

Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
П.А. КАПУСТЕНКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
С.И. БУХКАЛО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
А.Ю. ПЕРЕВЕРТАЙЛЕНКО, вед. н. с., НТУ «ХПИ»,
О.П. АРСЕНЬЕВА, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»

ЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ТЕПЛООБМЕННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ КОНВЕРСИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

Розглянуто можливість ефективної комплексної переробки різних видів відходів. Реалізація енергозберігаючих заходів конверсії таких відходів у сукупності з тепловою інтеграцією технологічних систем виробничих комплексів різного напрямку дозволяє перетворити обтяжливі відходи побуту та виробництва в продукцію або, у крайньому випадку, сировину для виробництва продукції

Рассмотрена возможность эффективной комплексной переработки разнообразных видов отходов. Реализация энергосберегающих способов конверсии таких отходов совместно с тепловой интеграцией технологических систем производственных комплексов разного направления позволяет превратить обременительные бытовые и производственные отходы в продукцию или, в крайнем случае, в сырье для производства продукции

The possibility of many-purpose conversion of different wastes is discussed. It is noticed that energy saving methods of conversion with heat integration are very important for industrial sites of different sectors. It lets to convert wasters in plurality of saleable products

Постановка и актуальность проблемы. Мировой и отечественный опыт показывает, что 80 % экономии материальных ресурсов связано с внедрением ресурсосберегающих технологий и только 20 % связаны с другими мероприятиями. Основой ресурсо- и энергосбережения с точки зрения охраны окружающей среды от техногенной катастрофы является создание новой эффективной технологии, малоотходной или безотходной, которая позволяет получать целевые продукты без теплового ее загрязнения, а из системы выводятся только продукты, составляющие биосферу. Создание таких технологий позволяет решать две взаимосвязанные задачи: экологическую с учетом ресурсо- и энергосбережения, и экономическую, с учетом социальной эффективности, что позволяет интенсивно развивать отрасли промышленности. Организация производства должна быть направлена не только на утилизацию всех побочных

продуктов, но и на использование всего выделяемого тепла, как внутри данной системы, так и частично в соседних взаимосвязанных экологических подсистемах. Следовательно, основные задачи в области ресурсо- и энергосбережения для биохимической и химической технологии можно сформулировать следующим образом:

- разработка малоотходных или безотходных технологий;
- определение перечня и количества продуктов, которые могут быть усвоены природными биологическими системами;
- создание предприятий комплексной переработки сырья, которые используют фактически полностью отходы и выбросы своего производства, а также производств других отраслей промышленности;
- создание малоэнергоёмких производств с минимальным потреблением воды;
- модернизация и совершенствование теплообменного оборудования в процессе проектирования новых технологий;
- повышение уровня регенерации тепла потоков и на этой базе широкое использование энерготехнологических схем и др.

Декларация Европейского совета по сотрудничеству в области охраны окружающей среды (Женева, 1979 г.) содержит следующее определение: «Безотходная технология есть практическое применение знаний, методов и средств с тем, чтобы в рамках потребностей человека обеспечить рациональное использование природных ресурсов и энергии и защитить окружающую среду». В настоящее время это определение касается производств, которые позволяют из сырья при воздействии различных видов энергии и технологических факторов в специально взаимосвязанных аппаратах получать только целевые продукты без выхода из технологической системы потоков, содержащих вещества и различные виды энергии, загрязняющие биосферу.

Цель исследования. Для общих подходов к созданию безотходных производств можно сформулировать основные принципы:

- разработка энерготехнологических схем предусматривающих полную переработку сырья и побочных продуктов в полезные продукты – принцип рационального использования всех компонентов сырья и энергии, с использованием вторичных энергоресурсов на базе принципов рециркуляции и цикличности;

- принцип максимальной изолированности производства от окружающей среды – количество образующихся отходов вредных веществ в воздушном бассейне, почве и водоемах меньше их допустимых концентраций;

- принцип круговорота веществ и энергии за исключением сырья и целевых продуктов;

- принцип комплексного использования многокомпонентного сырья в безотходном производстве, побочная продукция приобретает все свойства целевой продукции, сырье используется в полном объеме и расширяется ассортимент продукции, и др.

