

**ВЕСТНИК**  
НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА «ХПИ»

*Сборник научных трудов*

*Тематический выпуск*

*«Инновационные исследования в научных работах студентов»*

Издание основано Национальным техническим университетом «ХПИ»

в 2001 году

**Госиздание**

Свидетельство Госкомитета  
По информационной политике Украины  
КВ № 5256 от 2 июля 2001 года

**КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ**

**Председатель**

Л.Л. Товажнянский, д-р техн. наук, проф.

**Секретарь координационного совета**

К.А. Горбунов, канд. техн. наук, доц.

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.

Л.М. Бесов, д-р техн. наук, проф.

А.В. Бойко, д-р техн. наук, проф.

М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.

А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.

В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.

И.Ф. Домнин, д-р техн. наук, проф.

В.В. Епифанов, канд. техн. наук, проф.

Ю.И. Зайцев, канд. техн. наук, проф.

П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.

С.И. Кондрашев, д-р техн. наук, проф.

В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.

В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.

Г.В. Лисачук, д-р техн. наук, проф.

В.С. Лупиков, д-р техн. наук, проф.

О.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.

В.И. Николаенко, канд. ист. наук, проф.

В.А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.

Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.

Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.

Н.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

**Ответственный редактор**

Л.М. Ульев, д-р техн. наук, проф.

**Ответственный секретарь**

С.И. Бухало, канд. техн. наук, проф.

Ф.Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.

А.В. Горелый, канд. техн. наук, проф.

О.В. Григоров, д-р техн. наук, проф.

А.Г. Гурин, д-р техн. наук, проф.

И.Ф. Домнин, д-р техн. наук, проф.

А.В. Ефимов, д-р техн. наук, проф.

П.А. Капустенко, канд. техн. наук, проф.

С.И. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.

А.С. Куценко, д-р техн. наук, проф.

В.И. Мильых, д-р техн. наук, проф.

М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.

Н.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

В.И. Тошинский, д-р техн. наук, проф.

**АДРЕС РЕДКОЛЛЕГИИ**

61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ  
«ХПИ»

Кафедра интегрированных технологий,  
процессов и аппаратов

Тел. (057) 707-63-04

E-mail: [bis.khr@gmail.com](mailto:bis.khr@gmail.com)

Харьков 2011

УДК 001.895(062)+66.013.6(062)

**Вісник Національного технічного університету «Харківський полі-технічний інститут».** Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2011. – № 21. – 180 с.

У збірнику представлено теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, які показують здатність майбутніх фахівців до інноваційної діяльності, роботи виконані студентами та викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками, спеціалістами різних організацій та підприємств.

Для студентів, наукових співробітників, викладачів, аспірантів, спеціалістів.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты научных исследований и разработок, которые показывают способности будущих специалистов к инновационной деятельности, работы выполнены студентами и преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками, специалистами различных организаций и предприятий.

Для студентов, научных работников, преподавателей, аспирантов, специалистов.

**Друкується за рішенням Вченої ради НТУ «ХПІ»,  
протокол № 7 від 05. 07. 2011 р.**

ISSN 2220-4784

© Національний технічний університет «ХПІ», 2011

**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 малоэнергоемких 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 энергетико-технологических схем и др.

Декларация Общеевропейского совещания 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 энергетико-технологических 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 материально- и энергоемкости выпускаемой продукции, экономического, экологического, социального, правового, образовательного и культурно-воспитательного, информационного обеспечения и международного 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 материально- 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 высокоеффективных 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]:

- газовые и аэрозольные выбросы в атмосферу, приводящие к ее загрязнению, интенсифицирующие парниковый эффект и разрушение озона нового 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 (топливоемкие). 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 (*a*-полугидрат). К энергозатратным с потреблением высокопотенциальных энергоносителей (сжигаемого топлива) относятся процессы производства обжиговых вяжущих (*b*-полугидрата) (рис. 1) и некоторые технологии комплексной переработки фосфогипса: получение

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

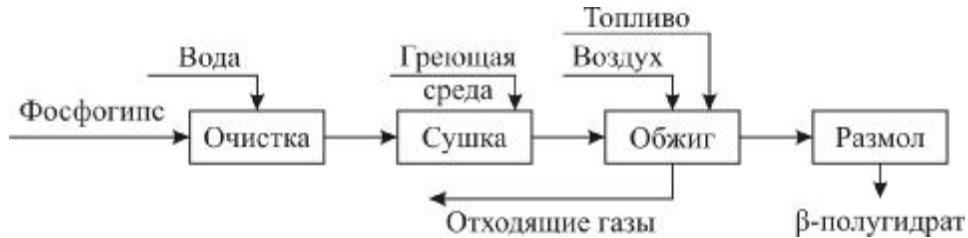


Рис. 1. Функциональная схема обжиговых вяжущих с потреблением высокопотенциальных энергоносителей

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 °C (рис. 2). Учитывая то, что для производства вяжущих в промышленных масштабах применяется, в основном, ( $\beta$ -полугидрат), можно сказать, что рассмотренные технологии конвер-

ции 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 металлом. 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., Переvertайлленко 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. Kapustenko P.A., Perevertaylenko A.Yu., Khavin G.L., Bukhalo S.I., Arsenyeva O.P. Energy saving approaches for processes of phosphogypsum complex conversion // 18<sup>th</sup> 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 редакцию 09.03.11

**Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ**, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»,  
**С.І. БУХКАЛО**, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»

## **МОЖЛИВОСТІ УПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ КОМПЕТЕНЦІЙ У СУЧASНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ**

У статті наведені основні методичні положення концепції впровадження системи компетенцій у навчальний процес студентів для комплексної інноваційної ділової гри нового покоління з підтримкою ключових елементів повного життєвого циклу створення конкурентоспроможної наукомісткої продукції

В статье приведены основные методические положения концепции внедрения системы компетенций в учебный процесс студентов для комплексной деловой игры нового поколения с поддержкой ключевых элементов полного жизненного цикла создания конкурентоспособной научноемкой продукции

The basic methodical assumptions are presented for implementation of competencies system into educational process for complex business game of new generation. The support of full life cycle key elements of competitible scientific filled production is discussed

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науково-практичними завданнями.** Усім відомо, що світова система освіти знаходиться у стані безперервної кризи, яка викликана внутрішніми та зовнішніми у відношенні до неї факторами. Перехід до ринкової економіки, високий рівень безробіття серед випускників вузів країн СНД, особливо в умовах економічної кризи, різко загострили проблеми та можливості молодих людей знайти свою нішу на ринку праці, підкреслили непідготовленість випускників до реальної організаторської та технічної діяльності.

Проблему навчання студента практичним навичкам діяльності у вищому навчальному закладі, навіть за допомогою найсучасніших методичних прийомів, вирішити дуже складно. Це зв'язано, наприклад, з тим, що навіть у тлумаченні понять «компетентність», «ключові компетенції» вчені й дотепер не мають одностайності. Узагалі більшість вважає, що створення умов у навчанні студентів для набуття ними необхідних компетенцій протягом життя сприятиме конкурентоспроможності випускників вищих навчальних закладів на ринку праці, ключові компетенції можуть сприяти їх участі в демократичних засадах суспільства.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор.** В останні роки поняття «компетенція» вийшло на дидактичний і методологічний рівень. Компетентна у певній області людина має відповідні знання й здатності, що дозволяють їй обґрутовано судити про цю область і ефективно діяти в ній [1 – 3]. Це пов'язане з її системно-практичними функціями й інтеграційної міжпредметною роллю в загальній освіті. Посилення уваги до даного поняття обумовлено також рекомендаціями Ради Європи, що можна віднести до відновлення освіти, її наближення до замовлення соціуму [2]. Аналіз зарубіжної літератури показує, що становлення поняття «ключові компетенції» пов'язане з розумінням їх як свого роду індикаторів, які визначають готовність випускника вищого навчального закладу до життя та професії. Більшість авторів вважають, що мають місце досить широкі програми, спрямовані на розвиток освіти впродовж життя, що, перш за все пов'язано з наступними коротко викладеними положеннями:

1. Розуміння культури компетентності, її завдань і сфери використання: конкурентноспроможна світова економіка, розвиток творчості, інноваційного мислення, активна участь у навчанні, підвищення стандартів викладання та навчання, сприяння створенню суспільства знань тощо;
2. Поняття компетентності: здатність особистості сприяти й відповісти на індивідуальні та соціальні потреби, комплекс взаємовідносин, цінностей, знань і навичок, здатність кваліфіковано виконувати завдання чи роботу;
3. Ключові компетенції сприяють успіху, розвитку якості суспільних інститутів, співвідносяться з різними сферами життя;
4. Ключові компетенції – фундаментальні та базові компетенції в галузі математики, науки, технологій, знання іноземних мов, уміння навчатись, соціальні та підприємницькі навички, загальна культура.

Для подолання розбіжностей у визначенні наведених вище понять, наприклад, розроблено програму «DeSeCe». Компетентність у цій програмі визначають так: здатність бути успішним в індивідуальних і соціальних потребах, діяти та виконувати поставлені завдання.

**Викладання основного матеріалу досліджень.** Активізація технічної творчості студентів, особливо якщо оцінювати цю роботу за такими взаємозв'язаними критеріями як компетенції та креативність, це розви-

ток творчих, організаційних та комунікативних спроможностей – сприяє розвитку креативної вищої освіти, як невід'ємної складової підвищення науково-технічного прогресу, що потребує підсилення індивідуальної роботи зі студентами [4 – 7]. До основних потреб з точки зору розвитку технічної творчості студентів у сучасному вищому навчальному закладі можна віднести:

1. Наявність політехнізації у вищому навчальному закладі – основна можливість для формування комунікативних та організаторських можливостей студентів;
2. Ріст спеціалізації викладання з метою утворення кінцевого виробу, проекту або технологічного процесу на базі широкого технічного кругозору;
3. Підсилювання взаємодії та тісного співробітництва різних спеціальностей з метою мотивації творчої співпраці за рахунок змагання у колективі групи проектантів;
4. Утворення нових міжкурсовых, міжкафедральних та міжфакультетських комплексних з'єднань при вирішенні різновидів інноваційних проектів та ін.

Як відомо, компетенції класифікують:

- за рівнем ієрархії – ключові, загальнопредметні, предметні;
- за змістом – ціннісно-смислові, загальнокультурні, учебово-пізнавальні, інформаційні, комунікативні, соціально-трудові, компетенції особистісного самовдосконалення;
- за видом діяльності – освітній професійні,

Перш за все, для політехнічної вищої освіти компетенції можна класифіковати: навчальна – предметна й пізнавальна компетенція, особистісна й творча компетенція, адміністративна, стратегічна, соціальна, педагогічна й комунікативна компетенція, методологічна компетенція та інноваційна технічна компетенція. Компетенції – це знання, досвід, способи діяльності з реальними об'єктами у вигляді інноваційних проектів різних рівней. Розробляючи зміст компетенцій, ми наповнюємо «знання», «уміння», «навички», «здатності», «якості» конкретним предметним змістом, визначаємо функції кожної компетенції. Тобто методи, прийоми розвитку визначаються змістом і функцією компетенції. Із цього погляду, можна визначити, що й самі компетенції будуть класифікуватися на

організаційно-діяльностні, когнітивні (лат. cognitio, «пізнання, вивчення, усвідомлення») й креативні, які мають творчій початок.

При цьому креативність (творення) являє собою ефективний шлях розв'язання проблеми – це, перш за все, використання творчих здібностей індивіду студента, які характеризуються готовністю до утворення принципово нових ідей і входять до структури обдарованості у якості незалежного фактору. Аналіз становлення поняття «ключові компетенції» пов'язаний з готовністю випускника вищого навчального закладу до життя та професії. Критерії оцінки потенціалу інтенсифікації розробок в сфері інноваційних технологій можна представити наступними фактами:

- розширення кількості студентів, які приймають участь у ігровому та комплексному проектуванні – можливо залучати студентів 1 – 5 курсів фактично усіх факультетів;
- створення передумов для ефективної співпраці винахідників і підприємців при розробці інноваційних проектів різних рівнів складності;
- широке розповсюдження інформації про результати інноваційних розробок та ін.

Для проведення комплексного ігрового проектування розроблені основні етапи роботи для студентів різних факультетів 1–5 курсів (рис. 1) і вибрана інноваційна тематика з ресурсо- та енергозбереження.



Рис. 1. Функціональна схема підготовки до виконання комплексного інноваційного проекту з точки зору ключових компетенцій

Аналіз представлених компетенцій дозволяє зробити висновок про їх креативну напрямленість у якості підготовчого етапу до роботи у творчому напрямку. Таким чином, за функціональною схемою можна визначити основні складові кожної стадії функціональної схеми: 1. Організація взаємозв'язку з відомими проектами; аналіз розвитку суспільства і техніки; розробка власних поглядів і позиції у дискусії; уміння протистояти невпевненості і складності. 2. Пошук і вивчення різноманітних баз даних; консультації експертів різних рівній та опит оточення; здобування інформації та її логіко-структурна класифікація; вміння роботи з документами. 3. Вміння отримувати користь з досліду; організація взаємозв'язку власних знань, їх упорядкування та розробка власних прийомів вивчення; самостійно займатися самоосвітою з метою формування вміння вирішення проблеми завдання. 4. Вміння організовувати свою роботу, входити до колективу проектантів і вносити свій вклад; нести відповідальність і підтверджувати солідарність; володіти сучасними методами математичного моделювання та оптимізації, бути обізнаним у обчислювальної техніці і програмуванні з точки зору постановки завдання. 5. Вміння співпрацювати при роботі у колективі та договорюватися; приймати рішення, улагоджувати конфлікти та розбіжності; розробляти та виконувати контракти. 6. Вміння знаходити нові рішення з метою модернізації об'єктів; використання інноваційних технологій інформації і комунікації; мати і показувати стійкість перед труднощами; доказувати гнучкість до швидких змін.

Завдання й цілі дослідження інноваційного проекту полягали у виборі науково-обґрунтованих методів комплексної переробки й кінцевої утилізації полімерних відходів разом з іншими видами відходів на енергозберігающему підприємстві нового типу, наприклад, з виробництва хімічної продукції або сучасний коксохімічний завод. Такий підхід дозволяє використовувати ресурсний потенціал цих відходів, а також створює передумови для дотримання нормативно-правових, санітарно-екологічних, економічних і організаційних аспектів проблеми керування відходами в цілому (рис. 2). Аналіз проведених нами розробок показує, що такі виробничі комплекси дозволяють не тільки утилізувати різні викиди своїх підприємств або одержувати енергію з не підлягаючих переробці відходів, але можна створити й переробні виробництва для різних

видів відходів. Проведена апробація і розповсюдження результатів роботи у вигляді статей, навчальних посібників, патентно-ліцензійних матеріалів у журналах, виставках, науково-технічних конференціях з інноваційних методів навчання та технічної творчості студентів.



Рис. 2. Схема організації комплексного інноваційного проекту

Для впровадження поняття компетентності у навчальний процес педагогічні працівники проводять викладання на міжнародній основі, орієнтуються на роботу в команді, упроваджують індивідуалізацію та організують роботу над інноваційними проектами різних рівнів. Особливості реалізації інноваційних технологій у навчальному процесі можна представити рядом показників роботи студентів у створеному підприємстві для виконання інноваційного проекту:

- § самостійність студентів з вибору засад у створеному віртуальному або реальному підприємстві нового типу;
- § самостійність студентів з вибору способів реалізації теми та необхідних складових розділів інноваційного проекту;
- § вибір об'єкту (підприємства) для втілення інноваційної технології;
- § керівник проекту – студент на усіх стадіях проекту, викладачі набувають статусу консультантів;
- § реалізація та аналіз сутності внутрішнього і зовнішнього змагань;
- § моделювання реальних ризиків проектування;
- § стовідсоткова вчасність захисту проектів;
- § підвищена якість ті інформативність проектів з урахуванням необхідних складових та ін.

Основними характеристиками такої роботи, які розглядаються як критерії компетентності – можуть бути:

- багатовимірність й ціннісні орієнтації;
- інтелектуальні знання;
- досяжність, прозорість, багатофункціональність;
- уміння співпрацювати й діяти паралельно за різними напрямами;
- опанування базою даних інформаційно-комп'ютерних технологій;
- розв'язуванні проблем, самоврядування та саморегуляція;
- уміння критично мислити, обумовлювати варіанти свого вибору, брати до уваги різні обставини, поважати інших, бути лояльною людиною, уміння співпрацювати та знаходити творчі рішення, діяти.

**Виводи і перспективи подальшого розвитку даного напряму.**

Впровадження в навчальний процес запропонованої концепції комплексного ігрового проектування (ділової гри) сприяє розвитку інтелектуальних та організаційних здібностей студентів, формує навички самостійної, організаційної та колективної діяльності, комунікаційність, креативність та особистість керівника, що загалом сприяє інтенсивному розвитку науково-технічної творчості випускників вищих навчальних закладів. Висновки, як необхідні складові успішної роботи за обраним інноваційним напрямком можна визначити, перш за все, як:

- наявність професійного і креативного вирішування наукових, технічних та організаційних задач;
- розширення забезпечення навчально-методичною літературою з урахуванням можливостей інноваційних об'єктів;
- застосування технологій інтеграції освіти і науки; набуття практичних навичок виконання реальних патентних розробок;
- розробка напрямків та технологій інноваційного комплексного ігрового проектування;
- вибір об'єктів для втілення інноваційної технології та ін.

Властиві ринку ризики і невизначеність ситуації жадають від молодих фахівців самостійності й відповідальності за прийняті рішення, сприяють пошуку оптимальних організаційних і науково-технічних рішень щодо інноваційних технологій та проектів.

**Список літератури:** 1. Хуторский А.В. Дидактическая эвристика. Теория и технология креативного обучения. – М.: Изд-во МГУ, 2003. – 416 с. 2. Совет Европы: Симпозиум по теме «Ключевые компетенции для Европы»: Док. DECS / SC / Sec. (96) 43. Берн, 1996. 3. Психология личности / [под ред. Д.Я. Райгородского]. – Самара : Баҳрат, 1999. – 544 с. 4. Товажнянский Л.Л. Национальный технический университет «ХПИ» на пути в 21 век. – Х.: НТУ «ХПІ», 1999. – 15 с. 5. Імітаційно-ігрове моделювання в професійній освіті : матеріали міжнародної науково-методичної конференції [«Фундаментальна освіта і формування гуманітарно-технічної еліти»], (Харків, 6 – 7 жовт. 2009 р.) / М-во освіти і науки України. – Х. : НТУ «ХПІ», 2009, – С. 98 – 99. 6. Активизация технического творчества в подготовке специалистов инженеров : материалы Международной научно-технической конф. [«Современные проблемыnano-, энерго-, ресурсосберегающих и экологически ориентированных химических технологий»], (Харків, 27–28 мая 2010 г.) / М-во освіти і науки України. – Х. : НТУ «ХПІ», 2010, – С. 373 – 375. 7. Бухкало С.І. Можливості комплексної ділової гри у навчальному процесі як шлях упровадження системи компетенцій з метою підготовки конкурентоздатних фахівців : презентація на Міжнародній виставці [«Сучасні навчальні заклади – 2011»], (Київ, 2–4 березня 2011 р.) / М-во освіти і науки України, Національна Академія педагогічних наук України. – К. : 2011.

Надійшла до редколегії 07.04.11

УДК 621:664(076)

**Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ**, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»,  
**Л.М. УЛЬЕВ**, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»,  
**И.Б. РЯБОВА**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»,  
**А.А. КОВАЛЬЧУК**, студент, НТУ «ХПІ»

## **ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ СМЕСИ МЕТАНОЛ-ЭТАНОЛ**

У даній роботі розглядається процес та принцип теплоенергетичної інтеграції. Вона полягає у розташуванні теплообмінних апаратів вище і нижче пінча таким чином, щоб вся теплота гарячих потоків була передана холодним, тобто рекуперована. Якщо після їх розташування залишиться нереалізоване навантаження, то його реалізують завдяки утилітам

В данной работе рассматривается процесс и принцип теплоэнергетической интеграции. Она состоит в расположении теплообменных аппаратов выше и ниже пинча таким образом, чтобы вся теплота горячих потоков была передана холодным, т.е. рекуперирована. Если после их расположения останется нереализованная нагрузка, то его реализуют благодаря утилитам

In this work is examined process and principle of heat-energy integration. It consists in the location of heat-exchange vehicles higher and below pinch so that all warmth of hot streams was passed by cold, that recuperetion. If the unrealized loading will stop behind after their location, then it will be realized due to utilities

**Постановка задания.** На обычной технологической схеме очень трудно провести разделение ХТС на подсистему находящуюся выше пинча

и подсистему ниже пинча. Для того чтобы синтезировать интегрированную систему теплообмена рассматриваемых процессов, строится сеточная диаграмма технологических потоков с указанием локализации пинча. На сеточной диаграмме уже значительно проще определить количество теплообменных связей, а так же нагрузку и температуру потоков на выходе из теплообменников.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известно, что область пинча делит систему технологических потоков на две термодинамические подсистемы, каждая из которых находится в тепловом равновесии со своими утилитами, т.е. в тепловой сети с максимальной рекуперацией энергии для данного  $\Delta T_{min}$  и минимальным потреблением внешней энергии. Нужно также запретить передачу тепловой энергии через пинч. Для этого, используя правила и методы пинч-анализа, выполняются отдельно проекты тепловых сетей выше пинча и ниже пинча, а затем сшиваются на температурах пинча [1]. В области пинча действуют наименьшие движущие силы теплопередачи, поэтому это самая стеснённая область для возможных размещений рекуперативных теплообменников. На всех теплообменных аппаратах в районе пинча  $\Delta T_{min}$  должно быть одинаково. Сначала размещают теплообменники в подсистеме выше пинча, двигаясь от пинча в левую сторону [2]. Также необходимо чтобы выполнялось  $CP$  правило для подсистемы выше пинча  $CP_H \leq CP_C$ , т.е. для того чтобы температурная разность между теплоносителями в теплообменниках, размещенных вблизи пинча и выше него, не уменьшалась.

**Изложение основного материала исследований.** Начинать размещение необходимо с горячего потока, имеющего максимальную потоковую теплоёмкость. В партнёры ему подбирают холодный поток также с максимальной потоковой теплоёмкостью. Затем переходят к рассмотрению горячего потока, но уже с меньшей потоковой теплоёмкостью и процесс повторяется. После того как все горячие потоки будут рассмотрены переходят к подсистеме ниже пинча. В подсистеме ниже пинча теплообменники начинают расставлять от пинча и двигаются вправо. Определив холодный поток, с наибольшей потоковой теплоёмкостью, подбираем ему партнёра среди горячих потоков так, чтобы выполнялось условие  $CP_H \geq CP_C$ . Далее переходят к рассмотрению холодного потока с меньшей потоковой теплоёмкостью и процесс повторяется. Необходимо помнить, что размещение теп-

лообменника на пинче возможно только для тех потоков, у которых потоковая теплоёмкость входящего в пинч потока, не превышает потоковой теплоёмкости, выходящего из пинча потока, или  $CP_{IN} \leq CP_{OUT}$  [2].

**Построение сеточной диаграммы.** Построение начинается с изображения горячих и холодных потоков в горизонтальной плоскости, с последующим их разделением на две подсистемы в области пинча. Эти подсистемы имеют название «выше пинча» и «ниже пинча» (рис. 1).

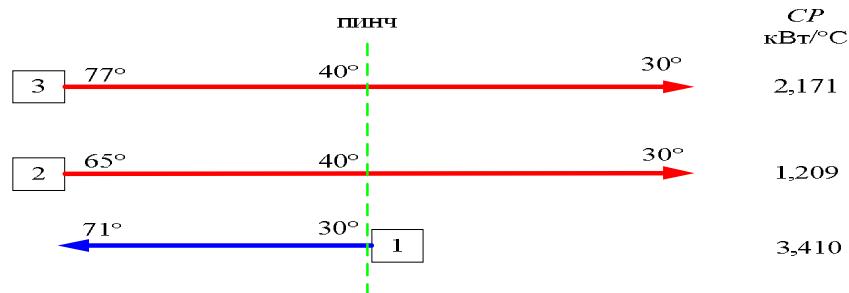


Рис. 1. Сеточная диаграмма технологической системы ректификации смеси метанол-этанол: 1-холодный поток; 2,3-горячие потоки;  $CP$ -потоковая теплоёмкость

Сеточная диаграмма построена на основе данных, которые были рассмотрены в статье «Определение энергосберегающего потенциала для процесса ректификации смеси метанол-этанол». Выше пинча вся теплота горячих потоков может быть рекуперирована холодным потоком. Это значит, что выше пинча потоки должны быть приведены к температуре пинча с помощью теплообмена с холодным потоком.

**Рассмотрим подсистему, которая находится выше пинча.** Для того, чтобы выше пинча осуществить рекуперацию тепловой энергии горячих потоков холодными, необходимо, чтобы количество горячих потоков было меньше или равнялось числу холодных потоков. Это условие для данной технологической схемы не выполняется, поэтому росщепляем холодный поток на два параллельных потока (рис. 2). При этом поточную теплоемкость холодного потока  $CP_1 = 3,410$  кВт/°С разделяем на две теплоемкости. В итоге получили  $CP_{1,1} = 1,21$  кВт/°С и  $CP_{1,2} = 2,2$  кВт/°С.

Размещение начинаем с горячего потока № 3, т.к. он имеет максимальную потоковую теплоёмкость  $CP_3 = 2,171$  кВт/°С. Находим ему партнёра для теплообмена среди холодных потоков, при этом, чтобы выполнялось условие (1).

$$CP_H \leq CP_C \quad (1)$$

где  $CP_C$  и  $CP_H$  – потоковая теплоёмкость холодного и горячих потоков, кВт/°С. Для горячего потока № 3 – это холодный поток № 1.2 с потоковой теплоёмкостью  $CP_{1.2}=2,2$  кВт/°С.

