбросов должен обеспечить преимущество циркуляционных систем перед существующими производствами с открытой целью с позиции защиты атмосферы от экологически опасных компонентов. Циркуляционные системы производства ресурсоперерабатывающих систем, создаваемые в соответствии с принципом реальной перспективы, дол-



жны быть ориентированы на возможность перехода в ближайшем будущем к безотходной технологии. Экологическая безопасность работы системы с точки зрения загрязнения атмосферы может характеризоваться двумя параметрами – удельными выбросами экологически опасных компонентов и их концентрацией. С социально-экологических позиций первый фактор носит наиболее объективный характер, и эффективность уменьшения загрязнения атмосферы должна определяться снижением удельных выбросов. Эта величина зависит от общей степени использования сырьевого ресурса.

Принцип уменьшения контролируемых и управляющих параметров должен обеспечить возможность оперативного сбора и переработки информации о параметрах материальных и тепловых потоков в различных участках циркуляционной системы с целью осуществления достаточно гибкого управления работой при использовании минимального числа управляющих параметров. Предпосылки для организации надежной системы контроля и управления заложены в самой сущности циркуляционной схемы, весьма ограниченное число аппаратов которой (благодаря соблюдению принципа совмещения операций и рециркуляции) имеет несложные взаимные обратные связи. Правильный выбор и успешная реализация системы контроля и управления, возможная при наличии математическо-

го описания работы циркуляционных установок, должны позволить стабилизировать основные технологические параметры, значения которых будут отвечать оптимальным режимам эксплуатации, что в итоге положительно скажется на эффективности использования ресурсов.

Соблюдение рассмотренных выше общих и частных принципов позволяет уже в настоящее время создать мощные высокоинтенсивные циркуляционные системы ресурсопереработки с высокими техноэкономическими показателями.

Литература

1. Financial Times. – 1989. – № 30986. – p. 35 – 36.
2. Heitz E., Recycling, die Suche nach Zukunft Umwelt und Techn. – 1985.– В.8. – № 1. – p. 22 – 27.
3. Довгуша В. В., Тихонов М. Н. Природа под антропогенным процессом – экологическая деградация // Экология промышленного производства. ВИМИ. – 1994. – вып. 4. – С. 1 – 56.
4. Лихачев Ю. М., Ивахнюк Г. Н, Масленникова И. С., Галуткина К. А. и др. Обращение с твердыми коммунальными и промышленными отходами / Под общ. ред. Ю. М.Лихачева – СПб: Изд-во «Менделеев», 2005. – 288 с.
5. Масленникова И. С., Митрофанова Л. А. Проблемы прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий // Сб. тез. докл. науч.-практ. конф. «Управление экологической безопасностью». – СПб: Изд. СПбГИЭУ, 2005.