Следует отметить, что технологические комплексы могут создаваться разных масштабов с учетом материало- и энергоемкости выпускаемой продукции, экономического, экологического, социального, правового, образовательного и культурно-воспитательного, информационного обеспечения и международных факторов. Направления развития вышеизложенных задач и принципов в области получения продуктов химической технологии можно разделить на два принципиально различных пути реализации: 1 – реконструкция и модернизация действующих производств; 2 – создание новых безотходных или малоотходных комплексов. Первый путь неперспективен, так как не решает вопрос кардинально, второй путь – более радикальный и экономичный. При модернизации или проектировании производств в настоящее время все большее значение приобретают показатели материало- и энергоемкости продукции, они позволяют конкретно установить эффективность природопользования в широком смысле этого слова. Одной из целей энергосбережения в биохимической, как и в химической технологии, является комплексное использование энергетических ресурсов, а также снижение тепловыделения и других энергетических составляющих в окружающую среду, то есть оптимизация использования энергетического потенциала производства.

Изложение основного материала исследований. Большинство предприятий и комплексов промышленности являются источниками вторичных энергетических ресурсов:

1. отходы производств, которые можно отнести к категории топлива;
2. тепловые выбросы различного происхождения;
3. сбросные жидкости и газы сравнительно низкой температуры;

4. энергия избыточного давления и многое другое.

Первый вид источников вторичных энергетических ресурсов практически полностью используют сами предприятия, за исключением тех случаев, когда их сжигание связано с техническими трудностями различного плана. Четвертый вид – предполагает наличие специального оборудования. Низкопотенциальные вторичные энергетические ресурсы предлагают, например, использовать в абсорбционно-холодильных установках для производства холода и выработки тепловой энергии. Основное направление использования вторичных энергетических ресурсов (пункт 2) связано с созданием замкнутых энерготехнологических циклов, что позволяет использовать тепловые выбросы стадий процессов на смежных стадиях. Для организации безотходных производств необходимо применение обобщающих принципов системного подхода, которые направлены на полное использование сырья и энергетических ресурсов, а также охрану окружающей среды: физико-химические, химические или биохимические; технологические для осуществления различных стадий или подсистем технологии; организационно-управленческие.

Общность химических или биохимических принципов связана с тем, что все они реализуются в виде конкретных приемов и методов, позволяющих приблизить производство к безотходному ресурсосберегающему:

1. создание малостадийных производств, что приводит к снижению себестоимости продукта;
2. внедрение в производство методов получения продуктов из доступного и дешевого сырья;
3. разработка и внедрение высокоэффективных процессов за счет повышения селективности проводимых процессов при оптимальных параметрах;
4. применение «сопряженных методов» – одновременно получают два ценных продукта;
5. применение технологий, позволяющих достигать высоких степеней конверсии реагентов за один цикл производства;
6. создание интеграционных тепловых систем производства;
7. повышение эффективности процессов самой технологии отдельных стадий;

8. интеграция отдельных технологических процессов в производственный комплекс;

9. организация правильного выбора эффективного и надежного теплообменного оборудования и т.д.

Производственный комплекс представляет собой совокупность химико-технологических систем, определенным образом связанных между собой; а также систем, обеспечивающих защиту окружающей среды от вредных выбросов, и инфраструктуру предприятия. Химико-технологическая система (ХТС) представляет собой совокупность взаимосвязанного технологическими потоками и действующего как единое целое оборудования, в котором осуществляется определенная комбинация из основных технологических операций: подготовительных – подготовка сырья (исходных продуктов) и соответствующих энергетических ресурсов; основных – получение (синтез) целевых продуктов; заключительных – выделение целевых продуктов. ХТС предназначена для производства заданного целевого продукта требуемого качества с учетом выполнения требований по защите окружающей среды от выбросов, являющихся результатом функционирования ХТС. Побочные продукты ХТС: материальные потоки веществ, не входящие в состав целевого продукта, отделяемые от него в данной ХТС; материальные потоки используемых тепло- и хладоносителей; теплосодержащие вышеупомянутые материальные потоки после получения целевого продукта заданного качества. В пределах производственного комплекса побочные продукты какой-либо ХТС, входящей в этот комплекс, могут быть исходными продуктами для другой, либо других ХТС комплекса. Побочные продукты ХТС производственного комплекса, неиспользуемые в пределах комплекса, являются отходами производственного комплекса. Отходы производственного комплекса, которые не используются в качестве сырья, экспортируемого данным комплексом, являются выбросами в окружающую среду. Вредными выбросами являются выбросы веществ, негативно влияющих на окружающую среду, прямо, либо непосредственно в результате физико-химических превращений в последней [1]. Сырье для данной ХТС представляет набор исходных подготовленных продуктов. Энергия, выработанная из соответствующих топливно-энергетических ресурсов