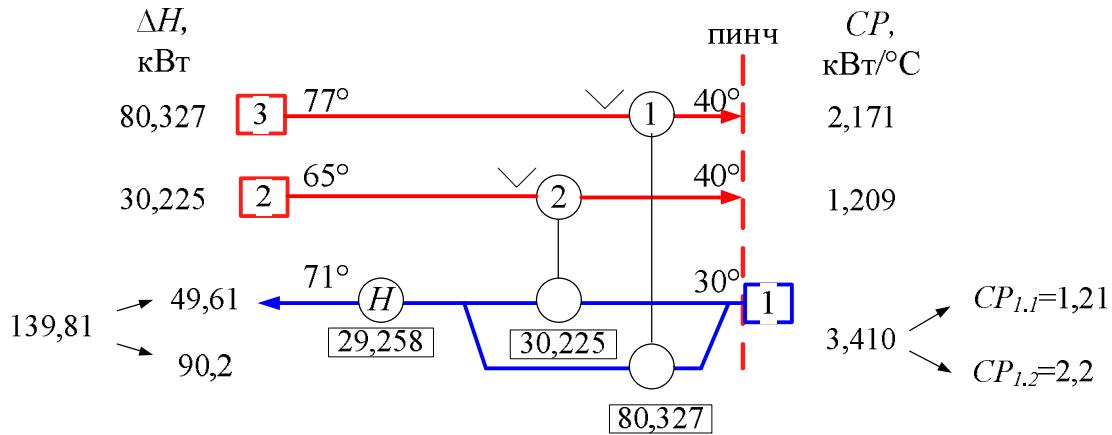


Рис. 2. Подсистема выше пинча:  
1 – холодный поток; 2,3 – горячие потоки;  $H$  – нагреватель; 1,2 – теплообменники

Таким же образом подбираем партнера к горячему потоку № 2, с потоковой теплоёмкостью  $CP_2=1,209$  кВт/°С, холодный поток № 1.1, с потоковой теплоемкостью  $CP_{1.1}=1,21$  кВт/°С. Чтобы сократить количество теплообменных аппаратов используется принцип максимальной нагрузки каждого рекуперативного теплообменника в тепловой сети технологической системы. Для того, чтобы максимизировать нагрузку в теплообменниках вычисляют изменение потоковой энталпии каждого потока (2). Изменение энталпии горячих потоков:

$$DH_N = CP_N(T_{PH} - T_{SN}) \quad (2)$$

где  $N$  – номер потока;  $T_{PH}$  – горячая температура пінча °С;  $T_{SN}$  – температура снабжения °С. Изменение энталпии горячего потока № 2 и № 3 (по уравнению 2):

$$DH_2 = 1,209 \cdot (65 - 40) = 30,225 \text{ кВт.}$$

$$DH_3 = 2,171 \cdot (77 - 40) = 80,327 \text{ кВт.}$$

Изменение энталпии холодных потоков (3):

$$DH_N = C_{PN}(T_{TS} - T_{PC}) \quad (3)$$

где  $N$  – номер потока;  $T_{PC}$  – холодная температура пінча °C;  $T_{TS}$  – целевая температура °C. Изменение энталпии холодных потоков № 1.1 и № 1.2 (по уравнению 3):

$$DH_{1.1} = 1,21 \cdot (71 - 30) = 49,61 \text{ кВт}$$

$$DH_{1.2} = 2,2 \cdot (71 - 30) = 90,2 \text{ кВт.}$$

Записываем эти значения на сеточной диаграмме рядом с соответствующими потоками. Максимизуем тепловую нагрузку теплообменного аппарата, размещенного на потоках № 3 и № 1.2. В этом случае минимальное изменение энталпии горячего потока равняется  $\Delta H_3 = 80,327$  кВт, поэтому и тепловая нагрузка этой теплообменной связи будет равняться 80,327 кВт. Отметим поток № 3. Максимизируем тепловую нагрузку теплообменного аппарата, размещенного на потоках № 2 и № 1.1. В этом случае минимальное изменение энталпии горячего потока равняется  $\Delta H_2 = 30,225$  кВт, поэтому и тепловая нагрузка этой теплообменной связи будет равняться 30,225 кВт. Отметим поток № 2. Запишем значение тепловых нагрузок под соответствующим изображением теплообменного аппарата на сеточной диаграмме (рис. 2).

После размещения на сеточной диаграмме двух теплообменников у нас осталась неудовлетворённая нагрузка на холодном потоке № 1, необходимая для нагревания первого потока, после второго и первого теплообменника, к его целевой температуре, которая равняется 71 °C. Определяем эту мощность (4):

$$DH_{1.1} = \Delta H_F - \Delta H_2 \quad (4)$$

$$DH_{1.2} = \Delta H_F - \Delta H_3$$

$$DH_{1.1} = 49,61 - 30,225 = 19,385 \text{ кВт}$$

$$DH_{1.2} = 90,2 - 80,327 = 9,873 \text{ кВт}$$

$$DH_{\text{общ.}} = 9,873 + 19,385 = 29,258 \text{ кВт.}$$

где  $\Delta H_F$  – нагрузка на расщеплённых потоках кВт;  $DH_{\text{общ.}}$  – нагрузка необходимая для нагрева холодного потока кВт. Вся теплота горячих потоков под пинчём уже рекуперирована холодными, с помощью размещения двух теплообменников. Поэтому, чтобы привести поток № 1 к

его целевой температуре, нам необходимо использовать горячие утилиты, например, нагреть поток паром. Отмечаем это на сеточной диаграмме (рис. 2).

**Рассмотрим подсистему, которая находится ниже пинча.** Вычислим изменение поточной энталпии горячих потоков в подсистеме ниже пинча (2):

$$DH_3 = 2,171 \cdot (40-30) = 21,71 \text{ кВт}$$

$$DH_2 = 1,209 \cdot (40-30) = 12,09 \text{ кВт.}$$

Для того, чтобы привести потоки № 2 и № 3 к их целевым температурам, необходимо использовать холодные утилиты, например, охлаждать потоки водой. Отмечаем это на сеточной диаграмме (рис. 3).

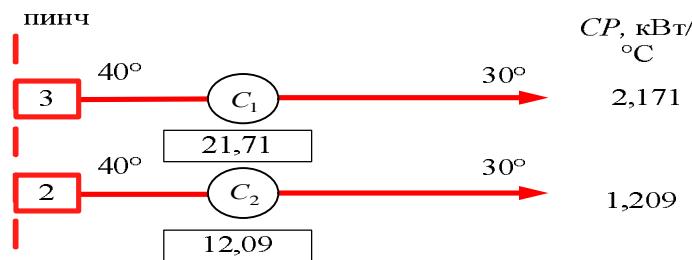


Рис. 3. Подсистема ниже пинча: 2,3 – горячие потоки;  $C_1, C_2$  – охладители

Далее определяются температуры потоков на горячей и холодной стороне установленных теплообменников. Используя уравнение баланса энталпии, вычисляем отсутствующие температуры. Уравнение баланса энталпии (5) для теплообменника № 2 на втором потоке с теплоемкостью  $CP_{1,1}=1,21 \text{ кВт/}^{\circ}\text{C}$  имеет вид:

$$CP_{1,1} \cdot (T_{\text{вых},1.1} - T_{PC}) = 30,225 \text{ кВт.} \quad (5)$$

Откуда температура холодного теплоносителя на горячей стороне теплообменника № 2 определится величиной:

$$T_{\text{вых},1.1} = 30 + 30,225 / 1,21 = 54,9 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Уравнение баланса энталпии (6) для теплообменника № 1 на третьем потоке с теплоемкостью  $CP_{1,2}=2,2 \text{ кВт/}^{\circ}\text{C}$  имеет вид:

$$CP_{2,2} \cdot (T_{\text{вых},1.2} - T_{PC}) = 80,327 \text{ кВт.} \quad (6)$$

Откуда температура холодного теплоносителя на горячей стороне теплообменника № 1 определится величиной:

$$T_{\text{вых},1.2} = 30 + 80,327 / 2,2 = 66,51 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Уравнение баланса энталпии (7) для нагревателя  $H$  на первом потоке с теплоемкостью  $CP_1 = 3,410 \text{ кВт}/\text{°С}$  имеет вид:

$$CP_1 \cdot (T_{bx,1} + T_{PC}) = 29,258 \text{ кВт}. \quad (7)$$

Откуда температура смеси перед входом в нагреватель  $H$  определится величиной:

$$T_{bx,1} = 71 - 29,258/3,410 = 62,42 \text{ °C}.$$

Показываем это на сеточной диаграмме (рис. 4).

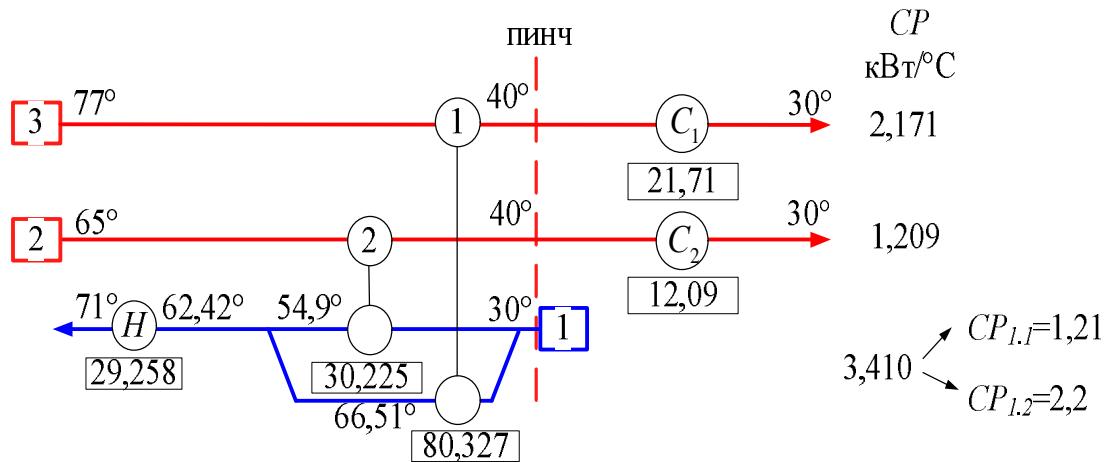


Рис. 4. Сеточная диаграмма технологических потоков и связующих их теплообменников в технологической системе ректификации: 1 – холодный поток; 2,3 – горячие потоки;  $H$  – нагреватель;  $C_1, C_2$  – охладители

Таким образом, проектирование системы теплообмена выше пинча и ниже пинча закончено. В результате сделанной работы получены данные – табл. 1.

Таблица 1  
Сравнение энергетических характеристик, существующей и предлагаемой в проекте реконструкции теплообменных сетей

Технологическая схема	Горячие утилиты $Q_{H,\min}, \text{кВт}$	Холодные утилиты $Q_{C,\min}, \text{кВт}$
До реконструкции	139,81	144,35
После реконструкции	29,258	33,80

В результате выполненной работы была получена оптимизация теплообменной сети процесса ректификации для выбранных целевых функций (рис.4).

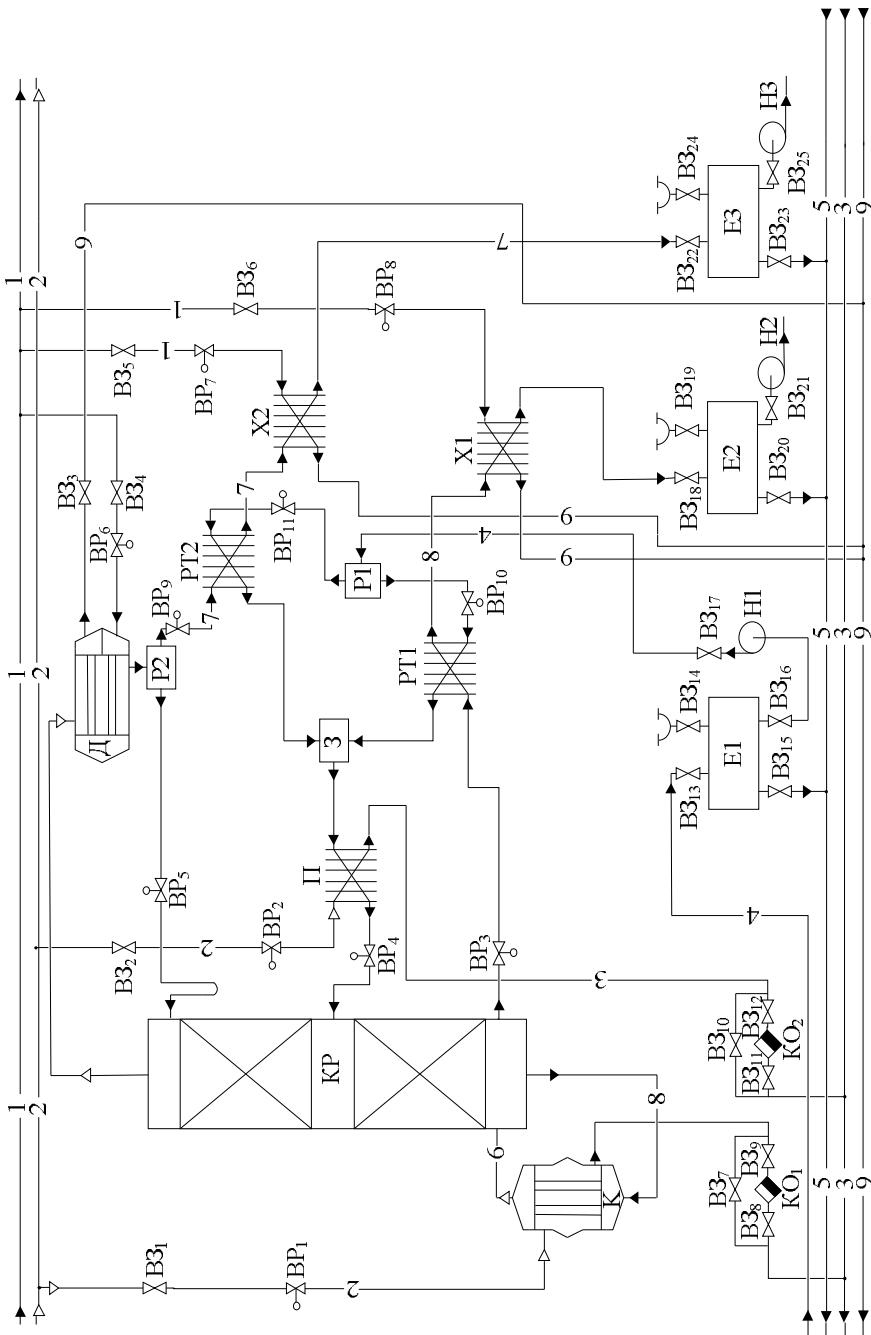


Рис. 5. Развёрнутая энерго-технологическая схема ректификации. 1 → Вода обратная входная; 2 → пар; 3 → конденсат; 4 → исходная смесь; 5 → канализация; 6 → паро-жидкостная эмульсия; 7 → дистилят; 8 → кубовый остаток; 9 → вода обратная выходная; 10 → пары дистиллята; КР – колонна ректификационная; Д – дефлегматор; П – подогреватель; X1...X2 – ходильник; Е1...Е3 – ёмкость; Р1...Р2 – разделятель; Н1...Н3 – насос; ВР1...ВР11 – насос; ВР12...ВР25 – вентиль запорный; КО1...КО2 – конденсатоотводчик; К – кипятильник; РТ1...РТ2 – теплообменник рекуперационный; С – смеситель.

Для заданного значения  $\Delta T_{min}$  методами пинч-проектирования синтезирована технологическая схема теплообменной системы. Создание рекуперативной системы установки по предлагаемой схеме (рис.4) позволит снизить мощность горячих утилит до  $\sim 29,258$  кВт, и мощность холодных до  $\sim 33,8$  кВт. Так же необходимо помнить, что основной показатель экономической эффективности разработанной пинч системы – срок окупаемости капитальных вложений, который показывает, за сколько лет разовые капитальные вложения окупаются, за счет ежегодного прироста чистой прибыли предприятия. Расчёт срока окупаемости (8):

$$T_{OK} = K / \Delta \Pi_{ГЧ}, \quad (8)$$

$$T_{OK} = 331770 / 126220 = 2,6 \text{ лет.}$$

где  $T_{OK}$  – срок окупаемости проекта;  $\Delta \Pi_{ГЧ}$  – годовая чистая прибыль предприятия;  $K$  – капитальные затраты предприятия. Но срок окупаемости 2,6 лет для предприятия, будет только при цене на газ 2500 грн. за  $1000 \text{ м}^3$ , если же цена увеличится или уменьшится, срок окупаемости, соответственно, тоже изменится.

На основе сеточной диаграммы была спроектирована развёрнутая энерго-технологическая схема процесса ректификации (рис. 5).

**Выводы.** Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что сеточная диаграмма:

1. ясно показывает локализацию и значение пинча;
2. позволяет выполнить полный проект без изменения маршрута технологических потоков.

**Список литературы:** 1. Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Мешалкин В.П., Основы теории ресурсосберегающих интегрированных химико-технологических систем. Харьков: НТУ «ХПИ», – 2006. – 412 с. 2. Ульев Л.М., Курс лекций по предмету: Интеграция теплоэнергетических процессов. Харьков: НТУ «ХПИ», – 2009. – 280 с.

*Поступила в редакцию 25.03.11*

**В.В. МАТВЕЕНКО**, аспирант, НТУ «ХПИ»,  
**В. Т. ТУРЧИН**, м.н.с., НТУ «ХПИ»,  
**В.А. ПЫЛЁВ**, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,  
**В.Т. КОВАЛЕНКО**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»,  
**С.В. ОБОЗНЫЙ**, н.с., НТУ «ХПИ»,  
**И.А НЕСТЕРЕНКО**, студент, НТУ «ХПИ»

## **ВЛИЯНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО СТРУЙНОГО МАСЛЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПОРШНЯ НА РЕСУРСНУЮ ПРОЧНОСТЬ КРОМКИ ЕГО КАМЕРЫ СГОРАНИЯ**

В статье выполнен анализ эффективности применения регулируемого масляного охлаждения поршня. Обоснована необходимость разработки конструкции поршня, включающего систему регулирования подачи охлаждающего масла, причем в качестве управляющего параметра системы предлагается использовать температуру поршня

У статті виконано аналіз ефективності застосування регульованого масляного охолодження поршня. Обґрунтовано необхідність розробки конструкції поршня, що включає систему регулювання подачі охолодного масла, причому в якості керуючого параметру системи пропонується використовувати температуру поршня

This article gives an analysis of the effectiveness of controlled oil cooling piston. The necessity of design piston, including cooling oil supply regulation system, is justified, besides as a control parameter of the system is proposed to use piston temperature

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь в важными научными или практическими заданиями.** Известно, что поддержание оптимального теплового режима двигателя внутреннего сгорания (ДВС) положительно сказывается на топливной экономичности и эмиссии вредных веществ с отработавшими газами. На практике получили широкое распространение устройства автоматического регулирования температуры охлаждающей жидкости. В тоже время регулирование температурного состояния деталей камеры сгорания требует дальнейшего исследования.

**Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор.** В работе [1] предложено осуществлять регулирование струйного масляного охлаждения поршня с целью улучшения топливной экономичности и сни-

жения эмиссии вредных веществ с отработавшими газами. Экспериментально было получено, что при отключении масляного охлаждения поршней дизеля СМД-60 на частичных режимах с нагрузкой 35–70% от номинальной наблюдается улучшение топливной экономичности на 1–3%, при этом дымность отработавших газов снижается в 1,5–2 раза. В качестве управляющих параметров в системах автоматического регулирования (САР) подачи охлаждающего масла автором работы [1] было предложено использовать температуру отработавших газов  $t_T$  и давление воздуха во впускном коллекторе  $p_S$ .

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья.** Экспериментальные исследования, проведенные на кафедре ДВС НТУ «ХПИ» на дизеле 4ЧН12/14, показывают, что при уменьшении угла опережения впрыскивания  $\Theta_{\text{впр}}$  с  $23,5^0$  до  $18^0$  поворота коленчатого вала до верхней мертвой точки величина  $t_T$  увеличивается с  $440\ ^0\text{C}$  до  $463\ ^0\text{C}$ , т.е. на  $23\ ^0\text{C}$ . Величина  $p_S$  при таком изменении  $\Theta_{\text{впр}}$  увеличивается с  $1,53 \cdot 10^{-3}$  МПа до  $1,55 \cdot 10^{-3}$  МПа, т.е. на 0,02 МПа. Однако температура кромки камеры сгорания поршня изменяется не более чем на  $3\ ^0\text{C}$ . Видно, что  $\Theta_{\text{впр}}$  не оказывает значительного влияния на температурное состояние поршня, а величины  $t_T$  и  $p_S$  в случае регулирования  $\Theta_{\text{впр}}$  не всегда могут быть использованы в качестве управляющего параметра в САР масляного охлаждения поршня. В связи со сказанным возникает необходимость разработки конструкции поршня с САР масляного охлаждения, в которой в качестве управляющего параметра использовалось бы температурное состояние контрольной зоны поршня. При этом на частичных режимах предполагается полностью отключать масляное охлаждение поршня, как это было сделано в работе [1]. Кроме высокой топливной экономичности и экологичности САР ДВС должны обеспечивать требуемый уровень надежности двигателя [2]. В связи с этим необходимо выяснить вопросы, связанные с работоспособностью поршня при полном отключении масляного охлаждения.

**Формулировка целей статьи.** С учетом выполненного анализа целью данной статьи является исследование влияния регулируемого масляного охлаждения поршня на его температурное состояние и ресурсную прочность.

**Изложение основного материала исследований.** До разработки

новой конструкции поршня было проведено численное моделирование его температурного состояния на режимах эксплуатации тракторного дизеля 4-й категории [3]. Результаты расчета для уровня форсирования дизеля 4ЧН12/14 до  $N_{л}=27$  кВт/л приведены в табл. 1, 2. Здесь введены следующие обозначения:  $j$  – номер переходного процесса нестационарной модели эксплуатации;  $N_{лi}$ ,  $N_{лi+1}$ ,  $t_i$ ,  $t_{i+1}$  – соответственно, уровень форсирования двигателя и температура кромки камеры сгорания поршня на стационарных режимах с которого ( $i$ ) и на который ( $i+1$ ) осуществляется переход.

Таблица 1  
Результаты расчета температурного состояния поршня без САР

№ переходного процесса $j$	$N_{лi}$ , кВт/л	$N_{лi+1}$ , кВт/л	$t_i$ °C	$t_{i+1}$ °C
1	5,45	25,27	194,3	310,6
2	5,45	22,61	194,3	294,9
3	7,09	22,61	203,9	294,9
4	9,24	22,61	216,5	294,9
5	9,24	20,05	216,5	279,9
6	11,69	20,05	230,9	279,9
7	11,69	17,13	230,9	262,8
8	14,76	17,13	248,9	262,8

На режимах, выделенных в таблице 2 жирным шрифтом, масляное охлаждение поршня отсутствует (коэффициент теплоотдачи от тела поршня к маслу в его полости  $\alpha=500$  Вт/м<sup>2</sup>·К), на остальных режимах введено масляное охлаждение при  $\alpha=2200$  Вт/м<sup>2</sup>·К.

Таблица 2  
Результаты расчета температурного состояния поршня с САР

№ переходного процесса $j$	$N_{лi}$ , кВт/л	$N_{лi+1}$ , кВт/л	$t_i$ °C	$t_{i+1}$ °C
1	5,45	25,27	213,8	310,6
2	5,45	22,61	213,8	294,9
3	7,09	22,61	224,6	294,9
4	9,24	22,61	238,8	294,9
5	9,24	20,05	238,8	279,9
6	11,69	20,05	255,1	279,9
7	11,69	17,13	255,1	291,0
8	14,76	17,13	275,3	291,0

Из табл. 1, 2 видно, что по сравнению с исходной конструкцией температура кромки камеры сгорания на частичных режимах возросла на величину от 20 °С до 28 °С. На основании полученных значений температур была выполнена оценка ресурсной прочности поршня по методике [4]. Расчет накопленных повреждений, являющихся критерием работоспособности поршня, выполнялся по формуле:

$$d_{fs} = d_f + d_s = \sum_j \sum_k \frac{1}{N_{fk}} + \frac{1}{U^*} \cdot \sum_j \sum_k \sum_i \sum_l (\alpha_{il} \cdot s_l \cdot t_l),$$

где  $j$  – количество переходных процессов выбранной модели эксплуатации двигателя;  $k$  – количество циклов нагружения  $j$ -го переходного процесса;  $i$  – количество расчетных интервалов  $k$ -го цикла нагружения;  $l$  – количество подинтервалов  $i$ -го расчетного интервала;  $N_{fk}$  – число циклов до разрушения материала в условиях нагружения  $k$ -го цикла;  $U^*$  – критическая величина удельной энергии рассеяния в условиях ползучести;  $\alpha_{il}$  – скорость ползучести материала на подинтервале  $l$ .

Расчетная величина накопленных повреждений составила для поршня без САР 0,652, а с САР – 0,638. Таким образом, в обоих случаях обеспечивается работоспособность поршня.

### **Выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления.**

В данной работе показана возможность применения САР масляного охлаждения поршня форсированного дизеля, которая наряду с улучшением топливной экономичности и снижением эмиссии вредных веществ с отработавшими газами позволяет обеспечить высокую ресурсную прочность поршня. Дальнейшие исследования связаны с разработкой конструкции поршня с САР подачи масла, в которой в качестве управляющего параметра используется температурное состояние поршня.

**Список литературы:** 1. Минак А.Ф. Улучшение показателей форсированного тракторного дизеля путем регулирования масляного охлаждения поршней: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.04.02 «Тепловые двигатели» / Минак Анатолий Федорович. – Харьков, 1982. – 21 с. 2. Двигуни внутрішнього згоряння. Комп’ютерні системи керування ДВЗ: [у 6 т.]. – Харків: Прапор, 2004 – (Серія підручників у 6 т.) Т. 3. / [Марченко А.П., Рязанцев М.К., Шеховцев А.Ф.]. – 2004. 344 с. 3. Матвеенко В.В. Разработка теоретических стационарных экономичных моделей эксплуатации автотракторных дизелей для системы прогнозирования ресурсной прочности поршней / В.В. Матвеенко, В.А. Пылев // Сб.

научных трудов Междунар. конф. «Двигатель-2010», посвященной 180-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2010. – С. 64-67. 4. Пильов В.О. Автоматизоване проектирование поршней швидкоходистых дизелей из заданным рывнем тривалой міцності: Монографія. – Харків: Видавничий центр НТУ «ХПІ», 2001. – 332с.

*Поступила в редколлегию 01.04.11*

УДК 66.048.3:62-73; 62-68

**Л.М. УЛЬЄВ**, докт. техн. наук, НТУ «ХПІ»,  
**К.О. СІЛЬЧЕНКО**, студент, НТУ «ХПІ»

## ІНТЕГРАЦІЯ ПРОЦЕСУ РЕКТИФІКАЦІЇ ЧАСТКОВО РОЗЧИННОЇ АЗЕОТРОПНОЇ СУМІШІ ФУРФУРОЛ-ВОДА

У даній роботі визначається потенціал енергозберігаючого процесу ректифікації частково розчинної азеотропної суміші фурфурол-вода. В роботі показано, що за допомогою методу пінч-реконструкції можливо зменшити споживання пара на 137,3 кВт, а споживання потужності холодних утиліт на 144,3 кВт

В настоящей работе определяется энергосберегающий потенциал процесса ректификации частично растворимой азеотропной смеси фурфурол-вода. В работе показано, что с помощью метода пинч-анализа возможно уменьшить потребление пара на 137,3 кВт, а потребление мощности холодных утилит на 144,3 кВт

In given work is defined potential energy-efficient process rectification partly soluble mixture furfural-water. In work is shown that by means of method pinch-reconstructions possible to reduce the consumption a pair on 137,3 kWt, but consumption to powers cool scrap on 144,3 kWt

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науково-практичними завданнями.** Україна в даний час забезпечена власними енергетичними ресурсами не більше ніж на 40%, а середня вартість енергії, яка приходиться на питомий продукт, що випускається українською промисловістю, навіть з урахуванням тіньового виробництва, в 1,5–2 рази перевищує цей показник для індустріально-розвинених країн. Значною мірою це відбувається через те, що технологічні схеми промислових підприємств, діючі зараз на Україні, були створені під час відносно дешевих енергоносіїв. В даний час, коли вартість енергії різко зросла, і на Україні існує її дефіцит, питання економії енергії для промислових підприємств є життєво важливим. Тому більшість українських підприємств вимагають реконструкції, а при будівництві но-

вих підприємств необхідно використовувати сучасні ресурсо- і енергозберігаючі методи проектування [1]. Зниження споживання енергії на одиницю продукції, що випускається, за інших рівних умов позитивно також впливає на довкілля і здоров'я людини за рахунок зниження викиду шкідливих газів, що утворюються при отриманні енергоносіїв [4]. Одним з методів, який дозволяє досягти всіх цих цілей є Pinch-аналіз.

**Постановка завдання.** При модернізації існуючих виробництв методи Pinch-технологій дозволяють максимально використовувати вже встановлене устаткування, але в нових робочих мережах, що знижує інвестиції в реконструкцію. Більш того, методами Pinch-аналізу можна визначити вартісний компроміс між всіма названими цілями і капітальними вкладами при заданому часі окупності, якому повинен задовольняти достаточний проект. Метою роботи є створення мережі теплообмінників з максимальною рекуперацією енергії для заданого значення  $\Delta T_{min}$  за допомогою пінч технології [2].

**Існуєща технологічна схема.** У даній статті представлена модернізація схеми (рис.1) ректифікації суміші фурфурол-вода.

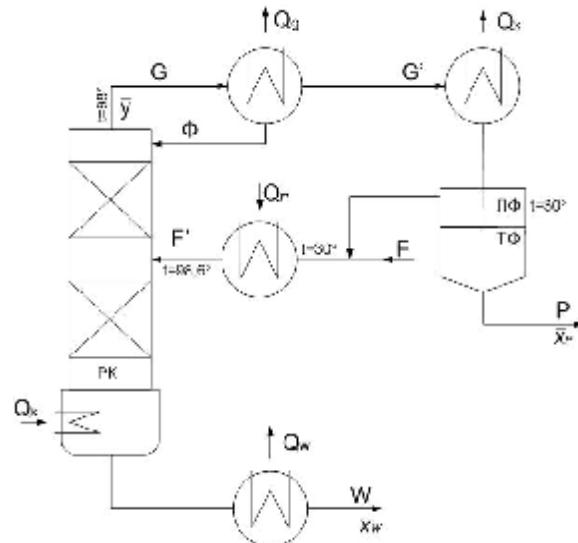


Рис. 1. Функціонально-технологічна схема ректифікації суміші фурфурол-вода до реконструкції: РК-ректифікаційна колона; ЛФ, ТФ – відповідно, легка та тяжка фаза у відстійнику

Вихідна суміш фурфурол-вода при температурі  $30^{\circ}$ , де концентрація фурфурола становить 8,8%, з витратою 5400 кг/год за допомогою на-

cosa подається на розподіловач, де ділиться на два холодні потоки. Один з потоків поступає на 1-й рекуперативний теплообмінник, а другий поступає і нагрівається в 2-му рекуперативному теплообміннику, змішується з першою і далі йде на підігрівач. Після нагрівача досягає температури 98,6°C. Кубовий залишок з концентрацією фурфурола 0,2%, знизу колони поступає на підігрівання вихідної суміші в 1-й рекуперативний теплообмінник, потім в холодильнику охолоджується до температури 30°C і поступає в накопичувальну ємність. Пара, після виходу з колони при температурі 98°C, конденсується в дефлегматорі і отриманий конденсат, з концентрацією фурфурола 94,2%, в дільнику ділиться на два потоки. Один потік повертається на верхню тарілку колони як флегма з флегмовим числом 4,23, а другий потік подається на 2-ий рекуперативний теплообмінник.

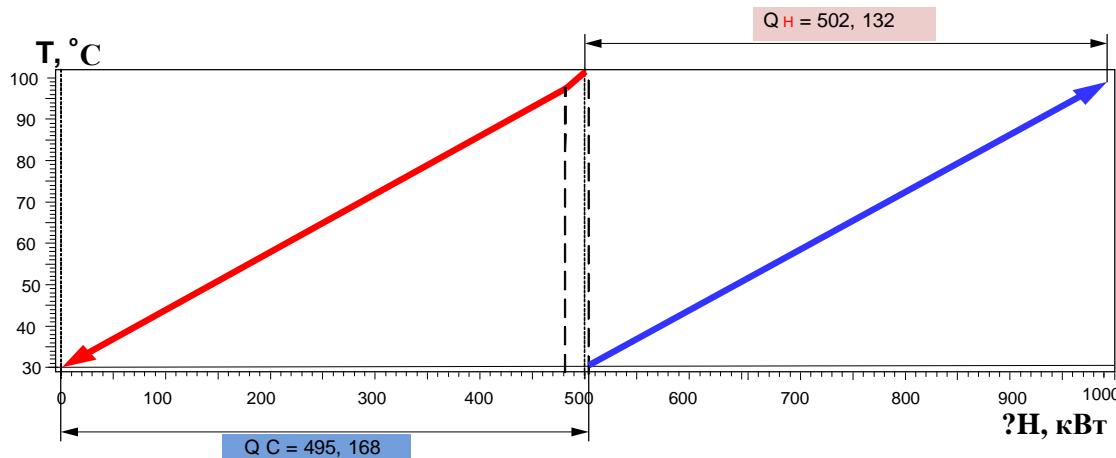


Рис. 2. Складові криві без реконструкції

Далі конденсат поступає у холодильник, охолоджується до температури і прямує у відстійник з температурою 30°C. У відстійнику відбувається розділення конденсату під дією гравітаційних сил на дві фази: легку – водну фазу і важку – фурфурол, який поступає в ємність. А легка водна фаза змішується з вихідною сумішшю і повторює цикл.

**Визначення енергозберігаючого потенціалу.** Пінч-аналіз зовнішньої мережі ректифікаційної установки можна виконати шляхом побудови складових кривих технологічних потоків, а також за допомогою методу табличного алгоритму. За результатами аналізу схеми процесу ректифікації були розраховані матеріальний і тепловий баланс, визначені зна-

чення матеріальних і теплових потоків вихідної суміші, дистиляту й кубового залишку[3]. Знайдені данні наведено в потокову таблицю 1.

Таблиця 1

Потокові дані технологічної схеми

№ потоку	Назва потоку	Тип потоку	Температура постачання, $T_s$ , °C	Цільова температура, $T_T$ , °C	Теплова потужність, Q, кВт	Витрачена теплоємність СР, кВт/°C
1	G'	гарячий	98	30	103,281	1,5188
2	W	гарячий	100	30	398,851	5,699
3	F'	холодний	30	98,6	495,168	7,2182

де  $T_T$ ,  $T_s$  – цільова температура та температура постачання, °C.

Проект пінч-інтеграції передбачає зменшення теплової потужності устаткування, що призводить до зниження річних витрат на енергоносій.

Для існуючого процесу (рис. 2) теплова потужність, необхідна для нагріву холодного потоку складає 495,168 кВт, а потужність, необхідна для охолодження гарячих потоків складає 502,132 кВт. На температурно-ентальпійній діаграмі виконуємо спільне зображення гарячої і холодної складових кривих. Тепер зрушуємо потоки уздовж енталпійної осі так, щоб забезпечити рівність  $\Delta T_{min}=20$  °C (рис. 3).

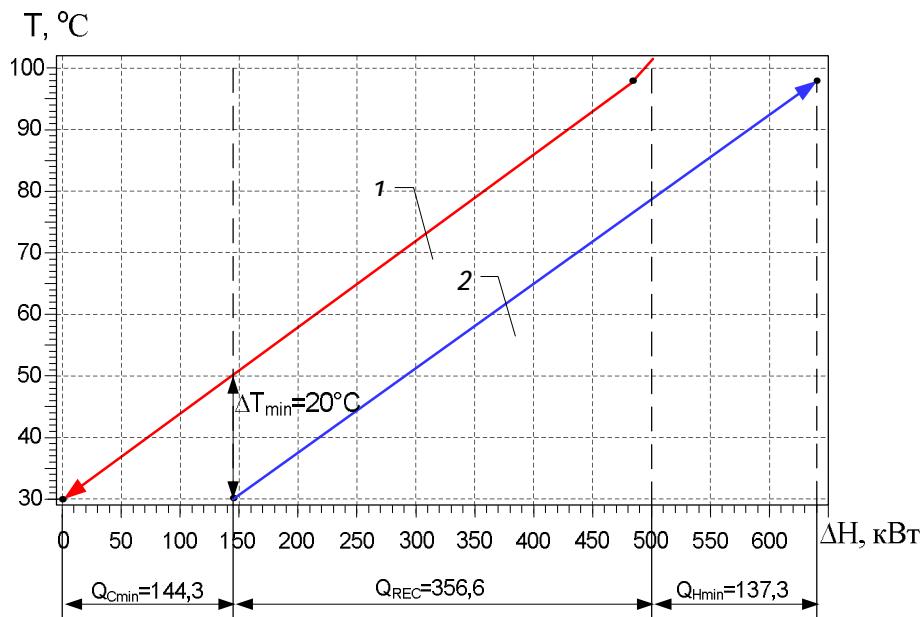


Рис. 3. Спільне зображення гарячої й холодної складових кривих: 1– гаряча складова крива; 2– холодна складова крива;  $Q_{Hmin}$ ,  $Q_{Cmin}$  – споживання потужності від гарячих утиліт і холодних утиліт.

Складові криві потоків, побудовані для ректифікаційної установки при  $\Delta T_{\min}=20^{\circ}\text{C}$ , показують, що існує можливість синтезувати мережу рекуперативного теплообміну в якій зменшуються використання холодних і гарячих утиліт. В результаті одержали цільові енергетичні значення для гарячих  $Q_{H\min}=137,3$  кВт і холодних енергоносіїв  $Q_{C\min}=144,3$  кВт, а максимальна потужність рекуперації –  $Q_{REK}=356,6$  кВт. Також визначили локалізацію пінча на температурах холодних потоків, яка дорівнює  $T_{\text{спінч}}=30^{\circ}\text{C}$  та гарячих –  $T_{H\text{пінч}}=50^{\circ}\text{C}$ .

За допомогою методу табличного алгоритму можна без побудови графіків обчислювати цільові енергетичні значення. Для цього спочатку визначимо зрушені температурні інтервали з реальних температур постачання й цільових температур технологічних потоків процесу. Необхідно всі гарячі потоки зрушити по температурній осі вниз на  $\Delta T_{\min}/2$  (гаряча складова крива на  $\Delta T_{\min}/2$  холодніше, ніж у дійсності), а холодні потоки піднімемо на  $\Delta T_{\min}/2$  (холодна складова крива на  $\Delta T_{\min}/2$  гарячіше, ніж насправді) [5]. У результаті такого зрушення стає можлива передача тепла між потоками у межах кожного температурного інтервалу. Дуже важливо відзначити, що вертикальне переміщення кривих не змінює величини основних енталпійних інтервалів [6].

Розташовуємо зрушені температурні інтервали й технологічні потоки уздовж температурної осі. Визначимо значення  $\Delta T^*$  для кожного інтервалу та енталпійний баланс:

$$\Delta H_i = \left( \sum_i^n CP_{C_i} - \sum_i^n CP_{H_i} \right) \Delta T_i,$$

де  $\Delta H_i$  – тепловий баланс для  $i$ -го зрушеного інтервалу, кВт;  $\Delta T_i$  – величина  $i$ -го температурного інтервалу,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $CP_{C_i}$  та  $CP_{H_i}$  – потокова теплоємність холодного та гарячих потоків  $i$ -го інтервалу, кВт/ $^{\circ}\text{C}$ . Отримані дані заносимо в табл. 2. Розташуємо наші температурні інтервали уздовж температурної шкали, спадаючим донизу каскадом. Спочатку припустимо, що перший температурний інтервал не одержує теплової енергії від зовнішніх енергоджерел рис.4.

Таблиця 2

## Тепловий баланс у температурних інтервалах

Номер інтервалу	Температури на межах інтервалів, $T$ , $^{\circ}\text{C}$	Розподілення потоків	$\Delta T_{\text{інт}}$ , $^{\circ}\text{C}$	$\sum C_P - \sum C_H$ , $\text{kBt}/^{\circ}\text{C}$	$\Delta H_{\text{інт}}$ , $\text{kBt}$	Надлишок / нестача
1	108,6°C		18,6	+7,2182	+134,258	нестача
2	90°C	2	2	+1,5192	+3,0384	нестача
3	88°C	48	48	+0,004	+0,0192	нестача
4	40°C	20	20	-7,2178	-144,356	надлишок
	20°C					

Перший інтервал має нестачу теплової потужності 134,258 кВт, що передається наступному інтервалу. Побудуємо каскад позитивних теплових потоків. Для цього до гарячих утиліт додаємо найбільшу нестачу тепла 137,3156 кВт і знаходимо тепловий баланс для кожного температурного інтервалу таким же чином, наведеним вище. У результаті одержали каскад табличного алгоритму при цільових значеннях гарячих утиліт рис. 4 а та б.

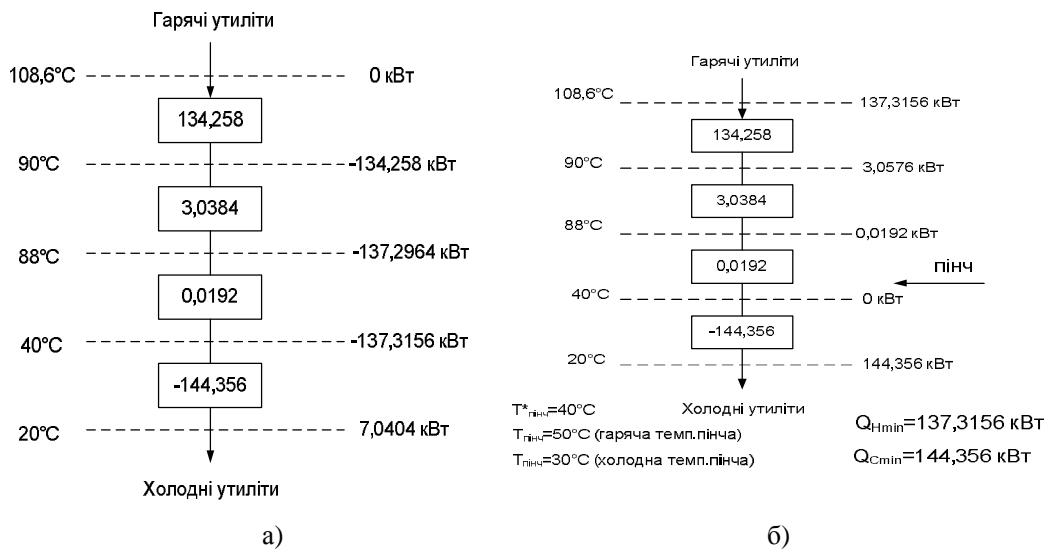


Рис. 4. Тепловий каскад табличного алгоритму при нульових гарячих утилітах (а) та при цільових значеннях гарячих утиліт (б)

## **Висновки**

В результаті виконання розрахунку методом табличного алгоритму отримали, що  $Q_{H\min}=137,3156$  кВт, а  $Q_{C\min}=144,356$  кВт. Визначили температури пінча для гарячих  $T_{H\text{пнч}}=50^\circ\text{C}$  та холодних потоків  $T_{C\text{пнч}}=30^\circ\text{C}$ . Ці значення відповідають величинам, що були отримані при побудові складових кривих.

**Список літератури:** 1. Мешалкін В.П. Основы теории ресурсосберегающих интегрированных химико-технологических систем: Учебн. пособие/ Мешалкін В.П., Товажнянський Л.Л., Капустенко П.А. – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – 412 с. 2. Основы интеграции тепловых процессов / [ Сміт Р., Товажнянський Л.Л., Ульєв Л.М. и др.]; – Харків: НТУ «ХПІ». – Бібліотека журнала ИТЭ. – Харків: НТУ «ХПІ», 2000. – 458 с. 3. Товажнянський Л.Л. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов в химической технологии / В.А. Лещенко, Л.Л. Товажнянского – под ред. Л.Л. Товажнянского – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – 432 с. 4. Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве / [Товажнянський Л.Л., Кошельник В.М., Соловей В.В., Кошельник А.В.] – под ред. Кошельника В.М. – Харків: НТУ «ХПІ». 5. Cooper P.R. Royal Society Esso Energy Award. – London: Press Release Society Royal Society, 1981. – P. 150. 6. Linnhoff B. Termodynamic Analysis in the Design of Process Networks, PhD Thesis. – N.Y.: University of Leeds, 1979. – P. 55.

*Надійшла до редколегії 25.03.11*

УДК 622.794.25

**Е.А. ШУЛЬГИНА**, студентка, НТУ «ХПІ»,  
**С.В. ЕРЕМЕНКО**, студент, НТУ «ХПІ»,  
**А.Г. ТРОШИН**, канд. техн. наук, НТУ «ХПІ»

## **МЕХАНО-РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСАДКОВ ШНЕКОВЫХ ЦЕНТРИФУГ**

У статті обґрунтовається вибір динамічної в'язкості у якості характеристики механо-реологічних властивостей осадів шнекових центрифуг

В статье обосновывается выбор динамической вязкости в качестве характеристики механо-реологических свойств осадков шнековых центрифуг

In the article the selection of dynamic viscosity is substantiated as the flow characteristic of scroll conveyor centrifuges precipitations

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь в важными научными или практическими заданиями.** Основной тенденцией совершенствования осадительных шнековых центрифуг является повышение фактора разделения и длины ротора, что позволяет разделять в них суспензии, содержащие высокодисперсную твердую фазу (размер частиц

10 мкм и менее). Опыт работы центрифуг показывает, что во многих случаях они дают намного худшую степень задержания твердой фазы в осадок, чем это следует из расчетов. При этом расчеты центрифуг обычно базируются на расчете процесса осаждения. В то же время при разделении суспензий с высокодисперсной твердой фазой решающее влияние на эффективность центрифуги оказывает возможность образования «структурированного» осадка и выгрузки его шнеком через коническую часть ротора, т.к. нарушение выгрузки осадка приводит к накоплению твердой фазы внутри ротора, повышению объемной доли твердой фазы в зоне осаждения центрифуги, загромождению шnekового канала осадком и, в конечном итоге, срыву процесса разделения в целом либо к существенному загрязнению фугата. Возможность выгрузки осадка из ротора центрифуги будет определяться прежде всего его механо-реологическими характеристиками, а также конструктивными параметрами ротора (угол подъема винтовой линии шнека, угол конусности ротора) и режимными параметрами (фактор разделения, частота вращения шнека).

Цель работы – выбор механо-реологической характеристики осадков, которая с достаточной точностью позволяла бы прогнозировать поведение осадка в конической части ротора. Задачи исследования:

- выбор механо-реологических характеристик на основании анализа литературных данных и теоретический анализа;
- создание лабораторной установки и разработка методики исследования механо-реологических характеристик;
- проведение лабораторных исследований;
- обобщение полученных данных и постановка задач на дальнейшее исследование.

**Изложение основного материала исследований.** В [1] приводятся данные о том, что при разделении суспензии красителей (образующих слабо структурированный осадок) в центрифуге Ноздровского при угле конусности ротора 8°, обычном, для осадительных шnekовых центрифуг, предназначенных для высокодисперсной твердой фазы, наблюдалось нарушение выгрузки осадка. И только уменьшение угла конусности до 4° позволило добиться устойчивой выгрузки осадка. В [2] сообщается, что при разделении высокодисперсных угольных шламов и отходов флота-

ции в осадительной шнековой центрифуге НОГШ-1320 образующийся осадок по своим свойствам похож на вязкую жидкость. При определенных условиях осадок течет в шнековом канале в конической части ротора в сторону большего диаметра. Данное обстоятельство делает невозможным разделение суспензий с высокодисперсной твердой фазой в центрифугах этого типа.

В нашей практике наиболее примечательным явились опыты полупромышленного масштаба, в которых производилось разделение суспензии гидроокиси титана на центрифуге ОГШ-460, имеющей угол конусности ротора  $8,5^{\circ}$  и шаг шнека 100 мм. Предварительными лабораторными исследованиями была установлена возможность достаточно быстрого разделения данной суспензии в поле центробежных сил (в стаканчиковой центрифуге), однако консистенция осадка была наподобие сметаны (слабые структурные свойства), и для окончательного решения о применимости промышленной центрифуги для разделения суспензии были проведены полупромышленные испытания. Оказалось, что даже при очень низкой производительности до  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$  по исходной суспензии, центрифуга не может разделить данную суспензию. Во время опытов происходило накопление «жидкообразного» осадка гидроокиси титана в роторе центрифуги, а когда ротор им полностью заполнялся, то осадок вместе с исходной суспензией выливался в окна выгрузки фугата. Этот опыт в чистом виде показывает, что даже при более чем достаточной разделительной способности зоны осаждения, разделение суспензии в целом может быть сорвано, если осадок не выгружается из ротора. Добавка в разделяемую суспензию определенного количества полимерного флокулянта, которая, как будет показано ниже, резко меняет механо-реологические свойства осадка, обеспечила устойчивую выгрузку осадка и ход процесса разделения в целом.

Известная нам практика работы центрифуг ОГШ-460 и других типов при разделении суспензий с высокодисперсной твердой фазой – буровых растворов, отходов горно-обогатительной отрасли, коммунальных сточных вод – содержит и другие подобные примеры. В качестве характеристик осадка, влияющих на возможность его выгрузки, при расчетах обычно используют коэффициент внутреннего трения и трения по поверхности материала шнека, а также угол естественного откоса в поле

сил тяжести и в поле центробежных сил. Данные характеристики, таким образом, характеризуют осадок с позиций механики сыпучего тела. Однако осадок с высокодисперсной твердой фазой в условиях действия поля центробежных сил может оказаться более похожим на жидкость, чем на сыпучее тело. Учитывая наблюдаемые свойства осадков, предлагается использовать показатель динамической вязкости для характеристики свойств осадков с высокодисперсной твердой фазой.

Теоретический анализ, проведенный нами на базе известных теоретических сведений о течении ньютоновских жидкостей в проточной части винтовых насосов, показал, что применительно к конической части ротора центрифуги ОГШ эффективная динамическая вязкость осадка должна быть порядка 10 Па·с, для обеспечения принципиальной возможности транспортировки осадка по конической части ротора шнеком.

**Описание экспериментальной установки.** Эффективную вязкость осадков было предложено измерять при помощи разработанного и изготовленного капиллярного вискозиметра, состоящего из двух функциональных узлов. Первый служит для поддержания определенного избыточного давления, второй представляет собой отсоединяемую емкость(5) для исследуемого вещества (6) совмещенную с капилляром (7). Избыточное давление создавалось при помощи сжатого воздуха, который, проходя через обратный клапан (2), поступает в коллектор сообщающийся с манометром (1), краном сброса давления (8) и ресиверной емкостью (3), снабженной краном (4).

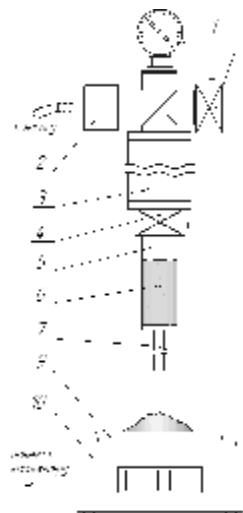


Рис.1 Схема экспериментальной установки

В результате действия избыточного давления, исследуемое вещество (осадок), проходя по капилляру (трубка ПВХ с внутренним диаметром 2,67 мм), попадает на чашу весов (9). В опытах использовались автоматические весы(10) RADWAG WPS 210S подключенные к компьютеру.

**Методика проведения экспериментов:** приготовление исследуемого осадка; измерение его плотности и влажности; загрузка осадка в емкость с капилляром; продавливание осадка через капилляр на чашу весов, значения передавались на компьютер с частотой 1 раз в секунду; по сохраненным на компьютере показаниям весов, определяем массовый расход вещества;

- математическая обработка данных:

- 1) получение динамического коэффициента вязкости (Па·с) в соответствии с уравнением Гагена-Пузейля:

$$m = \frac{\rho d^4 \Delta P r}{128 l G},$$

где  $d$  – диаметр капилляра, м;  $\Delta P$  – величина избыточного давления, Па;  $r$  – плотность осадка, кг/м<sup>3</sup>;  $l$  – длина капилляра, м;  $G$  – массовый расход осадка, кг/с;

- 2) определение среднего градиента сдвига, с<sup>-1</sup>:

$$D = \frac{4V}{\rho \left(\frac{d}{2}\right)^3},$$

где  $V$  – объемный расход осадка, м<sup>3</sup>/с.