(топлива и альтернативных источников энергии) и подводимая к ХТС, состоит из тепловой и электрической составляющих.

Энергоносители, подводящие тепловую энергию к ХТС, выработанную из соответствующих топливных ресурсов, являются горячими утилитами ХТС. Для функционирования ХТС необходимо и охлаждение технологических потоков. Охлаждение (отвод тепла) производится потоками от источника холода (ресурс охлаждающей воды, холодильные установки, ресурс воздушного охлаждения и т.п.), которые являются холодными утилитами [4] или холодными внешними потоками ХТС. Использование тепла технологических потоков (исходных, целевых, промежуточных и побочных продуктов) данной ХТС является рекуперацией тепла технологических потоков.

Стадий подготовки исходных сырьевых компонентов для ХТС может состоять из нескольких ХТС, которые можно назвать суб-ХТС, так как по отношению к основной ХТС они являются вспомогательными. Целевыми продуктами этих суб-ХТС являются исходные подготовленные сырьевые компоненты для производственного процесса основной ХТС. Стадия выработки энергии также представляет собой ХТС, в том случае, когда целевым продуктом является тепловая энергия, полученная в результате сгорания топлива и поступающая с горячими утилитами в производственный процесс основной ХТС, либо используемая для выработки электроэнергии. Продукты же сгорания являются в данном случае побочными продуктами ХТС выработки энергии. Побочные продукты энергогенерирующих ХТС в качестве вредных выбросов оказывают негативное влияние на окружающую среду, заключающееся в следующем [4]:

- газы и аэрозольные выбросы в атмосферу, приводящие к ее загрязнению, интенсифицирующие парниковый эффект и разрушение озонового слоя;
- выбросы тепловой энергии в окружающую среду, то есть тепловое загрязнение, приводящее к изменению климата в локальных энергонасыщенных районах, больших городах, а также к изменению температурных условий в прилегающих водоемах с отрицательным влиянием на флору и фауну последних;

- загрязнение ландшафта, отрицательное влияние на растительность, животный мир, здоровье людей, то есть, на безопасность жизнедеятельности населения в данных местностях;
- загрязнение грунтовых вод;
- электромагнитные, электростатические и акустические загрязнения окружающей среды.

Выбросы в окружающую среду, как от энергогенерирующей системы, так и от основной ХТС и суб-ХТС подготовки исходных сырьевых компонентов, соответствующим образом обрабатываются с целью снижения содержания вредных компонентов. Подобная обработка производится в соответствующих технологических системах, а в случае необходимости – в специальных ХТС.

Таким образом, выбросы в окружающую среду могут быть твердыми, жидкими, газообразными, а также, как указано выше, в виде теплового излучения и в виде электромагнитных, электростатических и акустических загрязнений. Выбросы в виде твердых промышленных отходов (ТПО) и твердых бытовых отходов (ТБО) являются наиболее проблемными, негативное их влияние на окружающую среду является комплексным: прежде всего это отведение площадей, в том числе и полезного земельного фонда, под складирование и захоронение; загрязнение грунтовых вод и атмосферы в результате разложения твердых отходов. Одним из примеров процессов конверсии техногенных отходов является конверсия фосфогипса, по уровню энергозатрат эти процессы можно разделить на три основные группы: 1. Низкие энергозатраты; 2. Энергозатраты с потреблением низкопотенциальных энергоносителей; 3. Энергозатраты с потреблением высокопотенциальных энергоносителей (топливоек). К процессам первой группы относится, прежде всего, применение фосфогипса в сельском хозяйстве. Здесь, в крайнем случае, энергозатраты связаны со снижением уровня радиоактивности фосфогипса или его очисткой. К энергозатратным с потреблением низкопотенциальных энергоносителей относятся, например, процессы производства автоклавных гипсовых вяжущих (α -полугидрат). К энергозатратным с потреблением высокопотенциальных энергоносителей (сжигаемого топлива) относятся процессы производства обжиговых вяжущих (β -полугидрата) (рис. 1) и некоторые технологии комплексной переработки фосфогипса: получение