Исследовались осадки гидроокиси титана и угольного шлама с размером частиц «-0,2 мм». Осадок гидроокиси титана был получен тремя способами (табл.):

- приготовление суспензии, обработка флокулянтом, разделение суспензии в промышленной центрифуге ОГШ-460, выгрузка осадка шнеком (гидроокись титана флок.);
- приготовление суспензии, отжим в стаканчиковой центрифуге при  $Fr = 1633$  (гидроокись титана отжим 1);
- приготовление суспензии, отжим в стаканчиковой центрифуге при  $Fr = 3333$  (гидроокись титана отжим 2).

Таблица

Результаты экспериментов получения осадков

Осадок	$\Delta P$ , кгс/см <sup>2</sup>	$G$ , г/сек	$r$ , кг/м <sup>3</sup>	$D$ , с <sup>-1</sup>	$m$ , Па·с	$W^*$ , %	$Fr^*$	$T^*$ , с
Гидроокись титана (флок.)	0,2	0,0376	1349	14,9	10,2	63,2	569	
	0,4	0,0783	1349	30,9	9,8	63,2	569	
	0,6	0,122	1349	48,2	9,4	63,2	569	
Гидроокись титана отжим 1	0,2	0,1409	1166	64,4	2,3	73,0	1633	300
	0,4	0,3784	1166	173,0	1,7	73,0	1633	300
	0,6	0,5759	1166	263,3	1,7	73,0	1633	300
Гидроокись титана отжим 2	0,6	0,0128	1206	5,7	80,2	72,1	3333	600
	0,8	0,0168	1206	7,4	81,4	72,1	3333	600
Шлам угольный (флок.)	1	0,251	1440	92,9	8,1	38,8	1633	60
	0,8	0,114	1440	42,2	14,3	38,8	1633	60
	0,6	0,034	1440	12,6	36,0	38,8	1633	60
Шлам угольный отжим 1	0,3	5,63	1395	2151,1	0,1	43,3	1633	60
Шлам угольный отжим 2	0,4	0,529	1468	192,1	1,6	36,1	2700	60
Шлам угольный отжим 3	0,4	0,248	1500	88,1	3,4	33,2	3333	90

Примечание: W – влажность осадка; Fr – фактор разделения; T – время отжима

Угольный шлам получен при пропускании через сито с размером ячейки 0,2 мм отходов углеобогащения УПП «Моспинское» и последующего отжима в стаканчиковой центрифуге с флокулянтной обработкой или без (см. таблицу). Фугат из стаканчика удалялся вместе с верхней гелеобразной частью осадка при содержании твердого вещества в фугате 54–95 г/л.

**Обсуждение результатов экспериментальных исследований.** Все исследуемые осадки ведут себя как неильтоновские жидкости – коэффициент эффективной динамической вязкости изменяется в зависимости от средней скорости сдвига и перепада давлений на капилляре (рис. 2 и табл.). В отсутствие надежных теоретических расчетов мерой возможности транспортировки осадка в конической части ротора центрифуги ОГШ-460 при данных конструктивных параметрах, являются свойства осадка гидроокиси титана, так как имеются достоверные экспериментальные данные (флокулированный осадок выгружается, а не обработанный флокулянтом – нет). Таким образом, выгружаемыми являются осадки, имеющие эффективную вязкость более 10 Па·с. К таким осадкам относятся обработанный флокулянтом угольный шлам, а также отжатая

при факторе разделения 3333 в течение 10 минут гидроокись титана (вязкость последней на графике не показана).

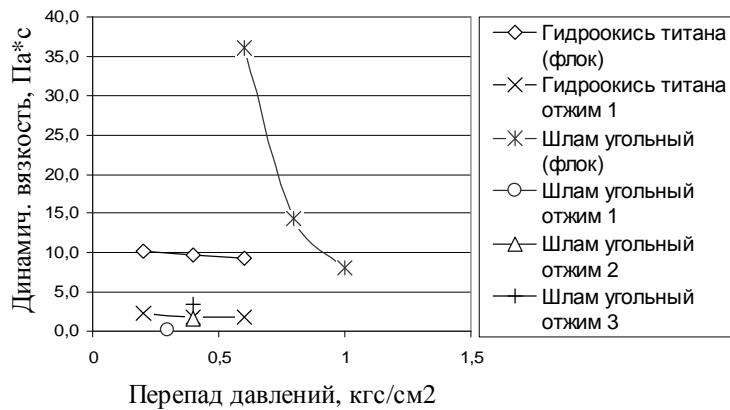


Рис. 2. Динамическая вязкость осадков при различных условиях истечения

«Не выгружаемыми» являются осадки с эффективной вязкостью менее 2,5 Па·с. Таковыми являются осадки угольного шлама влажностью 43-36%. Осадок влажностью 33,2% имеет вязкость порядка 3,5 Па·с, скорее всего он будет также не выгружаемым в реальных условиях.

**Выводы.** Проведенные экспериментальные исследования позволяют предложить показатель эффективной динамической вязкости для характеристики механо-реологических свойств осадков с высокодисперсной твердой фазой, которая определяет возможность выгрузки осадка из ротора осадительных шнековых центрифуг. Дальнейшие исследования должны быть проведены в следующих направлениях: 1) усовершенствования оборудования для определения эффективной динамической вязкости; 2) создание базы данных по механо-реологическим свойствам различных осадков (осадки буровых растворов, коммунальных сточных вод, отходов горно-обогатительной отрасли, гидроокисей и др.); 3) теоретический анализ течения жидкости в открытом шнековом канале, который позволит выбирать конструктивные параметры ротора центрифуги, в зависимости от механо-реологических свойств осадка.

**Список литературы:** 1. Соколов В.И. Центрифugирование. М.: Химия –1976, 407с. 2. Бочков Ю .Н. Определение производительности по осадку и работоспособности шнековых осадительных центрифуг в зависимости от физических свойств угольной мелочи./ Бочков Ю .Н. // Сб. тр. ВНИИУглеобогащения. – №.30.– М.: Госгортехиздат.–1963. – С. 58–64.

Поступила в редакцию 09.04.11

УДК 66.045.7

**С.И. БУХКАЛО**, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,  
**Н.Н. ЗИПУННИКОВ**, канд. техн. наук, ст. преп., НТУ «ХПИ»,  
**О. А. БЫНДЫЧ**, студентка, НТУ «ХПИ»

## ВОЗМОЖНОСТИ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ИННОВАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В работе проведен анализ приоритетов водородной энергетики и рассмотрена возможность управления и регулирования процессом получения водорода из воды с использованием сплавов ФСА. Проведена статистическая обработка экспериментальных данных кинетических исследований получения водорода в реакторе и получено уравнение регрессии адекватно описывающее процесс

У роботі проведено аналіз пріоритетів водневої енергетики та розглянута можливість управління й регулювання процесом виробництва водню з води з використанням сплавів ФСА. Проведена статистична обробка експериментальних даних кінетичних досліджень виробництва водню у реакторі та отримано рівняння регресії, яке адекватно описує процес

The analyses of energy of hydrogen and hydrogen receiving control were carried out dealing with hydrogen production from water by special alloys use. The appropriate statistical treatment of experimental data was carried out too. The regression equation with adequate process interpretation is pres

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь в важными научными и практическими заданиями.** Одной из основных задач мирового сообщества начиная со старта энергетического кризиса (семидесятые годы прошлого столетия) по настоящее время, является поиск путей повышения эффективности использования энергии, являющейся важной частью всех экономических систем.

Особое беспокойство вызывает сочетание двух тенденций: резкого повышения цен на традиционные энергоносители и рост выбросов двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ), которые за последние 20 лет увеличились в мире более чем на 20 %, в основном, за счет роста потребления энергии. Преодолеть обе тенденции возможно с помощью новой энергетической и климатической политики, внедрения новых эффективных технологий и более рационального использования уже имеющегося запаса топлива.

**Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор.** Представленные Международным энергетическим агентством (МЭА) альтернативные сценарии развития мировой энергетики на период до 2050 года

можно разделить на три основные группы [1, 2]: 1. Развитие будет продолжаться в соответствии с существующими тенденциями и при сохранении нынешних темпов повышения энергоэффективности и технического прогресса – увеличению потребления энергии и выбросов CO<sub>2</sub> к 2050 году более чем в два раза. 2. Сценарии ускоренного развития технологий (спрос на энергию не ограничивается, и ископаемое топливо будет обеспечивать до 70 % мировых потребностей в энергоресурсах в 2050 году) дадут эффекты внедрения и массового использования четырех видов энергетических и климатических технологий: энергосбережение; использование возобновляемых источников энергии; развитие атомной энергетики; улавливание и захоронение CO<sub>2</sub>. 3. Сценарий «Технологии плюс», где заложены наиболее оптимистические инновационные варианты из сценариев ускоренного развития технологий.

Общий эффект по снижению выбросов CO<sub>2</sub> от применения энергосберегающих технологий составит по данным МЭА 45 % при условии воплощения наиболее оптимистичного сценария ускоренного развития технологий – при одновременном внедрении повышения энергоэффективности в сфере конечного потребления энергии, использования возобновляемых источников энергии, развития атомной энергетики и улавливания и захоронения CO<sub>2</sub> (рис. 1).

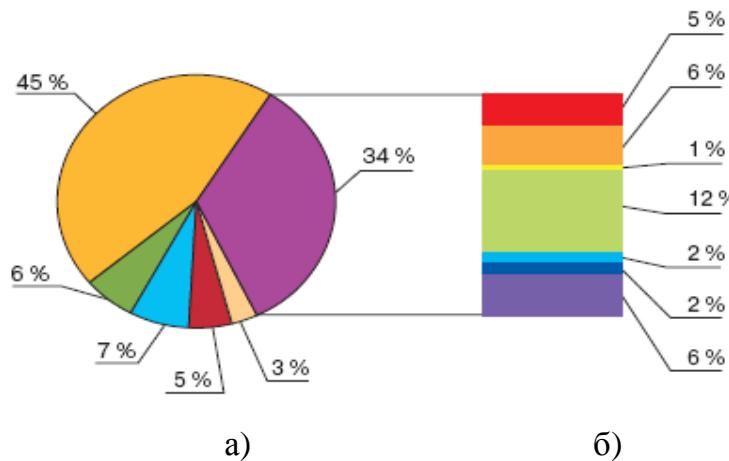


Рис. 1. Роль различных технологий снижения выбросов CO<sub>2</sub>:

а – энергосбережение (45 %); выработка электроэнергии и тепла (34 %); переход на другое топливо в промышленности, энерго- и теплоснабжении зданий (7 %); биотопливо на транспорте (6 %); улавливание и хранение CO<sub>2</sub> в промышленности (5 %); улавливание и хранение CO<sub>2</sub> в процессе переработки топлива (3 %); б – выработка электроэнергии и тепла: улавливание и хранение CO<sub>2</sub> (12 %); атомная энергия и возобновляемые источники энергии (6 и 6 %); переход с угля на газ (5 %); гидроэнергия и биомасса (2 и 2 %)

Сопоставление данных, представленных на рисунке, показывает, что на первое место по решению вопросов снижения выбросов CO<sub>2</sub> выходят энергоэффективность и энергосбережение, использование биомассы и других видов биотоплива. При любом сценарии развития энергосбережение – повышение эффективности потребления энергии – является приоритетным направлением, наиболее быстро выполнимым и позволяющим получить максимальный эффект в решении проблемы изменения климата. Согласно всем сценариям ускоренного развития, необходимо радикально обновить технологическую базу глобальной экономики. Рассмотрим возможности других технологий при условии их одновременного внедрения. Избежать роста выбросов от транспортного сектора, по признанию специалистов, можно только благодаря коммерциализации биотоплива и водородного топлива [1].

Распределение произведенной энергии в развитых странах можно приблизительно поделить по основным потребителям следующим образом: обеспечение бытового сектора энергией – 40 %, из которых 85 % идет на отопление и 15 % составляет электроэнергия, транспорт<sup>4</sup> и промышленность потребляют примерно поровну энергии – по 30 % [2, 3].

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья.** К решению вышеизложенных проблем можно отнести и создание комплексных безотходных предприятий вырабатывающих различные виды топлива из отходов, разрабатывающих оборудование и технологии по использованию альтернативных источников энергии и водородной энергетики. Широкое использование водорода в качестве универсального экологически чистого энергоносителя позволяет успешно решать многие важные энергетические и экологические проблемы. В последнее время разработана технология изготовления более дешевых ЭАВ-сплавов, на основе кремния, алюминия и железа, которые получают из неорганической части низкокалорийных углей. При гидрогенизации угля и нефти бедные водородом низкосортные виды топлива превращаются в высококачественные.

Главное свое применение водород находит в химической промышленности при производстве аммиака, идущего в свою очередь на производство азотной кислоты и азотных удобрений, получение метилового

спирта, синтетических топлив, при глубокой переработке нефти, газификации угля, производстве высокооктанового моторного топлива, гидрогенизации жиров и получении различных химических соединений. Другой областью применения водорода в машиностроении является очистка нагара с деталей двигателя при их ремонте. Водород также может быть основным сырьем в производстве белка – одна тонна водорода дает 1,4 т питательного белка. В рассмотренных ранее методиках водород получали в режимах соответствующих работающим реакторам при атмосферном давлении (рис. 2).

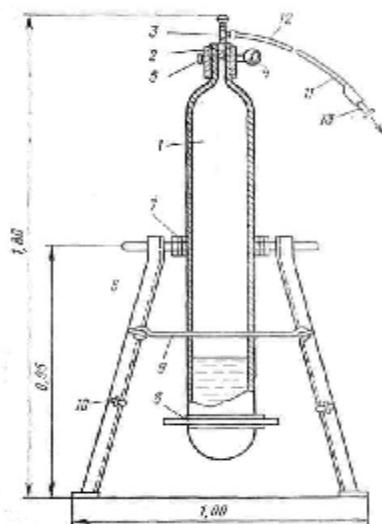


Рис. 2. Баллонный газогенератор АВГ-45: 1 – реактор, 2 – головка, 3 – вентиль, 4 – манометр, 5 – клапан предохранительный, 6 – штатив, 7 – обойма верхняя с полуосьми, 8 – обойма нижняя с рукоятками, 9 – крюк сборочный большой, 10 – крюк сборочный малый, 11 – шланг дюритовый, 12 – наконечник шланга с накидной гайкой, 13 – патрубок шланга

**Изложение основного материала исследований с полным обоснованием полученных научных результатов.** В настоящее время сырьем для получения водорода служат углеводороды. В связи с повышением их стоимости, а также с учетом экологических преимуществ для производства водорода целесообразно использовать воду. Перед проведением опытов порошок сплава и гранулированную щелочь засыпают вручную, затем заливают требуемое количество воды. Отдельными опытами установлено, что растворение 0,8 кг гранулированного едкого натра повышает температуру 6 л воды с 10 °С до 40 °С. Подъем температуры примерно до 70 °С происходит за счет добавления незначительного количества порошка алюминия. Затем начинается основная реакция взаимодействия

вия кремния со щелочью. Основные кинетические исследования выполнены в реакторе, обеспечивающем изохорное ведение процесса (рис. 3). В начале опыта необходимое количество водного раствора едкого натра заливают в реактор 1. Порошок исследуемого сплава засыпают в кассету 3. Кассету подвешивают в горловине 2 на металлической нити 4, соединенной через контакт 8, пусковую кнопку 9 и выпрямитель 10 с электросетью. После герметизации и разогрева реактора нажимают кнопку 9 и одновременно фиксируют время начала реакции. Поступающий из электросети импульс тока расплавляет нить 4, кассета падает, и порошок высыпается в раствор щелочи. Производят автоматическую запись изменения давления и температуры, для чего к реактору подсоединенны манометр 7 и термопара 17 с соответствующими вторичными приборами 6 и 18.

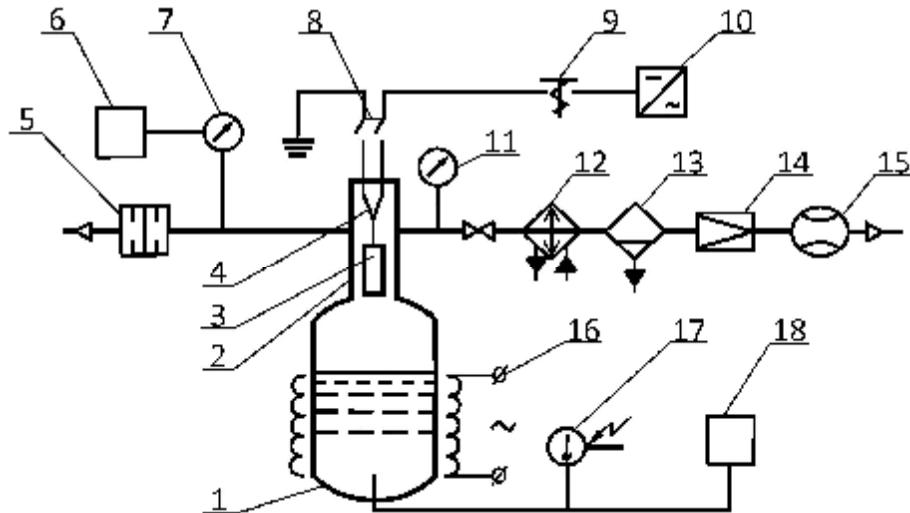


Рис. 3. Схема экспериментальной установки для исследования изохорного процесса: 1 – реактор, 2 – горловина, 3 – кассета, 4 – металлическая нить, 5 – предохранительная мембрана, 6 – записывающее устройство, 7 – манометр, 8 – контакт, 9 – пусковая кнопка, 10 – выпрямитель, 11 – контрольный манометр, 12 – конденсатор, 13 – сепаратор, 14 – редуктор, 15 – расходомер, 16 – электрообмотка, 17 – термопара, 18 – вторичный прибор

Опыт считается законченным при прекращении заметного роста давления и снижения температуры среды в реакторе на 3 – 5 °С. По окончании эксперимента реактор охлаждают, газ пропускают через конденсатор 12 и, после отделения капель воды в сепараторе 13 через редуктор 14 и расходомер 15, сбрасывают в атмосферу. Продукты реакции сливают, реактор тщательно промывают. Реактор 1 снабжен контрольным манометром 11 и предохранительной мемброй 5. Температуру

среды в реакторе поддерживают постоянной за счет значительного избытка раствора щелочи. При этом исключается влияние изменения концентрации щелочи в ходе реакции. Температуру измеряют термопарой типа XK (диаметр спая 1 мм, толщина проводов 0,4 мм) и вторичным прибором КСП-4. При решении ряда задач усложненных процессов прибегают к экспериментально-статистическим методам. Используя при обработке опытных данных принципы регрессионного и корреляционного анализа, удается найти зависимость между переменными и условиями оптимума. Целью исследований является получение математического описания, с помощью которого можно было бы установить основные параметры, которые влияют на полноту реакции выделения водорода. Основными параметрами, влияющими на полноту реакции ( $X_5$ ), являются:  $X_1$  – температура,  $X_2$  – концентрация щелочи,  $X_3$  – процентное содержание алюминия в сплаве,  $X_4$  – давление в реакторе (табл.1).

Таблица 1

Зависимость полноты реакции от температуры, давления, концентрации щелочи и содержания алюминия в сплавах ФСА 25, ФСА 30

№ опыта	Температура реакции, $X_1$ , °C	Концентрация щелочи, $X_2$ , %	Содержание алюминия, $X_3$ , %	Давление в реакторе, $X_4$ , атм	Полнота реакции, $X_5$ , %
1	120	13,3	25	10,6	59
2	121	13,3	25	10,7	60
3	123	13,3	25	10,7	61
4	122	13,3	25	10,7	61,5
5	124	13,3	25	10,7	63
6	125	13,3	25	10,7	64
7	126	13,3	25	10,75	64,5
8	133	10	25	11	67
9	130	13,3	25	11	65
10	135	13,3	29,8	9,6	65
11	133	13,3	29,8	9,4	61
12	134	10	29,8	9,2	61
13	92	13,3	29,8	4,4	29
14	90	10	29,8	0,6	27

В данной работе рассмотрены сплавы ферросиликоалюминия (ФСА) следующего химического состава (масс. %): ФСА 25 (Fe - 10, Si - 65, Al - 25); ФСА 30 (Fe - 10.3, Si - 59.9, Al - 29.8). Опыты проведены в кинетическом реакторе ( $V_p = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ ) при взаимодействии сплавов с водным раствором NaOH от 10 до 13,3 % и температуре реакции от 90 до 137 °C. Давление в реакторе находилось в пределах 0,6 – 11 атм. Полнота реакции оценивалась за время полного периода процесса. Общее число опытов  $N = 14$ . В кинетических опытных данных наиболее активным из сплавов ферросиликоалюминия является ФСА 25. На рисунке 4 представлен график изменения давления от числа опытов, проведенные в одинаковых условиях.

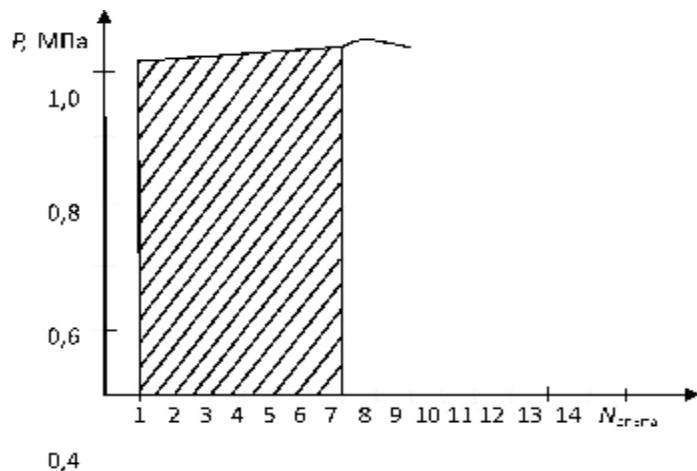


Рис.4. Зависимость изменения давления от количества опытов для сплава ФСА 25 в кинетическом реакторе ( $V_p = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ )

Изменение давления в зависимости от  $N$  – испытаний подчиняются закону равномерного распределения вероятностей на участке  $N$  (1 – 7). Плотность распределения  $f(x)$  и функция распределения  $F(x)$  связаны соотношением:

$$F'(x) = f(x), \quad (1) \quad f(x) = c, \text{ при } a < x < b,$$

следовательно,  $c = \frac{1}{b-a}$ ;  $b-a = \frac{1}{c}$ ; где  $c = 0,076$ ;  $b-a = 13$ .

Характер роста давления в кинетическом реакторе имеет вид (рис. 5).

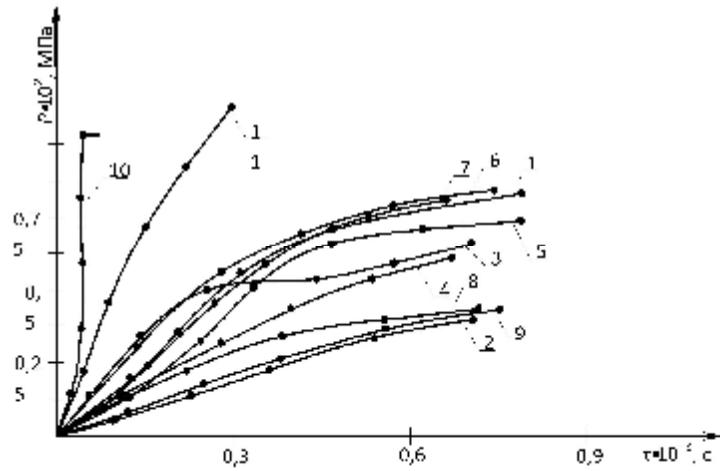


Рис. 5. Характер изменения давления в реакторе ( $V = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ ) при сплавів із NaOH 13,3%,  $m = 1 \cdot 10^{-3}$  кг: 1 – ФС 90; 2 – ФС 90 Ba4; 3 – ФС 75 Ba1; 4 – ФС75 Ba4; 5 – ФСА 4; 6 – ФСА 15; 7 – ФСА 30; 8 – ФСА 30 Mn1; 9 – ФСА 32; 10 – А-98КаМг; 11 – АВ 86

Из последнего равенства следует, что интервал  $(\alpha, \beta)$ , на котором имеет место равномерное распределение, обязательно конечен. Вероятность того, что случайная величина  $x$  примет значение, заключенное в интервале  $N(1 - 7)$ , составляет

$$P(\alpha < x < \beta) = (\beta - \alpha)/(b - a), \quad (2)$$

$$P(\alpha < x < \beta) = 0,46.$$

Математическое ожидание дискретной случайной величины для независимых факторов носит случайный характер. Далее было рассчитано: математическое ожидание квадрата случайной величины; дисперсия и сумма дисперсий. Проверка однородности дисперсий производится по критерию Кохрена, для дисперсии воспроизводимости рассчитывалось значение числа степеней свободы определяется и среднее квадратичное отклонение  $j$ -го коэффициента, коэффициенты регрессии и свободные член уравнения регрессии.

Оценка значимости коэффициентов регрессии производится по критерию Стьюдента. После отсева незначимых коэффициентов, для которых  $t$ -отношение меньше табулированного, получаем уравнение регрессии в безразмерном виде:

$$X_5 = 5,27 + 0,89X_1 - 0,3X_3. \quad (13)$$

Для проверки адекватности полученного уравнения, определяли остаточную дисперсию и критерий Фишера.

**Выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления.** В работе проведен анализ приоритетов водородной энергетики и рассмотрена возможность управления и регулирования процессом получения водорода из воды с использованием сплавов ФСА. В результате статистической обработки получено уравнение регрессии, которое адекватно описывает экспериментальные данные и может служить для управления и регулирования процессом получения водорода из воды с использованием сплавов ФСА. Установлено, что влияние изменения концентрации щелочи до 13,3 % и давления на процесс выделения водорода незначительно.

**Список литературы:** 1. Грицевич И.Г., Кокорин А.О., Луговой О.В., Сафонов Г.В. Развитие энергетики и снижение выбросов парниковых газов // WWF России. 2006. 2. Андреас Люке. Европейский рынок отопительного оборудования – ориентация на высокоэффективные технологии и возобновляемые источники энергии // Энергосбережение. 2007. № 4. С. 57–59. 3. Комолова М.Н. Энергосбережение – решение проблемы изменения климата // Энергосбережение. 2007. № 5. С. 33–39.

Поступила в редакцию 05.02.11

УДК 621:664(076)

**Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ**, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»,  
**Л.М. УЛЬЄВ**, докт. техн.. наук, проф., НТУ «ХПІ»,  
**Д.Д. НЕЧИПОРЕНКО**, викл.-стажор, НТУ «ХПІ»

## МІНІМІЗАЦІЯ ПОВЕРХНІ ТЕПЛООБМІНУ У ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА ГІПОФОСФІТУ НАТРИЮ

У статті за допомогою апарату складових кривих аналізується процес виробництва гіпофосфіту натрію. Показано, що інтеграція процесу за допомогою методу мінімізації площині поверхні теплообміну дозволяє отримати систему теплообміну з площею поверхні на 5,5 % менше, ніж при інтеграції за допомогою методу максимізації потужності рекуперації теплової енергії

В данной работе с помощью аппарата составных кривых анализируется процесс производства гипофосфита натрия. Показано, что интеграция процесса с помощью метода минимизации площади поверхности теплообмена позволяет получить систему теплообмена с площадью поверхности на 5,5 % меньше, чем при интеграции с помощью метода максимизации мощности рекуперации тепловой энергии

It is shown in the paper that process integration with the help of method area surface heat transfer minimizing we can receive the heat exchange network on 5,5 % less, then with the help of energy recuperation method

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науково-практичними завданнями.** У зв'язку з постійним подорожчанням енергоносіїв, зв'язаному з майбутнім повним їх вичерпанням, не викликає сумнівів необхідність раціонального використання енергоресурсів, особливо в такій енергоємній галузі, як хімічна промисловість. Зниження споживання енергії на одиницю продукції, яку виробляють, при інших рівних умовах позитивно впливає на оточуючу середу і здоров'я людини за рахунок зниження викидання шкідливих газів, які утворюються при спалюванні енергоносіїв.

На початок 20 сторіччя екстенсивне використання сільськогосподарських земель дозволяло забезпечувати продуктами харчування приблизно 1 мільярд. жителів планети. Сьогодні чисельність населення Землі зросла більш, ніж у 6 разів, і забезпечення людей харчуванням зараз і в майбутньому неможливе без інтенсивної обробки сільськогосподарських земель. Це потребує використання мінеральних добрив, що забезпечують високі та стійкі врожаї. До основних елементів, які необхідні для забезпечення життєдіяльності рослин, відносять фосфор [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор.** Одним з основних відходів від виробництва фосфорної кислоти є фосфорний шлам. Утилізація фосфорного шламу являється ядром екологічної проблеми на території Росії, України і Казахстану, тому що фосфорний шлам найбільш агресивний вид відходів фосфорної промисловості.

Для утилізації фосфорного шламу розроблена гнучка технологія отримання фосфіту і гіпофосфіту натрію. Ці продукти користуються великим запитом. Гіофосфіт натрію використовується у якості відновника при нанесенні покриття з нікелю, кобальту та олова на метали та пластмаси, а також в якості антиоксиданту, для запобігання знебарвлення алкідних смол при їх отриманні, та ін. [3].

Найбільш ефективними методами енергозбереження у процесах, що використовують хіміко-технологічні методи переробки та виробництва продуктів, є методи інтеграції процесів, а насамперед – метод пінч-аналізу. Зменшення питомих енерговитрат при виробництві гіофосфіту натрію позитивно діє не тільки на конкурентоспроможність виробника, але й на зовнішнє середовище внаслідок зменшення викидів шкідливих

речовин та емісії парникових газів. Тому проведення пінч аналізу на підприємствах такого профілю є актуальною темою на даний момент [2].

Автори в роботі [4] виконали пінч-систему процесу виробництва гіофосфіту натрію. При інтеграції використовувався метод з максимальною рекуперацією енергії. У даній роботі розглядається можливість інтеграції з мінімізацією площин теплообміну.

**Опис технологічного процесу.** Фосфорний шлам (зміст основної речовини 30÷50 %), дивись рис. 1, подається в реактор підготовки  $R-2$ , де нагрівається парою при перемішуванні.

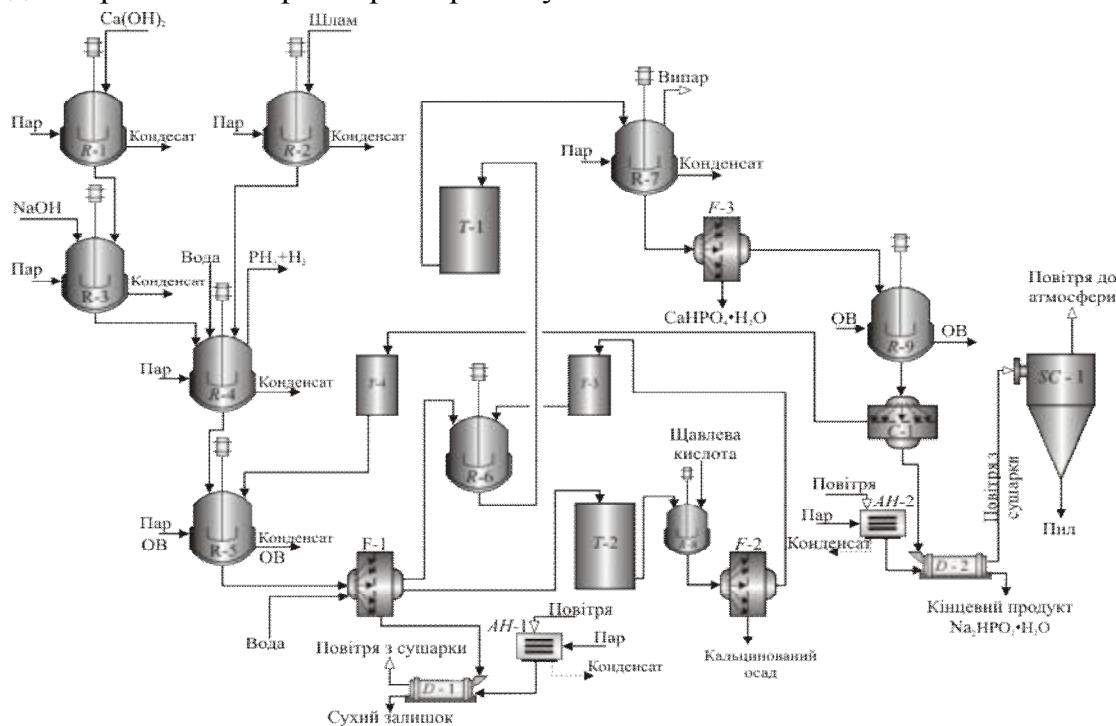


Рис. 1. Принципова технологічна схема виробництва гіофосфіту натрію:  
 $R1$  – реактор підготовки  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;  $R2$  – реактор підготовки шламу, який містить фосфор;  $R3$  – підготовка  $\text{NaOH}-\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;  $R4$  – основний реактор;  $R5$  – наступний реактор;  $R6$  – нейтралізатор;  $R7$  – випарювання;  $R8$  – осадження щавлевою кислотою;  $R9$  – кристалізатор;  $F 1-3$  – фільтр;  $T 1-4$  – ємність;  $C1$  – центрифуга;  $SC1$  – циклон;  $D 1,2$  – сушарка;  $AH 1,2$  – підігрівач повітря

Паралельно цьому відбувається процес приготування гідроокису кальцію  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  шляхом розчинення  $\text{CaO}$  у воді до концентрації 65 %, який далі подається в реактор підготовки  $R-1$ , де нагрівається парою при перемішуванні. Також готовиться натрієвий луг  $\text{NaOH}$ , яка розбавляється водою до концентрації 45 % і потім змішується з гідроокисом кальцію в реакторі підготовки  $R-3$ . Отримана суміш поступає до основного реакто-

ру *R*-4 разом із фосфорним шламом з реактору підготовки *R*-2. через деякий час в реактор *R*-4 заливають розчин ізопропілового спирту, необхідного для більш повного витягання фосфору з фосфорного шламу. При цьому з реактору видаляється фосфін-воднева суміш. Потім з основного реактору *R*-4 суміш направляють на додаткове розкладання до наступного реактору *R*-5, при цьому суміш змішується з маточним розчином після центрифугування гіпофосфіту натрію. Після завершення реакції розчин з реактору *R*-5 поступає на вакуум-фільтри *F*-1, де фільтрується. Осад, який утворився при фільтрації, видаляють, висушують на сушарці *D*-1 і використовують в якості добрив у аграрній промисловості. Розчин ( $\text{NaH}_2\text{PO}_2$  (8 %),  $\text{Na}_2\text{HPO}_3$  (9 %),  $\text{CaHPO}_3$  (25 %)), який пропустили через вакуум фільтри *F*-1, поступає до нейтралізатору *R*-6, де здійснюється нейтралізація надлишку натрієвого лугу, розчиненої фосфорноватістою кислотою  $\text{H}_3\text{PO}_2$ , яка знаходиться у ємності *T*-3.

Приготування фосфорноватістої кислоти  $\text{H}_3\text{PO}_2$  здійснюється наступним чином: готовий продукт з концентрацією 12 % змішують з щавлевою кислотою в реакторі осадження *R*-8. Отриманий розчин фільтрують на фільтрах *F*-2 і фосфорноватісту кислоту, що утворилася, зберігають у ємності *T*-3 за необхідністю використовуючи у стадії нейтралізації. Розчин після нейтралізації надходить до реактору випарювання *R*-7, де шляхом випарювання гіпофосфіт натрію концентрують для подальшої тонкої фільтрації на фільтрах *F*-3. Після проходження стадії кристалізації у кристалізаторі *R*-9 суспензія направляється на фільтрацію у центрифугу *C*-1. Маточний розчин, що утворився, йде у рецикл через наступний реактор *R*-5. Після стадії центрифугування гіпофосфіт натрію направляється на сушку *D*-2 для видалення з готового продукту зайвої вологи. Повітря з сушарки *D*-2 надходить у циклон, де здійснюється його очищення, та викидається у атмосферу. Після здійснення основного технологічного циклу виробництва готовий продукт  $\text{Na}_2\text{HPO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  надходить на упаковку. За допомогою вивчення технологічного регламенту процесу виробництва гіпофосфіту натрію та технологічних схем, що додаються до регламенту, визначені основні технологічні потоки даного процесу та їх характеристики. Для даного процесу був проведений пінч-аналіз, збудовані гаряча і холодна складові криві, що показані на рисунку 2, також

був розроблений проект реконструкції установки виробництва гіофосфіту натрію, згідно отриманим даним.

Таблиця 1.  
Характеристики технологічних потоків процесу виробництва гіофосфіту натрію

№	Потік	Тип	$T_S$ , °C	$T_T$ , °C	$G$ , т/год	$C$ , кДж/(кг·К)	$\alpha$ , Вт/м <sup>2</sup> ·К	$r$ , кДж / кг	$CP$ , кВт/К	$\Delta H$ , кВт
1	Охолодження після R5	гар	90	25	22,08	3,56	100		21,84	1420
2	Охолодження після випарювання	гар	90	40	5,63	2,96	100		4,63	231,3
3	Конденсація пари	гар	108	108	6,89		1000	2230		4266,0
4	Охолодження конденсату	гар	108	25	6,89	4,19	100		8,02	681,3
5	Відпрацьований газ 1	гар	60	25	77,14	1,02	50		21,86	764,9
6	Відпрацьований газ 2	гар	60	25	25,95	1,02	50		7,35	257,3
7	Нагрівання розчину Ca(OH) <sub>2</sub>	хол	20	50	9,76	3,35	100		9,09	272,8
8	Нагрівання суспензії NaOH - Ca(OH) <sub>2</sub>	хол	20	50	14,34	3,35	100		13,36	400,7
9	Приготування фосфорного шламу	хол	20	75	4,13	0,80	100		0,91	50,2
10	Розкладання фосфорного шламу	хол	50	95	25,30	3,35	100		23,55	1059,9
11	Підігрів реактору R5	хол	35	90	22,08	2,93	100		17,99	989,3
12	Повітря на сушку 1	хол	20	80	77,14	1,02	50		21,86	1311,3
13	Підігрів перед випарюванням	хол	30	110	12,51	3,56	100		12,38	990,3
14	Випаровування	хол	110	110	6,89		1000	2230		4266,0
15	Повітря на сушку 2	хол	20	80	25,95	1,02	50		7,35	441,2

Для того, щоб вичислити цільові значення поверхні теплообміну за допомогою складових кривих, утилітні потоки повинні бути включені до технологічних потоків XTC, що містяться у складових кривих для формування балансних складових кривих [5]. Для того, щоб їх збудувати, використовуються ті ж самі процедури, що й для складових кривих, що були розглянуті раніше, але з додаванням утилітних потоків.

Балансні складові криві не мають вимог до зовнішніх додаткових енергоджерел, тому що всі потоки знаходяться у повному ентальпійному балансі один з одним. Далі балансні складові криві поділяються на ентальпійні інтервали таким чином, щоб межами ентальпійних інтервалів були точки на ентальпійній вісі, де складові криві змінюють свій нахил. Маються на увазі всі точки зміни нахилу або розриву, як на гарячій балансній складовій кривій, так і на холодній.

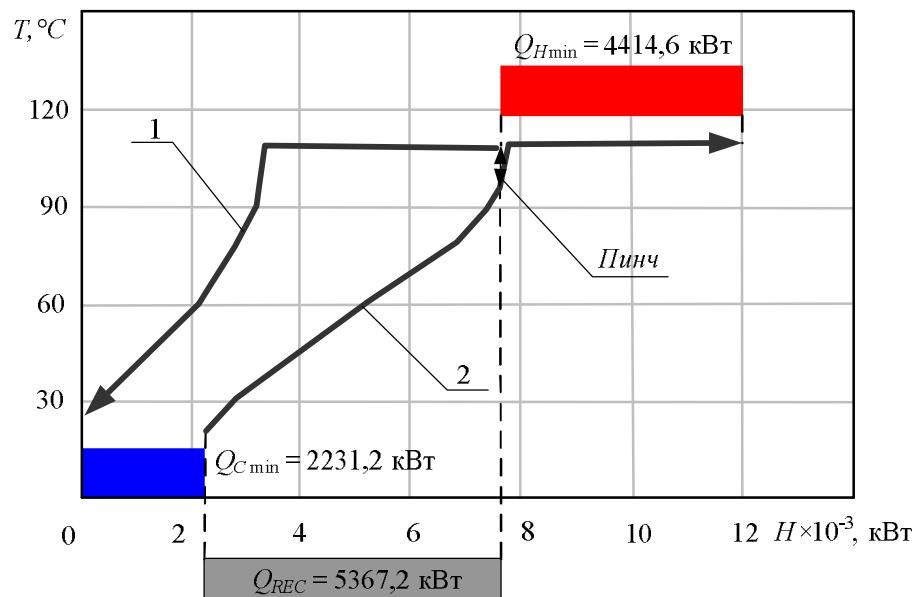


Рис. 2. Складові криві для інтегрованого процесу виробництва гіпофосфіту натрію

Для визначення цільової площині мережевої теплообмінної поверхні спочатку припустимо, що коефіцієнт теплопередачі між теплоносіями є постійною величиною і є однаковим для всіх теплообмінних апаратів, що знаходяться у теплообмінній мережі. Припустимо, що в усіх ентальпійних інтервалах відбувається противоточний теплообмін між теплоносіями, який у разі складових кривих називається вертикальним. Площа поверхні теплообміну для такого теплообмінника визначається формулою:

$$A = \frac{Q}{K \Delta T_{ln}},$$

де  $A$  – площа поверхні теплообміну противоточного теплообмінного апарату;  $Q$  – теплове навантаження теплообмінника;  $K$  – коефіцієнт теплопередачі;  $\Delta T_{ln}$  – середньологарифмічна різниця температур або середньо-

логарифмічний температурний натиск, який для противоточного теплообмінника визначається як :

$$\Delta T_{\ln} = \frac{(T_{H_2} - T_{C_1}) - (T_{H_1} - T_{C_2})}{\ln \frac{T_{H_2} - T_{C_2}}{T_{H_1} - T_{C_1}}}.$$

Загальну цільову площину поверхні теплообміну для усієї теплообмінної системи отримуємо підсумовуючи площи поверхонь теплообміну в усіх інтервалах розбиття складових кривих:

$$A_{\text{заг}} = \sum_{k=1}^M \frac{1}{\Delta T_{\ln k}} \sum_{i=1}^{I_k} \sum_{j=1}^{J_k} \frac{Q_{ij}^k}{K_{ij}},$$

де  $Q$  – тепловий натиск між  $i$ -м гарячим і  $j$ -м холодним потоками;  $K_{ij}$  – коефіцієнт теплопередачі між ними;  $I$  – кількість гарячих потоків в  $k$ -му інтервалі;  $J$  – кількість холодних потоків в  $k$ -му інтервалі,  $M$  – число всіх інтервалів. Введемо індивідуальні коефіцієнти тепловіддачі для кожного потоку  $h$ , тоді коефіцієнти теплопередачі визначаються як:

$$\frac{1}{K_{ij}} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_j},$$

де  $i = 1, 2, \dots, I$ ;  $j = 1, 2, \dots, J$ .

Тоді значення площи поверхні теплообміну в кожному енталпійному інтервалі:

$$A_k = \frac{1}{\Delta T_{\ln k}} \left[ \sum_{i=1}^{I_k} \left( \frac{1}{h_i} \sum_{j=1}^{J_k} Q_{ij}^k \right) + \sum_{j=1}^{J_k} \left( \frac{1}{h_j} \sum_{i=1}^{I_k} Q_{ij}^k \right) \right].$$

При визначенні цільового значення площи загальної поверхні теплообміну в мережі ми будемо припускати, що в енталпійних інтервалах здійснюється вертикальний теплообмін між гарячими потоками, що містяться у гарячій балансній складовій кривій, і холодними потоками з холодної балансної складової кривої. Спочатку збудуємо балансні складові криві, як показано на рис. 3, використовуючи повний набір даних з потокової таблиці. Підкреслимо, що пар, при збудуванні гарячої балансної кривої, розглядався як гарячий потік спільно з технологічними потоками, тому гаряча балансна складова крива зображує безперервну, монотонну функцію від енталпії. Це також справедливо і для потоку охолоджуючої води у балансній складовій кривій.

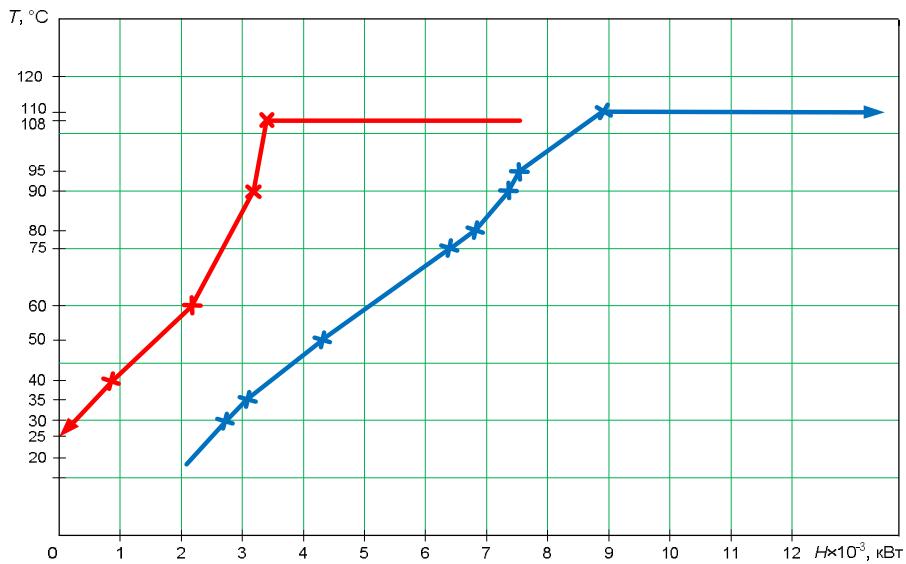


Рис. 3. Балансні складові криві для процесу виробництва гіпофосфіту натрію

На рисунку також показані ентальпійні інтервали, на які поділяються балансні складові криві. Межі ентальпійних інтервалів є координатами точок, у яких будь-яка з балансних складових кривих змінює свій нахил [6].

Таблиця 2  
Значення площин поверхні для кожного ентальпійного інтервалу

№ ентальпійного інтервалу	$\Delta T_{ln k}$	Гарячі потоки $\sum \left( \frac{Q_i}{h_{i-k}} \right)$	Холодні потоки $\sum \left( \frac{Q_i}{h_{i-k}} \right)$	$A_k, m^2$
1	9	4266	4266	948
2	10,5	149	1486	172
3	11,5	37	371	36
4	15,4	180	1797	129
5	15,6	539	5392	262
6	30,5	306	3431	123
7	44,6	2101	28313	686
8	63,8	995	13458	226
9	61,5	1444	2243	60
10	52,6	1380	1122	48
11	49,3	2932	4708	155
12	43,2	6036	7360	311
13	38,5	1858	818	70
14	30,9	16724	1147	576
15	9,1	13937	956	761
Всього				4561

Для того, щоб було простіше визначати площин теплообмінної поверхні, зобразимо популяцію технологічних потоків у ентальпійних інтервалах, як показано на рис. 4.

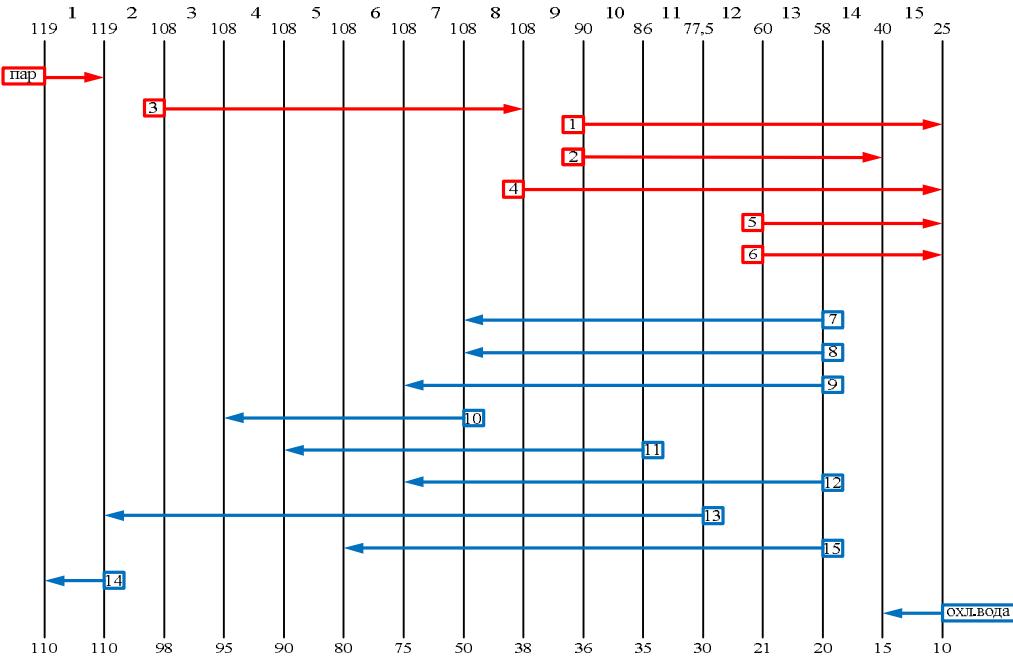


Рис. 4. Енталпійні інтервали популяції технологічних потоків

Знайдемо цільові значення площ поверхні теплообміну в енталпійних інтервалах. Для цього побудуємо таблицю, в яку будемо записувати величину членів суми у кожному інтервалі. Таким чином, отримана площа теплообміну на 5,5% менша, ніж площа теплообміну, що була вичислена за допомогою складових кривих, тому це дозволить зекономити 412722 грн. за рахунок зменшення площин теплообміну.

**Висновок.** В даній роботі за допомогою апарату складових кривих аналізується процес виробництва гіпофосфіту натрію. З даної роботи видно, що інтеграція процесу за допомогою методу мінімізації площин поверхні теплообміну дозволяє отримати систему теплообміну з площею поверхні на 12 % меншою, ніж при інтеграції за допомогою методу максимізації потужності рекуперації теплової енергії.

**Список літератури:** 1. Беглов Б.М., Жекеев М.К. Перспективы производства фосфора, удобрений и солей различного назначения на основе экстракционной фосфорной кислоты // Химическая промышленность.– 2002.– № 4.– С. 1–3. 2. Товажнянский Л.Л., Левченко Б.О. Енергетика на межі 21 століття. – Харків: Навч. посібник.– НТУ «ХПІ».– 2006. 3. Моргунова Э.М., Авербух Т.Д. Изучение процесса синтеза гипофосфита натрия // Журнал прикладной химии. 1976. – Т. 40, № 2. С. 274-284. 4. Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М., Болдырев С.А., Нечипоренко Д.Д. Теплоэнергетическая интеграция процесса производства гипофосфита натрия. – 2009. – № 2. – С. 71 – 83. 5. Товажнянский Л.Л., Аніпко О.Б., Малаяренко В.А. Основы энергетехнологий промышленности.– Х.: Учебник для студентов не теплоэнергетических специальностей НТУ «ХПИ».– 2002. 6. Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. Основы интеграции тепловых процессов. – Харьков: Библиотека журнала Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2000. – С.457.

Надійшла до редколегії 25.03.11

**A.B. МАТЮХА**, студент, НТУ «ХПИ»,  
**B.B. МАТВЕЕНКО**, аспирант, НТУ «ХПИ»,  
**B.A. ПЫЛЁВ**, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕСИММЕТРИЧНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ПОРШНЯ ДИЗЕЛЯ

В статье показана необходимость учета несимметричности граничных условий теплообмена поршня. Выполнена идентификация несимметричных в окружном направлении днища поршня граничных условий на основании данных экспериментального исследования

У статті показано необхідність врахування несиметричності граничних умов теплообміну поршня. Виконано ідентифікацію несиметричних в коловому напрямку днища поршня граничних умов на основі результатів експериментального дослідження

In article the necessity of taking into account asymmetry of the piston heat-exchange boundary conditions are gives. Identification of an asymmetric in the circumferential direction of the piston bottom heat-exchange boundary conditions is made

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь в важными научными или практическими заданиями.** Расчеты температурного состояния деталей на практике выполняют, как правило, с использованием метода конечных элементов и 3D-моделей. При этом для поршней используются симметричные в окружном направлении граничные условия (ГУ) 3-го рода [1, 2]. Однако, сложная геометрия поршня, неравномерные теплоподвод и теплоотвод свидетельствуют о несимметричности его температурного поля и необходимости использования соответствующих ГУ теплообмена.

**Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор.** Анализ работ показывает, что неравномерность температуры кромки камеры сгорания (КС) в окружном ее направлении может достигать 48 °C [3, 4]. В работе [5] были получены несимметричные ГУ теплообмена поршня с учетом неравномерности теплоотвода в гильзу в зоне первого поршневого кольца. При этом расчетная температура кромки КС в окружном направлении отличалась на величину до 5 °C.

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья.** В работе [5] при корректировке ГУ не была учтена неравномерность теплоподвода в зоне днища поршня и его КС, что требует дальнейшего исследования.

**Формулировка целей статьи.** Реальные окружные перепады температур в зоне кромки КС поршня соизмеримы с радиальными перепадами [1, 2], что необходимо учитывать при оценке ресурсной прочности. В связи с указанным целью данной работы является идентификация несимметричных ГУ теплообмена поршня в зоне его огневого днища.

**Изложение основного материала исследований.** На основании экспериментальных исследований температурного поля поршня дизеля 4ЧН12/14 в диапазоне эксплуатационных режимов, проведенных на кафедре ДВС, в данной работе были получены несимметричные в окружном направлении ГУ теплообмена поршня с учетом неравномерности теплоподвода в зоне его днища. Для выполнения численного моделирования температурного поля была создана 3D-модель поршня. ГУ определены согласно рекомендациям [1, 2] и приведены на рис. 1а.

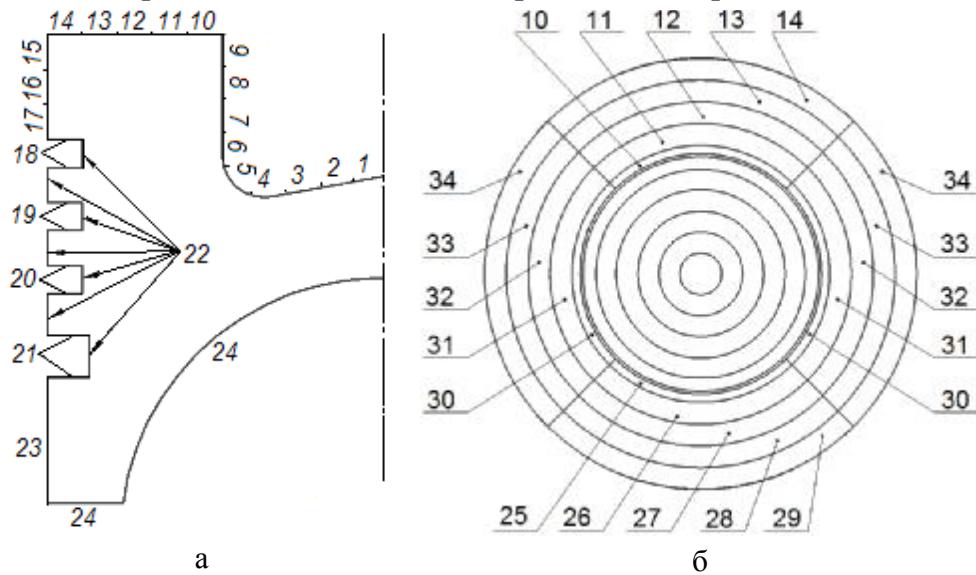


Рис. 1. Модель поршня и зоны задания ГУ: а) симметричных; б) несимметричных

С использованием ГУ по схеме рис. 1а выполнено численное моделирование температурного состояния поршня для режима экспериментального исследования при частоте вращения коленчатого вала  $n=1900$  мин<sup>-1</sup> и эффективной мощности  $N_e=79,5$  кВт. Сравнение результатов

моделирования с экспериментальными данными приведено в табл. 1. Контрольные точки соответствуют местам установки термопар в экспериментальном исследовании и приведены на рис. 2.

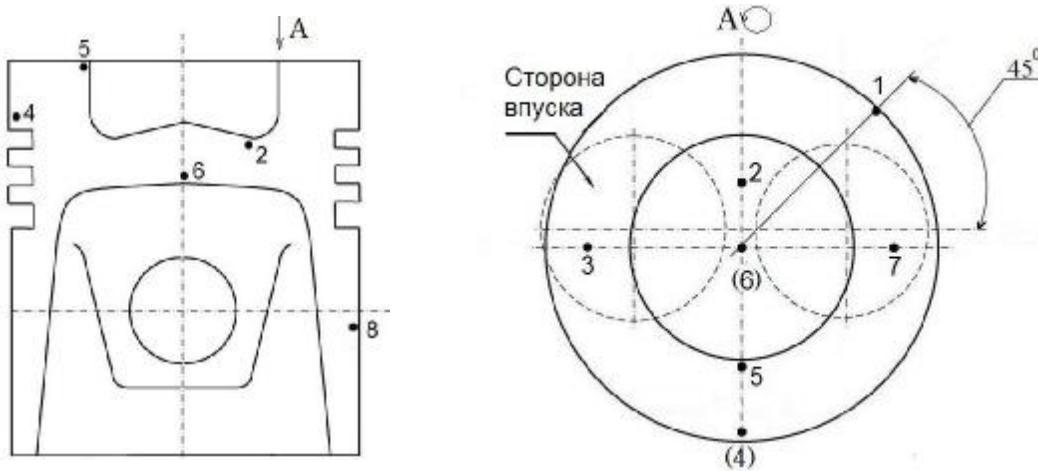


Рис. 2. Схема расположения термопар в поршне

Таблица 1

Сравнение результатов численного моделирования и экспериментального исследования

№ термопар	$t_p, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{эксп}}, ^\circ\text{C}$	$\delta$
1	249,0	208,1	40,9
2	206,0	160,8	45,2
3	254,6	245,2	9,4
4	220,3	175,5	44,8
5	271,6	237,1	34,5
6	193,4	182,1	11,3
7	254,6	227,3	27,3
8	116,0	114,5	1,5

Видно, что абсолютная отклонение  $\delta = t_p - t_{\text{эксп}}$  расчетных температур  $t_p$  от экспериментальных  $t_{\text{эксп}}$  является значительным и достигает 45 °C. Дальнейшая корректировка симметричных ГУ не может существенно изменить погрешность. Это является недопустимым и свидетельствует о необходимости уточнения ГУ теплообмена поршня как несимметричных. Указанная задача решалась путем учета неравномерности теплоподвода в зоне днища поршня. Для этого была выполнена дополнительная разбивка днища на четыре сектора, как показано на рис. 1б. ГУ в камере сгорания в рамках данной работы были приняты симметричными в окружном направлении, что обусловлено сложностью процессов протекающих в ней и отсутствием необходимых экспериментальных дан-

ных. В целом по поршню выделено 34 зоны задания ГУ. Для несимметричной задачи теплообмена ГУ в зонах 25–34 (см. рис. 1б) идентифицированы на основании экспериментальных данных. Сравнение результатов численного моделирования поршня с несимметричными ГУ с экспериментальными данными приведено в табл. 2.

Таблица 2  
Сравнение результатов численного моделирования и  
экспериментального исследования

№ термопар	$t_p, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{эксп}}, ^\circ\text{C}$	$\delta$
1	216,1	208,1	8,0
2	174,3	160,8	13,5
3	245,1	245,2	-0,1
4	175,6	175,5	0,1
5	237,1	237,1	0
6	179,1	182,1	-3,0
7	227,2	227,3	-0,1
8	114,4	114,5	-0,1

Видно, что абсолютная погрешность принимает допустимые значения для всех точек кроме точки 2, расположенной в камере сгорания. Это объясняется тем, что граничные условия в указанной зоне приняты симметричными. Однако, значение температуры в точке 2 не может повлиять на результаты оценки ресурсной прочности кромки КС.

**Выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления.** В данной работе идентифицированы несимметричные в окружном направлении днища поршня ГУ теплообмена. Дальнейшие исследования связаны с оценкой влияния способа задания ГУ теплообмена поршня на его ресурсную прочность.

**Список литературы:** 1. Процессы в перспективных дизелях / под ред. Шеховцова А.Ф. – Х.: Изд-во Основа, 1992. – 352 с. 2. Пильов В.О. Автоматизоване проектування поршнів швидкохідних дизелів із заданим рівнем тривалої міцності: Монографія. – Харків: Видавничий центр НТУ «ХПІ», 2001. – 332с. 3. Кавтарадзе Р.З. Расчетно-экспериментальное исследование локального теплообмена на огневом днище поршня дизеля, конвертированного в газожидкостный двигатель / Р. З. Кавтарадзе, А. И. Гайворонский, А. А. Зеленцов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Машиностроение". – 2009. – №2. С. 45-57. 4. Никишин В.Н. Исследование неравномерности температурного поля гильзы цилиндра и поршня автомобильного дизеля [Электронный ресурс] / В.Н. Никишин // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, организация: Онлайновый научно-технический журнал. – 2006. – №7. – 5с. – Режим доступа к журн.: <http://kampi.ru/sets>. 5. Матвеенко В.В. Попередня оцінка температурного стану поршня з урахуванням нерівномірного тепловідведення в зоні верхнього кільця / В.В. Матвеенко, В.О. Пильов, М.В. Прокопенко, І.Г. Пожидаєв // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. № 1. – С. 78-81.

Поступила в редакцию 02.04.11

**М.Ф. КЛЕЩЕВ**, докт. техн. наук, НТУ «ХПІ»,  
**Т.Д КОСТИРКІНА**, канд. хім. наук, НТУ «ХПІ»,  
**М.А. ФІЛІППОВА**, студентка, НТУ «ХПІ»

## ОПТИМАЛЬНІ УМОВИ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЕНІЛАЛАНІНУ

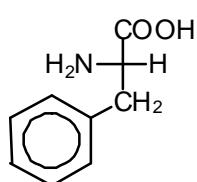
В статье приведены результаты исследований основных спектрофотометрических характеристик фенилаланину в ультрафиолетовой области и предложены условия определения: длина волн  $\lambda = 257\text{--}258$  нм, среда 0,1–2 Н растворов NaOH, интервал концентраций –  $1,0 \cdot 10^{-4}\text{--}7,0 \cdot 10^{-3}$  Н

Приведено результати дослідження основних спектрофотометрических характеристик фенілаланіну в ультрафіолетовій області та запропоновано умови визначення: довжина хвилі  $\lambda = 257\text{--}258$  нм, середовище 0,1–2 М розчинів NaOH, інтервал концентрацій –  $1,0 \cdot 10^{-4}\text{--}7,0 \cdot 10^{-3}$  М

Are the results of research of basic spectrophotometric descriptions of fenylalanine resulted in an ultraviolet area and the terms of determination are offered:  $\lambda = 258$  nm, an environment is 0,1– 2 M solution of NaOH, interval of concentrations  $(0,1\text{--}7,0) \cdot 10^{-3}$  M

**Постановка проблеми.** В природі існує біля 300 амінокислот, які мають різний вміст в біосфері. Найпоширенішими є 20 амінокислот, що входять до складу білків і складають універсальні компоненти усіх клітин. До цих найпоширеніших амінокислот відноситься і фенілаланін – неполярна незамінна нейтральна амінокислота, що використовується в синтезі та як лікарський засіб: вона впливає на настрій, зменшує біль, поліпшує пам'ять, пригнічує апетит і застосовується у лікуванні артриту, депресії, болю під час менструації, мігрені, ожиріння, хвороби Паркінсона [1]. Виробляється фенілаланін мікробіологічним або хімічним синтезом. При цьому необхідно мати надійні і прості методи визначення фенілаланіну в сировині, напівпродуктах і готовій продукції та методи аналізу препаратів на основі цієї кислоти.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Фенілаланін (2-аміно-3-фенілпропіонова кислота):



можна визначити хроматографічним, титрометричним чи спектрофотометричним методами [2–5]. Фенілаланін, як похідна сполука бензолу, для якого характерні три смуги

поглинання, при 180, 203 і 256 нм [7], має дещо зсунені у довгохвильову область максимуми: 191, 205 і 257 нм [6]. Що стосується спектрофотометричного методу визначення фенілаланіну за його поглинанням в ультрафіолетовій (УФ) області спектру, то найповніші дані є в роботі [6]. Авторами цієї роботи пропонується визначати фенілаланін при pH 5,2–9,5 в невеликому інтервалі концентрацій  $0,5 \cdot 10^{-3}$ – $5 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

**Постановка задачі та її рішення.** Метою цієї роботи є розширення діапазону визначуваних концентрацій фенілаланіну за інтенсивністю поглинання в УФ області. Для цього потрібно дослідити спектрофотометричні характеристики фенілаланіну в широкому інтервалі кислотності та концентрації цієї амінокислоти та стабільність аналітичного сигналу при зберіганні розчинів аналіту. Для дослідження спектрофотометричних характеристик фенілаланіну готували розчини потрібних концентрацій та кислотності цієї амінокислоти і отримували спектри поглинання цих розчинів та визначали зміну величини аналітичного сигналу при їх зберіганні. Враховуючи той факт, що для розчинення амінокислоти використовувалася вода, що є універсальним розчинником при спектрофотометрії амінокислот і має нижню межу пропускання 210 нм [8], нами для роботи була вибрана близька УФ область спектру в інтервалі 220–400 нм. Вихідний 0,01 М розчин фенілаланіну готували за точною наважкою амінокислоти. Розчини менших концентрацій готували методом розбавлення вихідного розчину. Для отримання розчинів амінокислоти з pH < pI використовували розчин хлоридної кислоти, з pH > pI – розчин натрію гідроксиду. Для роботи використовували спектрофотометр СФ-26 правильність роботи якого перевірялася за стандартними розчинами калію діхромату /9/ та pH-метр pH-340, градуйований за стандартними буферними розчинами згідно з інструкцією до приладу. Для роботи використовували кювети з товщиною поглинаючого шару 1 см.

Досліджувалися найважливіші показники, що складають спектрофотометричні аналітичні характеристики амінокислот: стійкість розчину в часі, вплив pH на максимум поглинання, оптимальна концентрація розчину. Спектри поглинання розчинів фенілаланіну знімали при температурі вимірювання в інтервалі 13–28 °C. Оскільки фенілаланін є цвіттерлітом, що дисоціює як по основному, так і по кислотному механізму і має ізоелектричну точку pH = 5,91, спектрофотометричні характеристики фе-

нілаланіну вивчали в областях існування фенілаланіну в катіонній, аніонній формі і у вигляді цвіттерліту Спектр поглинання водного розчину фенілаланіну (рис. 1) має максимум поглинання при 257–258 нм, що співпадає з літературними даними [7].

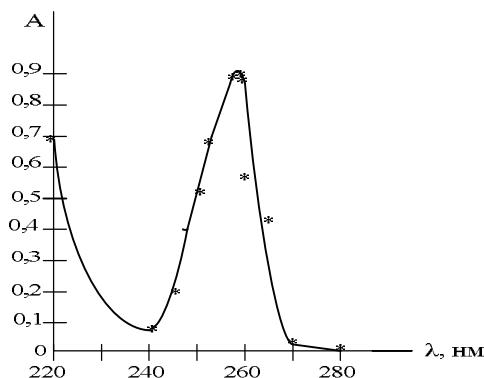


Рис. 1. Спектр поглинання водного розчину фенілаланіну:

$C = 0,005 \text{ M}$ ;  $\text{pH } 5,87$ ;  $l = 1 \text{ см}$

При зміні кислотності розчинів фенілаланіну від кислого ( $2 \text{ M HCl}$ ) і до лужного середовища ( $2 \text{ M NaOH}$ ), максимум поглинання практично не змінюється і є в області 257–258 нм.

При спектрофотометричних дослідженнях одним із основних показників є стійкість аналітичного сигналу в процесі зберігання розчинів (рис. 2).

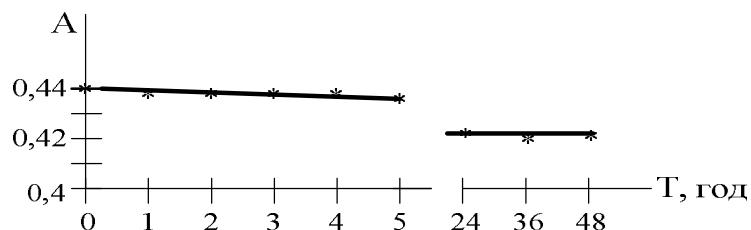


Рис. 2. Стійкість в часі розчину фенілаланіну:  $C = 0,0025 \text{ M}$ ;  $\text{pH } 5,20$

Оптична густина водного розчину фенілаланіну з часом незначно падає: через перші 5 год на 0,005, через 48 год – на 0,02. Аналогічні дані отримано і для кислого середовища. При вивченні часу установлення рівноваги при розчиненні фенілаланіну та стабільності аналітичного сигналу найкращі показники отримано в лужному середовищі: оптична густина розчинів фенілаланіну в  $0,1 \text{ M}$ ; в  $1 \text{ M}$  і в  $2 \text{ M}$  розчинах  $\text{NaOH}$  практично не змінюється впродовж перших 2 год, що можна пояснити незмінністю кількості часточок, що поглинають електромагнітне випромінювання, в цьому середовищі які, хоч і в незначних кількостях, появля-

ються в нейтральному і кислому середовищі за рахунок утворення міжмолекулярних та внутрішньо-молекулярних водневих зв'язків чи переходу амінокислоти в мезомерну форму. Ці дані показують, що при будь-якій кислотності розчини фенілаланіну можна використовувати для аналізу впродовж кількох годин, оскільки їх аналітичний сигнал практично не змінюється, що зручно для роботи, найкращим середовищем для спектрофотометричного визначення фенілаланіну можна вважати 0,1–2 М розчин  $\text{NaOH}$ , де досягається найбільше значення молярного коефіцієнта поглинання розчинів. Для визначення оптимальних значень pH визначення фенілаланіну була досліджена залежність оптичної густини розчинів від pH (рис. 3).

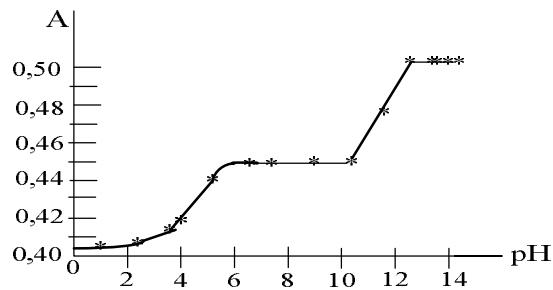


Рис. 3. Залежність оптичної густини розчинів фенілаланіну від pH:  
 $C = 0,0025 \text{ M}$ ;  $\lambda = 257 \text{ nm}$ ;  $l = 1 \text{ см}$

Як видно із рис. 3, в інтервалах pH 1–3; 5–9; 12,5–14,5 оптична густина має постійне, хоч і неоднакове, значення. В кислому середовищі аналітичний сигнал знижується, а в лужному – підвищується. Розраховано молярні коефіцієнти поглинання при довжині хвилі 258 nm, які становлять для водного розчину фенілаланіну  $178 \pm 21$ , для кислого розчину (0,1 М HCl)  $164 \pm 19$  і для лужного розчину (0,1 М  $\text{NaOH}$ )  $206 \pm 12$  л/моль·см. Така залежність вказує на значення pH існування переважно однієї із форм цвіттерліту фенілаланіну ( $\text{Phe}^\pm$ ):  $\text{Phe}^+$  при pH 1–3,  $\text{Phe}^\pm$  при pH 5–9 і  $\text{Phe}^-$  при pH 12,5–14,5. При вивчені часу установлення рівноваги при розчиненні цвіттерліту фенілаланіну та стабільності аналітичного сигналу найкращі показники отримано в лужному середовищі: оптична густина розчинів фенілаланіну в 0,1 М; в 1 М і в 2 М розчинах  $\text{NaOH}$  практично не змінюється впродовж 2 год, що можна пояснити незмінністю кількості часточок, що поглинають електромагнітне випромінювання, в цьому середовищі які, хоч і в незначних кількостях, появляються в нейтральному і кислому середовищі за рахунок утворення міжмолекулярних та внутрішньомолекулярних водневих зв'язків чи переходу амінокислоти в мезомерну форму. Оптимальним середовищем для спектрофотометри-

чного визначення фенілаланіну можна вважати 0,1–2 М розчин NaOH. Для визначення робочого інтервалу концентрацій фенілаланіну досліджували залежність оптичної густини від концентрації розчинів при оптимальних умовах, що були визначені вище, і будували градуювальний графік та розраховували градуювальну функцію. Для цього готовили методом розбавлення в 2 М розчинах NaOH серію розчинів концентраціями  $1,0 \cdot 10^{-4}$ – $1,0 \cdot 10^{-2}$  моль/дм<sup>3</sup>, використовуючи вихідний розчин фенілаланіну з концентрацією  $1,0 \cdot 10^{-2}$  моль/дм<sup>3</sup> і вимірювали оптичну густину цих розчинів при довжині хвилі  $\lambda = 258$  нм (рис. 4).

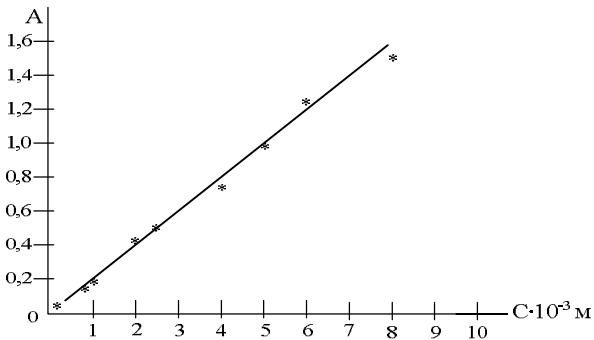


Рис. 4. Градуювальник графік для визначення фенілаланіну в 2 М розчині NaOH:  
 $\lambda = 258$  нм;  $l = 1$  см;  $n=3$ ;  $y = 192,5 x$

Як видно із рис. 4, прямолінійна залежність аналітичного сингалу від концентрації ( $y = 192,5x$ ) спостерігається в інтервалі концентрацій  $1,0 \cdot 10^{-4}$ – $7,0 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>. При підвищенні концентрації фенілаланіну в розчинах, починаючи з  $8,0 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup> їх оптична знижується і спостерігається відхилення від основного закону світло поглинання, що можна пояснити міжіонною взаємодією часточок аналіту при високих його концентраціях.

**Висновки.** На основі результатів дослідження спектрофотометричних характеристик фенілаланіну установлено оптимальні умови спектрофотометричного визначення фенілаланіну в ультрафіолетовій області спектру: робоча довжина хвилі  $\lambda = 257$ – $258$  нм, середовище 0,1–2 М розчин NaOH, інтервал концентрацій –  $1,0 \cdot 10^{-4}$ – $7,0 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>. Ці дані дають можливість визначити фенілаланін у водних розчинах та можуть бути використані для розроблення методик визначення фенілаланіну в суміші інших амінокислот.

**Список літератури:** 1. Анохіна Г. Особливо важливі для життя / Г. Анохіна // Здоров'я і довголіття. – 2010. № 30. – С. 4. 2. Филиппович Ю.Б., Практикум по общей биохимии. / Ю.Б. Филиппович, Т.А. Егорова, М.И. Севастьянова. – М.: Просвещение. 1982. – 311 с. 3. Нове

методы анализа аминокислот, пептидов и белков. Пер с англ. Под ред. Овчинникова Ю.А. М.: Мир. 1974. – 461 с. **4.** Державна фармакопея України. Харків / [розроблено Державним підприємством «Науково-експертний фармакопейний центр»]. Харків : РІПЕГ, 2001. – 531 с. **5.** Крешков А.П. Основы аналитической химии / А.П. Крешков. – Т.3. М.: Химия, 1976. – 472 с. **6.** Котова Д.Л. Спектрофотометрическое определение аминокислот в водных растворах. Учебное пособие / Д.Л. Котова, Т.А. Крысанова, Т.В. Елисеева. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2004.– 55 с. **7.** Берштейн И.Я. Спектрофотометрический анализ в органической химии / И.Я. Берштейн, Ю.Л. Каминский. – Л.: Химия, 1975. – 232 с. **8.** Свердлова О.В. Электронные спектры в органической химии / О.В. Свердлова. Л.: Химия. – 248 с.

Поступила в редакцию 24.05.11

УДК 678.073.002

**С.И. БУХКАЛО**, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,  
**С.Е. ГАРДЕР**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»,  
**О.И. ОЛЬХОВСКАЯ**, ассистент, НТУ «ХПИ»,  
**А.А. БОРХОВИЧ**, студент, НТУ «ХПИ»,  
**О.И. ХИМИЧ**, студентка, НТУ «ХПИ»,  
**К.И. СТАВРОВА**, студентка, НТУ «ХПИ»,  
**О.Ю. ВАЛЕНОВА**, студентка, НТУ «ХПИ»,  
**А.А. ТАРЕЛИН**, студент, НТУ «ХПИ»

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА КОМПЛЕКСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ**

В статті пропонуються методи оцінки ефективності утворення комплексних підприємств з використанням науково-обґрунтованих методів переробки відходів різного походження за допомогою сучасних методів обробки даних, здобутих у результаті проведення експерименту з утилізації полімерних відходів

В статье предлагаются методы оценки эффективности работы комплексных предприятий, использующих научно-обоснованные методы переработки отходов разного происхождения с помощью современных методов обработки экспериментальных данных по утилизации полимерных отходов

The method are proposed for estimation of processing efficiency of complex industrial sites that use scientific grounded up-to-date methods of different wastes treatment based on results of experimental investigations

**Постановка проблемы.** На кафедре «Интегрированных технологий, процессов и аппаратов» НТУ «ХПИ» с 2009 г. проводилось игровое курсовое проектирование по курсу «Математичне моделювання та застосування ЕОМ» с целью применения математического моделирования в технологиях ресурсо- и энергосбережения – утилизации полимерной тары и упаковки, бывшей в употреблении. При проведении игрового курсового проектирования были выявлены возможности расширения данной тематики и разработаны основные необходимые научно-обоснованные предпосылки и критерии создания комплексных инновационных предприятий по переработке отходов различного происхождения, которые могут быть основой для разработки инновационных студенческих проектов разного уровня.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Исследования многих авторов [1, 2] показывают, что наращивание мировых темпов выпуска полимерных изделий происходит при практическом отсутствии украинского рынка производства полимерного сырья, что и обуславливает специфическую структуру затрат на производстве полимеров – 77,6 % составляют материальные затраты (рис. 1).