цементного клинкера и серной кислоты, сульфата аммония, мела и концентрата редкоземельных элементов, серной кислоты и агломерата для дорожного строительства, серной кислоты и извести, а также другие.

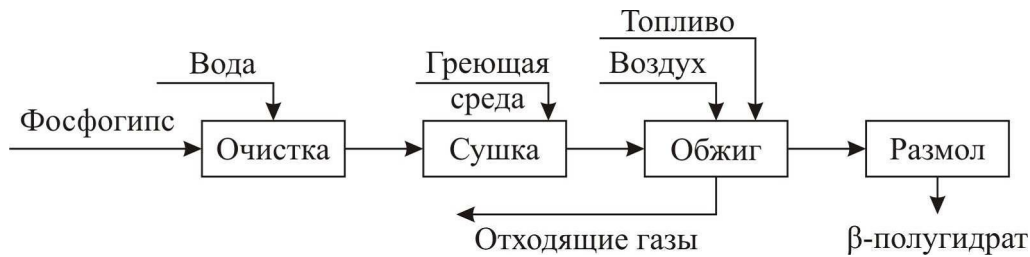


Рис. 1. Функциональная схема обжиговых вяжущих с потреблением высокопотенциальных энергоносителей

В комплексных технологиях конверсии фосфогипса также имеет место стадия высокотемпературной обработки материалов. Так, в производстве сульфата аммония, строительного мела и концентратов редкоземельных элементов обжигу подвергается карбонат кальция, в результате чего получается окись кальция, принимающая участие в ряде химических реакций.

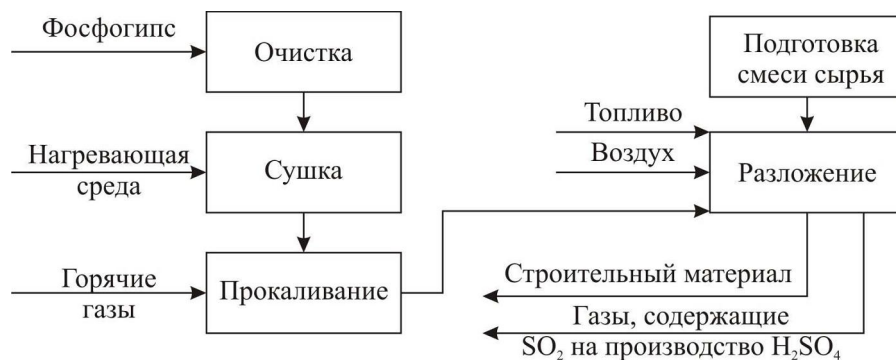


Рис. 2. Функциональная схема конверсии фосфогипса с применением стадии термического разложения

Например, такие технологии, как совместное получение серной кислоты и строительных материалов (цементного клинкера или агломерата для дорожного строительства) [2, 3] включают в себя процессы термического разложения фосфогипса, проходящие при очень высоких температурах, достигающих 900 – 1200 °С (рис. 2). Учитывая то, что для производства вяжущих в промышленных масштабах применяется, в основном, (β -полугидрат), можно сказать, что рассмотренные технологии конвер-