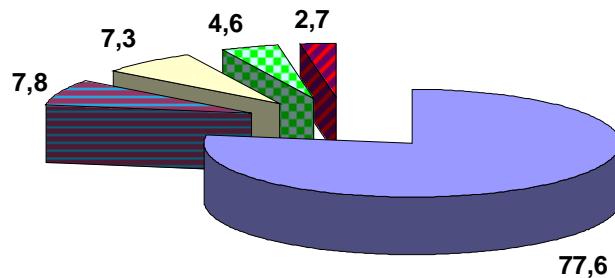


Рис. 1. Распределение затрат при производстве полимеров, %:  
77,6 – материальные затраты; 7,8 – оплата труда; 7,3 – иные операционные затраты; 4,6 – амортизация; 2,7 – отчисления на социальные мероприятия

Следует отметить, что из всех выпускаемых полимеров, 41% идет на упаковку, а большая часть из этого количества используется для упаковки пищевых продуктов. Даже в странах Евросоюза среди способов утилизации полимерных отходов преобладает сжигание, несмотря на существующие экологические налоги, правовое и научное сопровождение переработки различных видов полимерных изношенных изделий. Основой ресурсо- и энергосбережения, как показывает мировой опыт, с точки

зрения охраны окружающей среды, экономии энергоносителей и углеводородного сырья является создание комплексных безотходных предприятий, которые выводят из системы только продукты биосфера.

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Создание комплексных предприятий направленных на ресурсо- и энергосбережение позволяет решить, дополнительно как минимум, еще два взаимосвязанных вопроса современной химической технологии в экологическом и экономическом направлении, с учетом социальной эффективности, что, в свою очередь позволит более интенсивно и эффективно развивать эту отрасль промышленности.

Обеспечение качества изделий из вторичных полимеров – это также одна из основных целей предприятий их выпускающих. Для достижения этих целей необходимо разрабатывать систему обеспечения качества, которая базируется на научном и производственном опыте, а также современных методах математического моделирования.

**Формулировка целей статьи.** Образование комплексных предприятий по утилизации отходов различного происхождения, а также использование фактически полностью отходов и выбросов всех составляющих собственного производственного комплекса и других предприятий, является основной целью проводимых нами работ. Основной целью исследований являлось изучение влияния технологических параметров и концентрации модифицирующих добавок на физико-химические и физико-механические характеристики изделий модифицированных вторичных полимеров методами математического моделирования.

**Изложение основного материала исследований.** Статистика показывает, что на каждого жителя Украины приходится образование более 40 кг/год полимерных отходов, которые не подвергаются разложению, а их захоронение подразумевает длительное воздействие на окружающую среду. Именно поэтому переработка пластмасс и отходов так важна для сохранения и защиты окружающей среды. В условиях дефицита сырья полимерные отходы становятся мощным энергетическим и сырьевым ресурсом, а использование полимерных отходов позволяет экономить первичное сырье, куда, прежде всего, следует отнести электроэнергию и нефть. В основном полимерные отходы уничтожаются путем сжигания, пиролиза или захоронения в почву, но такие методы являются техниче-

ски сложными и экономически невыгодными. Оптимальным решением «пластмассовой проблемы» в наше время стала переработка полимерных отходов, которая позволяет избежать повторного загрязнения окружающей среды и в то же время получить ряд полезных продуктов для отраслей производственного комплекса, промышленности и народного хозяйства. По многим причинам переработка пластмасс является не только экологически предпочтительным, но и экономически целесообразным решением многих проблем, связанных с использованием полимерных отходов. На опытно-промышленное предприятие «Комплексные инновационные технологии вторичных ресурсов», созданное виртуально студентами для инновационного решения предложенных заданий, поступил заказ от одного из крупнейших в Европе коксохимических заводов.

Для разработки инновационного проекта предполагалась организация на коксохимическом заводе подразделения по утилизации отходов разного вида собственного предприятия и разделенных твердых бытовых отходов региона без привлечения дополнительных энергетических ресурсов извне. Для решения задач инновационных технологий была разработана схема возможного решения поставленных задач (рис. 2).



Рис. 2. Функциональная схема инновационной технологии

Дополнительной целью проекта является утилизация вторичных энергетических ресурсов коксохимического завода, т.е. собственных от-

ходящих производственных газов в разрабатываемых инновационных технологиях. При проведении комплексного игрового курсового проектирования необходимо было разработать основные этапы работы выбранных актуальных проблем для решения и определить их смысл в виде задач для студентов различных кафедр, обучающихся на 2–5 курсах:

- выбор инновационных объектов технологии для математического моделирования: анализ литературных источников и оценка возможностей разработки с целью внедрения их на производстве;
- организационная работа преподавателя и студентов: ознакомление с задачами комплексного инновационного игрового проектирования, системой стимулирования и разработки критериев оценки работы для определения победителей;
- составление календарного плана аудиторного и самостоятельного проектирования;
- оформление студентами технической документации проекта: пояснительной записки, представление необходимых обоснований, расчетов и графической части;
- анализ достоверности полученных результатов путем проведения взаимного рецензирования всех частей комплексного игрового инновационного проекта;
- подготовка и организация защиты-презентации комплексных игровых инновационных проектов;
- проведение публичной защиты комплексных игровых инновационных проектов с приглашением специалистов, подведение итогов игровых курсовых проектов, рекомендации относительно его победителей и представление общих выводов по разработанному проекту.

Разработка инновационного проекта была поручена нескольким подразделениям созданного студентами предприятия:

1. Технологическое – выбор инновационных технологий с учетом специфического направления завода и вида имеющихся вторичных энергетических ресурсов, а также выбор и разработка метода оптимизации процессов производства.

2. Информационно-аналитического обеспечения – обработка полученных результатов эксперимента и их графическая интерпретация.

3. Организационно-экономическое – анализ рынка сырья и продукции с целью привлечения инвестирования в реализацию проекта, выбора типа производства и создание предпосылок для образования конкурентоспособного предприятия.

4. Экологически-правовое – обеспечение безопасности инновационного объекта в соответствии с нормативно-правовой базой Украины, разработка предложений по внесению изменений в существующие нормативы с учетом полного отсутствия подобных разработок.

Технологические объекты отличаются, прежде всего, процессами, которые в них протекают. Процессы, протекающие в объектах химической технологии, характеризуются переменными, между которыми существуют определенные причинно-следственные связи. Для образованных подразделений предприятия были выделены некоторые задачи, учитывающие вид поступающих отходов на утилизацию, прошедшие изменения в них с точки зрения дальнейшего использования в качестве сырья, разработки ассортимента выпускаемой продукции и прогнозирования потребности такого вида продукции.

Таблица 1.

Виды предстоящих разработок и исследований для подразделений

№ подразделения	Виды разработки		
	1	2	3
1	Отходы полностью изношены, с полигона или др.	Тара и упаковка после употребления как отходы	Учет изменения свойств полимерных материалов
2	Основные положения бизнес-плана	Обеспечение конкурентоспособности	Маркетинговые обоснования
3	Нормативно-правовая база инновационного объекта	Нормативно-экологическая база инновационного объекта	Разработка мероприятий для данного объекта
4	Графический анализ полученных результатов	Информационное обеспечение проекта	Разработка программного обеспечения

Переработка полимерных отходов как объект химической технологии с точки зрения математического моделирования, например, для технологической схемы утилизации полиэтиленовой тары и упаковки, согласно которой будет осуществляться планируемый эксперимент, характеризуется обязательным условием – все входные переменные должны быть управляемыми. Переменные, играющие роль причин, называются входными, а переменные, отражающие последствия причин – выходными. Входные переменные контролируются, ими также можно управлять. Для разработки научно-обоснованной технологии получения вторичного полиэтилена и изделий из него изучались изменения в составе и строении полиэтилена, которые происходят в процессе переработки и применения, особенно в результате длительной эксплуатации пленки. Проведенные исследования качественного и количественного состава кислородсодержащих и ненасыщенных групп, а также молекулярной подвижности вторичного полиэтилена, полученного из пленки различной продолжительности эксплуатации [3], показывают, что основными направлениями модификации в целях повышения технологических и прочностных свойств этого материала должны быть методы, учитывающие степень его окисления:

1. пространственная сшивка перерабатываемого материала в процессе формования изделия;
2. введение стабилизаторов, смазок и других добавок в небольших количествах;
3. создание композиций для вспенивания и получение пенополимеров;
4. создание композиций для переработки путем совмещения с другими термопластами и эластомерами;
5. введение в перерабатываемый материал добавок, разрушающих гельфракцию;
6. создание наполненных полимерных композиций и т.д.

Работа, проводимая нами, проводилась в двух направлениях с целью определения оптимальных концентраций добавок для получения вторичного полиэтилена (ВПЭ) с улучшенными технологическими и физико-механическими показателями. При этом необходимо учитывать свойства перерабатываемых полимерных отходов, например, полиэтилена:

1. Повышенная химическая активность полиэтилена, эксплуатировавшегося более трех месяцев и содержащего значительное количество кислородсодержащих и ненасыщенных групп, может быть положительным качеством для осуществления химических методов модификации – перекисная сшивка и химическое вспенивание.

2. Для полиэтиленовой тары и упаковки, сохранившей относительное удлинение при разрыве в пределах 200 % и более, мы рекомендуем улучшение реологических свойств расплава материала путем введения специальных добавок «смазок».

Для решения полученного задания нами выбран метод полного факторного эксперимента первого порядка [3]. В результате обработки опытных данных получены уравнения регрессии, адекватно описывающие процесс.

Проведенные эксперименты и выведенное уравнение регрессии для процессов модификации вторичного полиэтилена перекисью дикумила при литье под давлением указывают на большую чувствительность ВПЭ для данных концентраций перекиси, к количеству перекиси, и в меньшей степени к длительности цикла литья и температуре. При визуализации полученных результатов был использован программный пакет MATLAB 2009, в котором для графического отображения результатов эксперимента используется встроенная в пакет MATLAB функция `surf`. Данная функция позволяет построить поверхность в трёхмерном пространстве. Входными данными для функции являются: вектора  $X$  и  $Y$ , являющиеся векторами матрицы значений иксовой и игривой координат поверхности, соответственно; и матрицы  $Z$ , в которой хранится третья составляющая поверхности – высота. Как видим – зависимость мы можем построить только для двух величин, но в нашем уравнении три. Поэтому, было принято решение построить шесть графиков. Три зависимости –  $x_1$  от  $x_2$ ,  $x_1$  от  $x_3$ ,  $x_2$  от  $x_3$ , и по две вариации третьей величины – минимальное и максимальное значения. Учитывая всё сказанное, был разработан и реализован алгоритм.

Таким образом, все входные данные для построения поверхности готовы. Для наглядного обозначения высоты MATLAB использует цветовую карту. Для плавного перехода используются цветовые градиенты.

По линиям этих градиентов можно характеризовать криволинейность поверхности.

**Выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления.** Анализ ситуации, к сожалению, пока в виртуальной отрасли утилизации различного вида отходов (ее еще необходимо создать) показывает потенциальную возможность повышения эффективности их использования с точки зрения ресурсо- и энергосбережения путем создания производственных комплексов. Такие комплексы могут быть созданы:

1) на базе предприятий крупнотоннажных производителей энергоносителей, например, коксохимзаводы и шахты – утилизация коксового газа или шахтного метана;

2) предприятий по выделению из ТБО отдельных видов потенциальных энергоносителей и др.

Эти энергоутилизационные производственные комплексы позволяют не только использовать различные выбросы предприятий или получать энергию из не подлежащих переработке отходов, но создать и перерабатывающие предприятия для различных видов отходов подлежащих переработке.

Таким образом, наиболее перспективным с точки зрения ресурсосбережения является направление получения вторичных полимеров на комплексных предприятиях с привлечением методов математического моделирования для оптимизации процессов. Это позволит расширить сырьевую базу для производства изделий и повысить эффективность использования сырья на основе изучения свойств отходов различного происхождения, их состава, возможности организованного сбора и направленной модификации.

**Список литературы:** 1. Бухкало С.И. К вопросу энергосбережения процесса агломерирования полимерной упаковки // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2005. – № 2. – С. 29. 2. Бухкало С.И., Ольховская О.И., Борхович А.А. Оценка качества вторичных полимеров с помощью математической модели // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2008. – № 2. – С. 51. 3. Бухкало С.И. Изменение свойств в процессе эксплуатации пленки и направления модификация вторичного полиэтилена: дис. канд. техн. наук : 25.01.88 / Бухкало Светлана Ивановна. – М., 1988. – 150 с.

*Поступила в редакцию 05.02.11*

**Л.М. УЛЬЕВ**, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,

**Л.А. МЕЛЬНИКОВСКАЯ**, аспирант, НТУ «ХПИ»,

**Р.А. РОБЛЕС КУДРИН**, студент, НТУ «ХПИ»

## **ЭКСТРАКЦИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ ИНТЕГРАЦИИ ПРОЦЕССА АТМОСФЕРНОЙ ПЕРЕГОНКИ НЕФТИ НА УСТАНОВКЕ АВТ А12/6**

Актуальність теми зумовлена тим, що зростання цін на енергію спонукає економніше використовувати енергоресурси з тим, щоб зменшити загальні витрати. Мета даного проекту полягає у дослідженні роботи атмосферної колони установки переробки нафти АВТ А12/6, визначеній її енергозберігаючого потенціалу Використана методика пінч-аналізу, визначені температури за допомогою стаціонарних приладів, моделювання схеми установки в програмі UniSim Design

Актуальность темы обусловлена тем, что рост цен на энергию побуждает экономнее использовать энергоресурсы с тем, чтобы уменьшить общие расходы. Цель данного проекта заключается в исследовании работы атмосферной колонны установки переработки нефти АВТ А12/6, определении ее энергосберегающего потенциала. Использована методика пинч-анализа, определены температуры с помощью стационарных приборов, моделирование схемы установки в программе UniSim Design

Relevance of the topic, due to the fact, that rising energy prices to incentive to use energy resources more economical, to reduce overall costs. The aim of this project was to research the installation atmospheric column of oil AVDU12 / 6. Use method of the pinch-analysis, definition temperatures by using steady-state devices, to simulate process in UniSim Design

**Постановка проблемы.** Украина потребляет более 2% энергоресурсов планеты, имея численность населения менее 1%. Энергоемкость отечественных производств в 2–3 раза больше, чем в развитых странах. Переход экономики Украины на рыночные отношения в условиях государственной независимости заострил проблему снижения энергоемкости национального дохода. Не менее важно повышение эффективности переработки нефти, улучшение качества нефтепродуктов и более рациональное их использование. Последнее в значительной степени обусловлено сокращением производства энергоносителей на Украине, повышением мировых цен на нефть и нефтепродукты, ужесточением экологических требований и условий эксплуатации техники. Поэтому энергосбережение признано одним из приоритетных направлений государственной политики. В настоящее время энергообеспечение является одной из основных

задач экономического развития Украины, от решения которой во многом будет зависеть возможность окончательного преодоления кризисных явлений. Доказано, что больше 85–90% общего объема спада промышленного и сельскохозяйственного производства связано с необеспеченностью их энергоносителями. Ситуация в данной области усложняется также неэффективностью проводимых мероприятий по энергосбережению. Сейчас политика Украины направлена на сокращение энергозатрат, что отражено в Законе Украины «Об энергосбережении» и Государственной комплексной программе энергосбережения. Поставлена задача до 2010 года сократить расход энергоносителей на 109 млн. т условного топлива.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Нефтепереработка и нефтехимия являются энергоемкими производствами, и уровень энергозатрат в значительной степени влияет на себестоимость готовой продукции. В зависимости от уровня переработки нефти, ее состава, ассортимента и качества целевых продуктов, технического уровня оборудования и других факторов, расход энергии на собственные нужды нефтеперерабатывающих заводов эквивалентен 6–10 % перерабатываемой нефти. Из общего количества потребляемой энергии 55–65 % приходится на долю технологического топлива, 30–35 % – на тепловую и 8–12% – на электрическую энергию [1]. На украинских НПЗ большая часть технологических установок строилась в 60-х и 70-х годах, когда цена энергоресурсов была очень низкая, и экономии энергии не придавалось большого значения. И в последующие годы энергосберегающих мероприятий практически не производили. Поэтому энергопотребление в основных процессах нефтепереработки и нефтехимии на 30-60 % выше, чем в современных зарубежных установках [2]. Улучшения в этом направлении достигаются путем модернизации отдельных систем производства, установок и заводов в целом, рационализации и совершенствования производственных операций.

**Описание процесса атмосферной перегонки нефти.** Атмосферная перегонка относится к первичному процессу и отсюда можно выделить основное её назначение – разделить нефть на фракции и использовать максимальные возможности нефти по количеству и качеству получаемых исходных продуктов. Атмосферную перегонку можно осуществить сле-

дующими способами: 1) с однократным испарением в трубчатой печи и разделением отгона в одной ректификационной колонне; 2) двукратным испарением и разделением в двух ректификационных колоннах – в колонне предварительного испарения с отделением легких бензиновых фракций и в основной колонне [3]. Сырьём для установки атмосферной перегонки может служить как нефть, так и газовый конденсат. Физико-химические свойства нефтей и составляющих их фракций оказывают влияние на выбор технологии получения нефтепродуктов. Поэтому, при определении направления переработки нефти нужно стремиться по возможности максимально полезно использовать индивидуальные природные особенности её химического состава [4]. На промышленных установках при атмосферной перегонке нефть нагревается до температуры не выше 370°C, так как при более высокой температуре начинается расщепление углеводородов – крекинг, а это нежелательно из-за того, что образующиеся непредельные углеводороды резко снижают качество и выход целевых продуктов. В результате атмосферной перегонки нефти отгоняются фракции, выкипающие при температуре примерно от 30 до 350-360°C, и в остатке образуется мазут. Из нефтяных фракций, выкипающих при температуре до 360°C, получаются различные виды топлив (бензины, топлива для реактивных и дизельных двигателей), сырьё для нефтехимического синтеза (бензол, этилбензол, ксиолы, этилен, пропилен, бутадиен), растворители и др. [4].

**Изложение основного материала исследований.** Описание технологической схемы установки – сырая нефть из резервуаров хранилища по трубопроводу подается насосами ТСБ под давлением 0,8-1,0 МПа (8-10 кг/см<sup>2</sup>) на прием сырьевых насосов установки АВТ-2. Предусмотрена подача деэмульсатора на прием сырьевых насосов. Подача содощелочного раствора предусмотрена в потоки нефти после сырьевых теплообменников в линию из Т-11 и Т-10/3 в К-1.

**Обозначения.** НПЗ – нефтеперерабатывающий завод; СР – потоковая теплоемкость, Вт/°C; с – удельная теплоемкость, Дж/(кг·°C); G – массовый расход, кг/с; ΔH – потоковое теплосодержание, Вт; t – температура, °C; T<sub>S</sub> – температура снабжения, °C; T<sub>t</sub> – целевая температура, °C; ΔT<sub>min</sub> – минимальная разность температур; ЭЛОУ – электрообессоливающая установка; АВТ – атмосферно-вакуумная трубчатка; НЦО – низ-

коциркуляционное орошение; СЦО – среднекиркуляционное орошение; ВЦО – высококиркуляционное орошение; К-1 – колонна атмосферной перегонки нефти; Е-31 – ёмкость.

Нефть тремя параллельными потоками прокачивается через теплообменники (по трубному пространству) первой группы, где нагревается до температуры 100-120 °С теплом отходящих продуктов и циркуляционных орошений: 1 поток нефти прокачивается через теплообменники Т-1/1, 2 (теплоноситель – ВЦО в К-2); 2 поток нефти прокачивается через теплообменники Т-5/1, 2, 3 (теплоноситель – мазут); 3 поток нефти прокачивается через теплообменники Т-8/2, Т-12 (теплоноситель – компонент ДТЗ, ДТЛ), Т-28/1, 2 (теплоноситель – мазут), Т-32/2 (теплоноситель – атмосферный газойль). В целях выравнивания температур потоки объединяются, и нефть подается на блок ЭЛОУ. Перед электродегидраторами нефть разделяется на три параллельных потока и через инжекторы И-1/1,2,3 и маточники поступает в электродегидраторы первой ступени Э-1/2; Э-1/3. В инжекторах И-1,2,3 происходит смешивание нефти со свежей водой. Свежая вода подается насосами. В электродегидраторах первой ступени в поле высокого напряжения (22000 В) происходит разрушение эмульсии и отделение воды от нефти. Обессоленная и обезвоженная нефть с ЭЛОУ объединяется в общий поток, и далее тремя параллельными потоками прокачивается через 2 группу теплообменников: 1 поток нефти прокачивается через теплообменники (трубное пространство): Т-3/1,2 (теплоноситель – Низ К3/2); Т-4 (теплоноситель – НЦО К-2); Т-10/2,3 (теплоноситель – мазут из К-2); 2 поток нефти прокачивается через теплообменники: Т-6, Т-7 (теплоноситель – СЦО К-2); Т-8/1 (теплоноситель – низ К3/3); Т-9, Т-10/1 (теплоноситель – мазут из К-2); 3 поток нефти прокачивается через теплообменники (межтрубное пространство): Т-13/4,3 (теплоноситель – мазут из К-2); Т-13/2,1 (теплоноситель – мазут из К-2); Т-17/2,1 (теплоноситель – мазут из К-2); 1й и 2й потоки нефти подаются на 16 тарелку, а 3-й – на 21 тарелку колонны К-1. Рабочие условия К-1: температура верха не более 139°С; температура низа – не выше 45°С; давление – не более 0,3 МПа (3.0 кгс/см<sup>2</sup>). В колонне К-1а происходит разделение фаз. Для улучшения отпарки легких фракций в колонну К-1 подается "горячая струя", представляющая собой полуотбензиненную нефть этой же колонны.

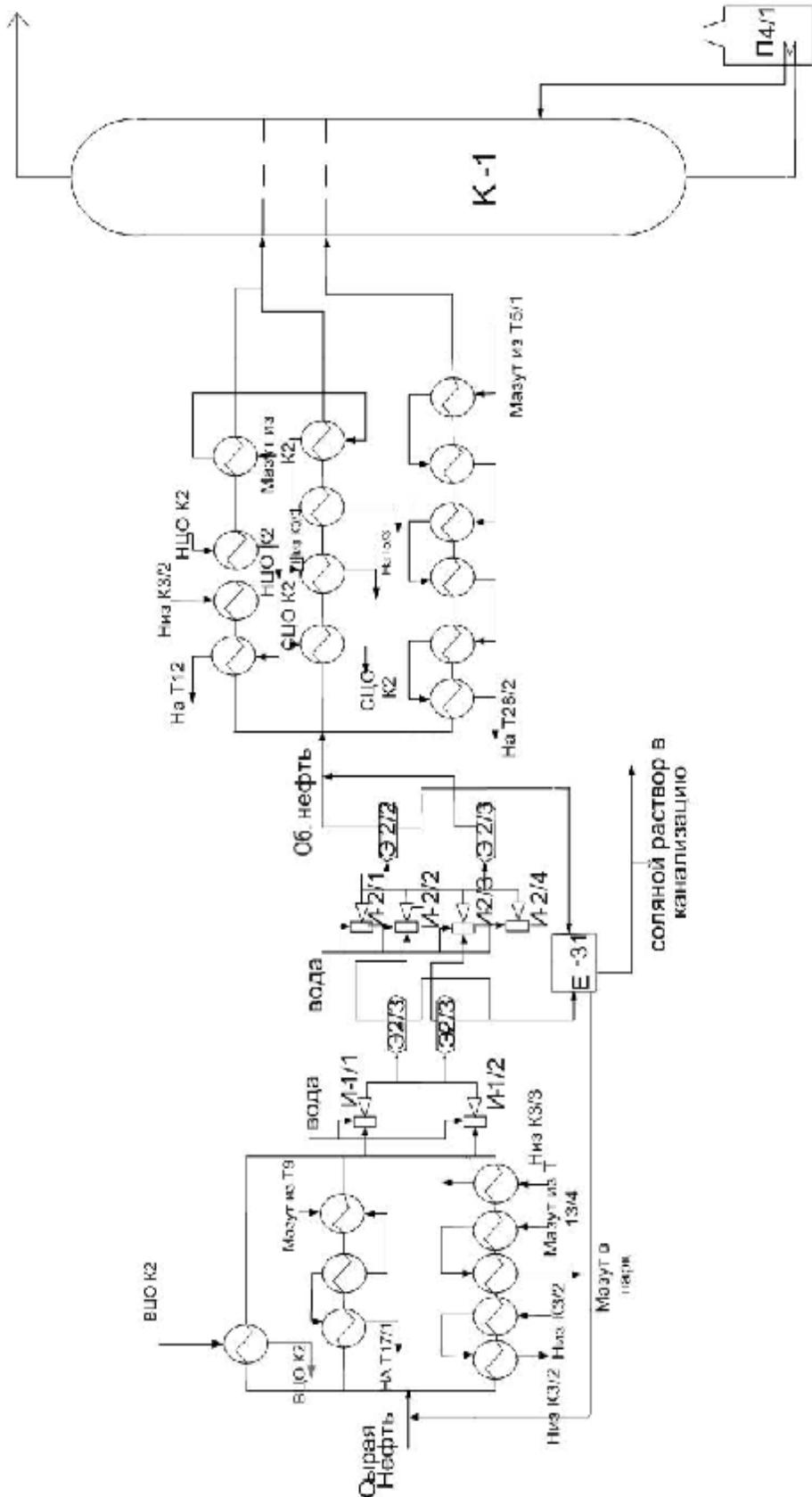


Рис.1 . Существующая схема установки переработки нефти АВТ А12/6.  
Б-емкость, И-инжектор; К-1-атмосферная ректификационная колонна; П-трубчатая печь; Т-теплообменные аппараты;  
Э-электродегидраторы