сии фосфогипса являются энергозатратными с потреблением высокопотенциальных энергоносителей, то есть требуют сжигания топлива для проведения соответствующих процессов. В настоящее время именно технологии конверсии фосфогипса, отнесенные к третьей группе по энергозатратности, могут кардинально решить проблему его более или менее полного использования. Однако здесь возникает еще одно существенное препятствие в конверсии фосфогипса – рост цен на энергоносители. Следовательно, технологии конверсии фосфогипса должны быть, прежде всего, энергоэффективными. Последовательности чередующихся нагревов и охлаждений на всех этапах производства, от первичной переработки сырья до получения конечного продукта, требует широкого использования теплообменников и интеграции потоков. В этой связи выбор эффективного теплообменного оборудования для нагрева, охлаждения и рекуперации имеет первостепенное значение для экономичной работы всего производства в целом [4]. Другим примером процессов конверсии техногенных отходов является термическая конверсия полимерных отходов различного происхождения, по уровню энергозатрат эти процессы можно разделить на три основные группы: 1. Слоевое сжигание исходных (неподготовленных) отходов в мусоросжигательных котлоагрегатах (МСК); 2. Слоевое или камерное сжигание специально подготовленных отходов (освобожденных от балластных фракций) в энергетических котлах совместно с природным топливом или в цементных печах; 3. Пиролиз отходов, прошедших предварительную подготовку или без нее. Метод слоевого сжигания исходных отходов наиболее распространен и изучен, при данном способе обезвреживания сжигаются все поступающие на завод отходы без какой-либо предварительной подготовки или обработки. Однако при сжигании выделяется большое количество загрязняющих веществ, поэтому все современные мусоросжигательные заводы оборудованы высокоэффективными устройствами для улавливания твердых и газообразных загрязняющих веществ, но стоимость их достигает 30% капитальных затрат на строительство всего завода и не гарантирует полную очистку отходящих газов и других компонентов [5]. Опыт эксплуатации отечественных заводов подобного типа позволил выявить ряд недостатков, влияющих на надежность работы основного технологического оборудования, на состояние окружающей среды и, са-

мое главное на наш взгляд, снижение стоимости сжигание ТБО с применением современных теплообменных систем. Существует возможность создания безотходного производства с использованием шлака и золы для дорожного строительства и стройиндустрии, обеспечив при этом извлечение остатков черного и цветного металлолома. О такой возможности немало сказано и написано, но до настоящего момента, ни одного крупнотоннажного комплекса не введено в действие. И, прежде всего, это связано с необходимостью наличия в схеме завода двухступенчатой системы очистки выбросов, отвечающей самым жестким нормативам и требованиям. Конструкции теплообменных систем должны, например, обеспечивать полное дожигание органических и полиароматических веществ, образующихся в процессе горения отходов.

Выводы. Таким образом, реализация энергосберегающих мероприятий конверсии ТБО и разных видов техногенных отходов в сочетании с тепловой интеграцией технологических систем производственных комплексов различных направлений позволяет превратить обременительные отходы производства в продукцию или, по крайней мере, сырьё для производства продукции. Стратегия выбора технологии конверсии должна основываться на требованиях рынка. Следует отметить, что при определении экономической эффективности и рентабельности таких производственных комплексов капитальные вложения и эксплуатационные расходы следует рассчитывать для единого производства: утилизации обременительных отходов и получение продуктов их переработки, а также ряда других выбранных продуктов.

Список литературы: 1. Постановления Кабинета Министров Украины № 303 от 1 марта 1999г. и № 626 от 21 июля 2005 г . 2. *Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Бухало С.И., Перервертайленко А.Ю.* Энергосберегающие инженерно-технологические мероприятия в процессах конверсии фосфогипса // Межд. н.-практ.конф. «Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности ЛЭРЭП-3-2008», 16–18.09.08 г., г. Казань. 3. *Капустенко П.А., Perevertaylenko A.Yu., Khavin G.L., Bukhalo S.I., Arsenyeva O.P.* Energy saving approaches for processes of phosphogypsum complex conversion // 18th International Congress of Chemical and Process Engineering –CHISA’ 2008, 24–28 August 2008, Praha, PRES 2008 and System Engineering, P5.69, Praha, 2008, p.1414. 4. Пластинчатые теплообменники в промышленности /Л. Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин, О.П. Арсеньева. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004.- 232 с. 5. *Карп И.Н., Сухин Е.И.* Количественная оценка влияния внедрения энергосберегающих технологий на экономию природного газа в промышленности и энергетике. // Экотехнологии и ресурсосбережение, – 2007, – № 4, – С. 24–44.

Поступила в редколлегию 09.03.11