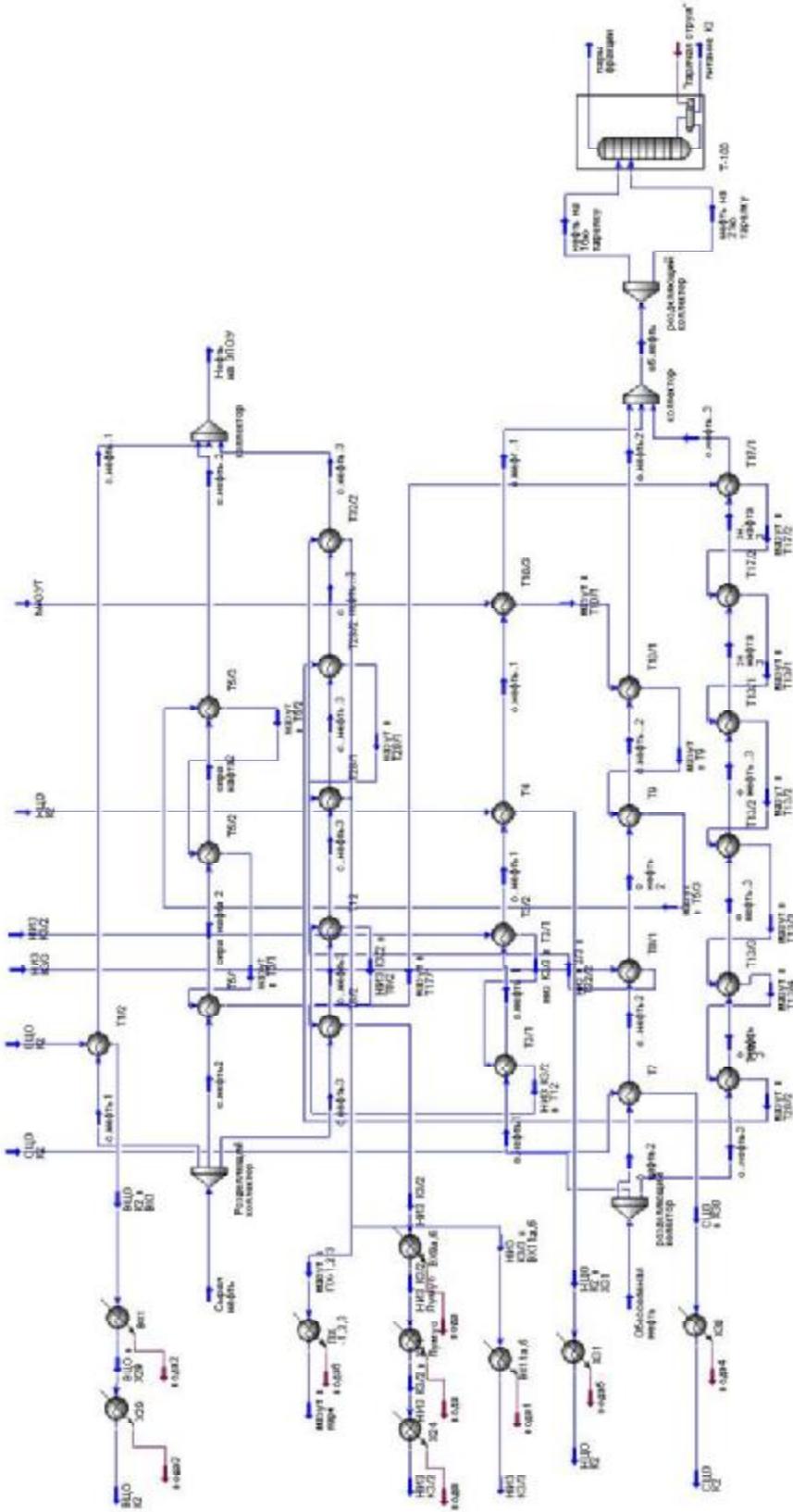


Рис. 2. Существующая схема установки АВТ А12/6, смоделированная в UniSim Design: К1 – атмосферная ректификационная колонна; Т – теплообменные аппараты;

Циркуляция "горячей струи" осуществляется через печь П-4/1 насосами. Избыток горячей струи из П-4/1 может направляться в линию загрузки К-1 (в трансферную линию из П-1). Имеется возможность подачи полуотбензиненной нефти надконвекционного змеевика П-2 в линию горячей струи К-1 (рис. 1).

**Моделирование схемы установки в программе UniSim Design.** Для уточнения собранных технологических данных было выполнено моделирование принципиальной схемы АВТ А12/6 на ОАО «Херсоннефтепереработка» в программе UniSim Design (рис. 2).

UniSim Design представляет собой мощное интерактивное средство моделирования технологических процессов, предоставляющее инженерам возможность создания статических и динамических моделей для проектирования установок, мониторинга функционирования, поиска причин неисправностей, повышения качества эксплуатации, планирования и управления активами [5]. Кроме того, моделирование в UniSim Design позволит уточнить данные, полученные в результате расчетов, провести более точную оценку экономической эффективности проекта и срок его окупаемости.

Для примера рассмотрим моделирования в программе UniSim Design одного из теплообменников, которые присутствуют в схеме (рис. 3).

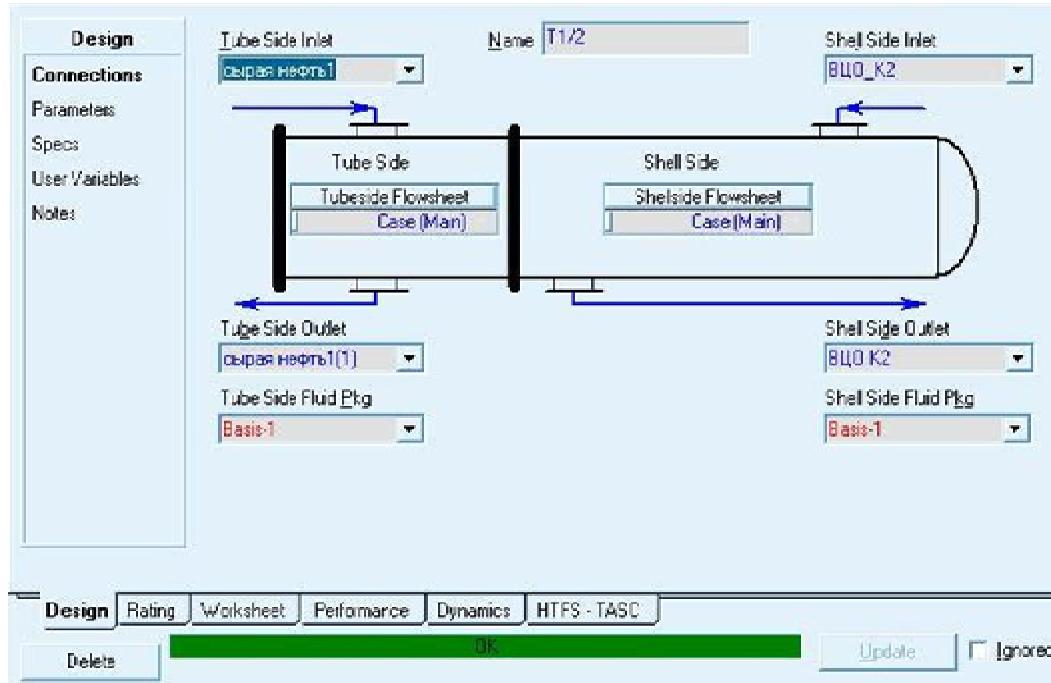


Рис. 3. Моделирование теплообменника Т1/2 в программе UniSim Design

Технологический поток (холодный поток) «Сырая нефть1» поступает в трубное пространство с температурой 24 °C теплообменника Т1/2, этот поток нагревается до температуры 32 °C технологическим потоком (горячий поток) «ВЦО К2».

Поток «ВЦО К2» поступает в межтрубное пространство теплообменника Т1/2 с температурой 107 °C, где он охлаждается до температуры 70°C и выходит из теплообменника в парк. Также рассмотрим моделирование атмосферной ректификационной колонны К-1 (рис. 4).

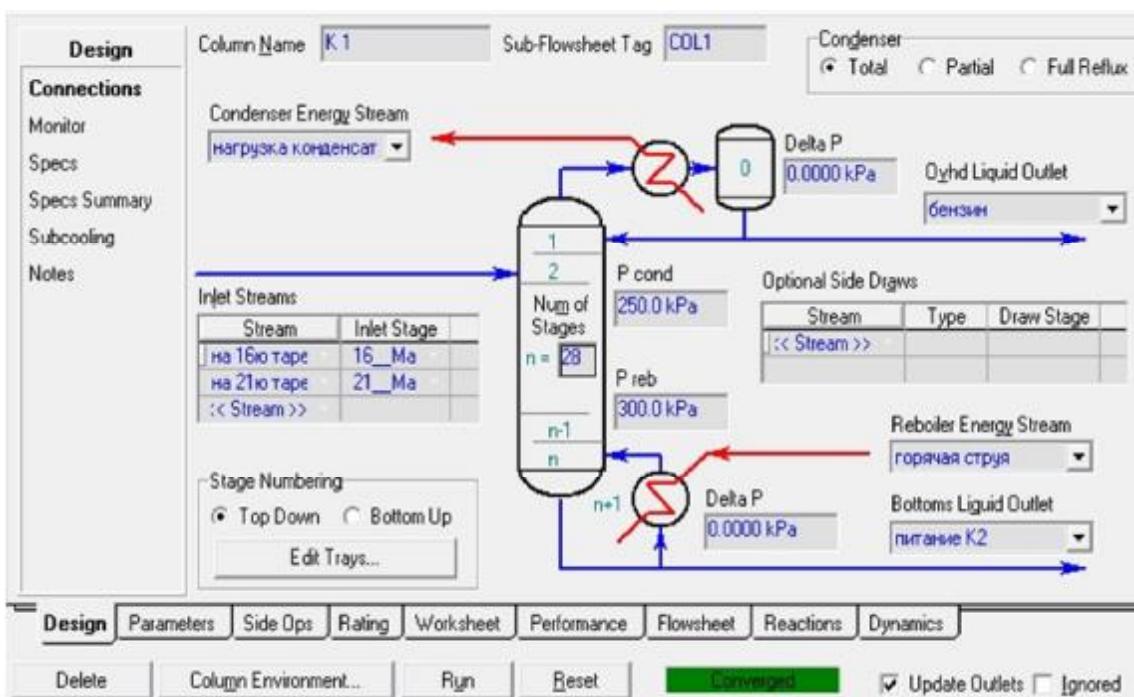


Рис. 4. Моделирование атмосферной ректификационной колонны в программе UniSim Design

Колонна имеет 28 клапанных тарелок. Обессоленная нефть двумя потоками подаётся на питающие тарелки (1-й поток подается на 16-ю тарелку и 2-й на 21-ю тарелку соответственно).

Для улучшения отпарки легких фракций в колонну К-1 подается «горячая струя», представляющая собой полуотбензиненную нефть этой же колонны.

На основе данных, полученных с помощью измерений, и уточненных с помощью моделирования процесса атмосферной перегонки нефти

на установке АВТ А12/6 в программе UniSim Design, была составлена потоковая таблица для технологического процесса (табл.1).

Таблица 1

Потоковые данные технологических потоков, включенных в интеграцию для АВТ А12/6

№	Название потока	Тип	T <sub>s</sub> , °C	T <sub>t</sub> , °C	G, т/ч	СР, кВт/К	ΔH, кВт
1	Низ К-3/2	гор	235	28	21,188	15,48	541,86
2	Низ К-3/3	гор	288	70	17,238	13,48	377,48
3	ВЦО К-2	гор	230	130	73,053	53,20	1595,90
4	СЦО К-2	гор	287	210	50,850	38,47	1038,67
5	НЦО К-2	гор	332	190	21,548	17,00	543,95
6	Мазут	гор	353	80	117,708	95,20	3141,49
7	Сырая нефть	хол	24	140	224,042	119,99	1919,79
8	Обессоленная нефть	хол	85	325	221,801	132,34	1985,12

**Выводы.** Моделирование процесса перегонки нефти на атмосферной колонне установки АВТ А12/6 с помощью программного продукта UniSim Design позволило получить более точные потоковые данные. Наглядно отображена динамика процесса, использование термодинамических моделей UniSim Design позволило рассчитать физические свойства, транспортные свойства, фазовое равновесие материальных потоков с высокой точностью. Это дало возможность составить таблицу потоковых данных, которая является цифровой моделью процесса, и в дальнейшем будет служить основой для интеграции существующего процесса, построения составных кривых и расчета энергоэффективности процесса атмосферной ректификации. Кроме того, наличие энергетических потоков позволило точно составить тепловой баланс установки и наглядно представило количество потребляемых горячих и холодных утилит.

**Список литературы:** 1. Клименко В.Л. Энергоресурсы нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / В.Л. Клименко, Ю.В. Костерин. – Л.: Химия. – 1985. – 256 с. 2. Ульев Л.М. Определение энергосберегающего потенциала разделения ШФЛУ на центральный газофракционирующую установку / Л.М. Ульев, С.А. Болдырев, Е.В. Поливода // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2009, Випуск 40. – С. 21–32. 3. Александров И.А. Перегонка и ректификация в нефтепереработке. / И.А. Александров. – 1981. – 665 с. 4. Трегубов А.М. Теория перегонки и ректификации. / А.М. Трегубов. – Баку. – 1946. – 319 с. 5. UniSim®Design software, Available from: <Ahpssweb.honeywell.com/Cultures/enUS/Products/ControlApplications/simulation/UniSimDesign/default.htm>.

Поступила в редакцию 04.05.11

**Н.Е. ЗАГОРУЛЬКО**, зав. відділом, УкрНДІХІММАШ, Харків,  
**Л.М. УЛЬЄВ**, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»,  
**А.О. ГАРЕВ**, аспірант, НТУ «ХПІ»,  
**М.В. НЕХАЄНКО**, студент, НТУ «ХПІ»

## ЕКСТРАКЦІЯ ДАНИХ ДЛЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГІДРОЛІЗНОЇ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ

В статті коротко описаний технологічний процес концентрування гідролізної сірчаної кислоти до 93%. Визначені всі технологічні потоки, які необхідні для початку проектування енергоефективної теплообмінної системи, наведені їх основні характеристики. Побудований графік складених кривих, за яким визначено цільові значення гарячих та холодних утиліт необхідних для процесу, проаналізована потужність рекуперації теплової енергії для існуючої схеми

В статье коротко описан технологический процесс концентрирования гидролизной серной кислоты до 93%. Определены все технологические потоки, которые необходимы для начала проектирования энергоэффективной теплообменной системы, приведены их основные характеристики. Построен график составных кривых, по которому определены целевые значения горячих и холодных утилит необходимых для процесса, проанализирована мощность рекуперации тепловой энергии для существующей схемы

The article briefly describes the process of concentration of sulfuric acid hydrolysis up to 93%. Identified all the technological flows, which are necessary for the initial design of energy efficient heat exchange system, shown their main characteristics. The graphs are composite curves, which are defined targets of hot and cold utilities needed to process, analyze power heat recovery for the existing scheme

**Постановка завдання.** Метою написання статті є висвітлення етапу збору та уточнення необхідних даних для початку проектування ефективної теплообмінної системи процесу концентрації гідролізної сірчаної кислоти (ГСК) за допомогою методів пінч-аналізу. Так як принципова схема, яку ми прийняли за основу, була розроблена без утилізації тепла, то для зменшення енергоспоживання початковий проект потребує інтеграції. Від точності визначення початкових даних залежить якість інтегрування технологічного процесу та енергоефективність ново отриманої схеми. Саме енергоефективність виробництва, на початку другої декади 21 століття, є пріоритетним напрямком у роботі спеціалістів кафедри ІТПА, НТУ «ХПІ».

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Наслідком кризи паливно-енергетичного комплексу як України, так і всього світу, та морально застарілих технологій в хімічній промисловості є мала рентабельність більшості хімічних підприємств «старого зразку» і низька конкурентоспроможність продукції. Завелике споживання енергетичних ресурсів призводить до високої собівартості кінцевого продукту. За допомогою методів пінч-аналізу стало можливим проектування енергоефективних теплообмінних систем з врахуванням багатьох чинників, що в комплексі складають єдине ціле «тіло» виробництва [1]. Точні дані – теплоенергетична інтеграція – оптимальна технологічна схема процесу з мінімальним споживанням енергії – розробка системи автоматизації та контролю за дотриманням необхідних умов процесу – виробництво якісного дешевого продукту (як наслідок, збільшення прибутку підприємства), – ось принципова послідовність, якої необхідно дотримуватися, вирішуючи поставлені питання проектування або реконструкції технологічних процесів [2].

**Викладання основного матеріалу досліджень.** Установка призначена для концентрування гідролізної кислоти до 93%  $H_2SO_4$  і виділення з неї домішок у вигляді твердої фази. Має потужність по початковій гідролізній кислоті не менше 10600 кг/год. Установка переробки гідролізної сірчаної кислоти буде експлуатуватися на ЗАТ «Кримський ТИТАН», 96012, м. Армянськ, Північна Промзона, Автономна Республіка Крим. Процес концентрації ГСК можна розділити на три етапи: перші два – це концентрування за допомогою випарювання, а третій – укріплення. Така поетапність зумовлена виділенням осаду, у вигляді сульфатів Al, Mg, Mn, V і необхідністю його фільтрування після кожної стадії переробки для попередження забруднення випарних апаратів [3].

На першому етапі ГСК концентрується у послідовно з'єднаних випарних апаратах до 60% і фільтрується від твердої фази. На другому – відфільтрований розчин випарюється до 75% і також потребує очистки. На третьому етапі освітлена 75%  $H_2SO_4$  змішується з олеумом, і в наслідок екзотермічної реакції досягає необхідної концентрації 93% [4].

**Початкова технологічна схема, її опис, інтеграція теплових процесів.** В основу розробки проекту покладені результати лабораторних досліджень, інформація про способи утилізації гідролізний сірчаної кислоти та роботу діючих установок з переробки гідролізної сірчаної кислоти

ти. Для виробництва прийнята п'ятикорпусна випарна установка (рис. 1). Перші два апарати працюють з природною циркуляцією розчину, три наступні – з примусовою циркуляцією, що пов'язано з виділенням твердої фази [5]. Установка складається з двох однакових ліній установок, що працюють паралельно. Загальний потік гідролізної кислоти між ними розподіляється рівномірно. Далі будемо розглядати лише одну лінію установок, так як вони ідентичні [6].

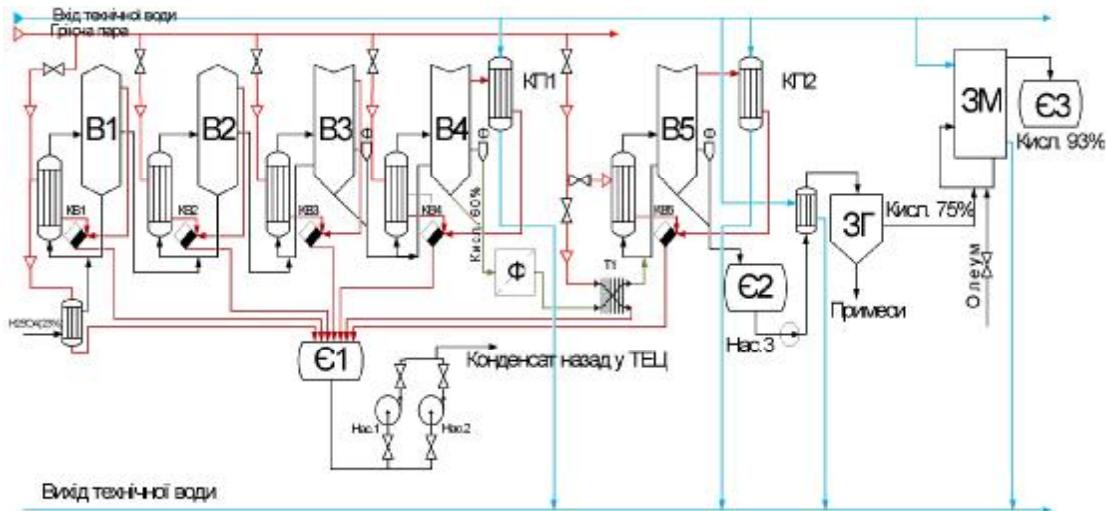


Рис. 1. Початкова енергофункціональна схема установки концентрування гідролізної сірчаної кислоти до 93%

Гідролізна кислота з ємності проходить через теплообмінник Т-1, нагрівається і надходить в випарний апарат В1. Підігрів гідролізної кислоти в теплообміннику Т-1 здійснюється теплом гріючої пари. Проходячи послідовно по випарним апаратам В1-В4, розчин упається, концентрація сірчаної кислоти підвищується до 60%, при цьому розчинені сульфати заліза та інші сульфати (Al, Mg, Mn, V) виділяються у вигляді твердої фази. Сусpenзія сульфатів, яка утворилася в упареній сірчаній кислоті, направляється в установку фільтрування Ф. Після чого відфільтрована гідролізна сірчана кислота 60% подається через теплообмінник (обігрівається гріючою парою з ТЕЦ) до випарного апарату В5, де концентрується до 75%. З розчину виділяються домішки у вигляді твердої фази (сульфати заліза та інші сульфати (Al, Mg, Mn, V)) [7]. Сусpenзія, що утворилася збирається в ємності Е2 і подається через охолоджуючий теплообмінник (живиться технічною водою) до згущувача ЗГ. Згущена сусpenзія відводиться з його нижньої частини. Освітлений розчин 75% подається в

потік рециркуляції змішувача ЗМ, до якого надходить олеум. У змішувачі відбувається укріплення сірчаної кислоти до 93% в наслідок екзотермічної реакції з олеумом. Тепло від змішувача відводиться технічною водою. Готовий продукт ( $H_2SO_4$  93%) збирається в ємності Е3 і відправляється на склад. Гріючі камери випарних апаратів В1, В2, В3, В4, В5 обігріваються парою, що надходить від ТЕЦ. Конденсат з гріючих камер апаратів виводиться через конденсато-відвідники (КВ1-КВ5) і збирається в ємності Е1 і повертається на ТЕЦ. Гази, які не конденсуються, відводяться з гріючих камер апаратів через конденсатор КП1, КП2 і викидаються в атмосферу.

**Визначення технологічних потоків процесу концентрування гідролізної кислоти.** У даному дипломному проекті проведено обстеження установки концентрування гідролізної сірчаної кислоти до 93%. При виборі потоків повинні виконуватися наступні вимоги: необхідно уникати перевизначення завдання; необхідно шукати можливість поліпшення проектованої системи за рахунок зміни умов проведення процесу; необхідно уникати неізотермічного змішування на стадії визначення енергетичних цілей [8]. В ході обстеження було виявлено 17 технологічних потоків, які будуть використані для визначення енергозберігаючого потенціалу установки з використанням методів інтеграції теплових процесів:

потік 1 – конденсат гріючої пари, відводиться від гріючої камери В1,  $t_{\text{нач}} \sim 179^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{кон}} \sim 90^\circ\text{C}$ ,  $G \sim 2,754 \text{ кг/с}$ ;

потік 2 – вторинний пар з випарного апарату В1,  $T_{\text{поч}} \sim 147^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{кін}} \sim 147^\circ\text{C}$ ,  $G \sim 2,156 \text{ кг/с}$ ;

потік 3 – вторинний пар з випарного апарату В2,  $T_{\text{поч}} \sim 119^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{кін}} \sim 119^\circ\text{C}$ ,  $G \sim 1,830 \text{ кг/с}$ ;

потік 4 – вторинний пар з випарного апарату В3,  $T_{\text{поч}} \sim 90^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{кін}} \sim 90^\circ\text{C}$ ,  $G \sim 1,610 \text{ кг/с}$ ;

потік 5 – вторинний пар з випарного апарату В4,  $T_{\text{поч}} \sim 40^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{кін}} \sim 40^\circ\text{C}$ ,  $G \sim 1,622 \text{ кг/с}$ ;

потік 6 – конденсат вторинної пари;  $T_{\text{поч}} \sim 89^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{кін}} \sim 42^\circ\text{C}$ ,  $G \sim 7,38 \text{ кг/с}$ ;

потік 7 – гідролізна сірчана кислота 23%,  $T_{\text{поч}} \sim 9^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{кін}} \sim 139^\circ\text{C}$ ,  $G \sim 12,72 \text{ кг/с}$ ;

потік 8 – сірчана кислота 26%, з 1-го випарного апарату,  $T_{\text{поч}} \sim 9^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{кін}} \sim$

139 °C,  $G \sim 12,72$  кг/с;

потік 9 – сірчана кислота 34%, з 2-го випарного апарату,  $T_{\text{поч}} \sim 132$  °C,  $t_{\text{кін}} \sim 132$  °C,  $G \sim 0,56$  кг/с;

потік 10 – сірчана кислота 43,4%, з 3-го випарного апарату  $T_{\text{поч}} \sim 108$  °C,  $t_{\text{кін}} \sim 108$  °C,  $G \sim 0,56$  кг/с;

потік 11 – сірчана кислота 60% з 4-го випарного апарату  $T_{\text{поч}} \sim 75$  °C,  $t_{\text{кін}} \sim 75$  °C,  $G \sim 0,56$  кг/с;

потік 12 – кислота 60%, після підігрівання в Т1,  $T_{\text{поч}} \sim 70$  °C,  $t_{\text{кін}} \sim 90$  °C,  $G \sim 9,385$  кг/с;

потік 13 – конденсат гріючої пари з 5-го випарного апарату  $T_{\text{поч}} \sim 120$  °C,  $t_{\text{кін}} \sim 75$  °C,  $G \sim 2,281$  кг/с;

потік 14 – вторинна пара з 5-го випарного апарату  $T_{\text{поч}} \sim 40$  °C,  $t_{\text{кін}} \sim 40$  °C,  $G \sim 1,683$  кг/с;

потік 15 – упарена кислота, 75%, з 5-го випарного апарату  $T_{\text{поч}} \sim 105$  °C,  $t_{\text{кін}} \sim 60$  °C,  $G \sim 7,702$  кг/с;

потік 16 – кислота 93% в змішувачі  $T_{\text{поч}} \sim 61,9$  °C,  $t_{\text{кін}} \sim 60$  °C,  $G \sim 1015,56$  кг/с;

потік 17 – упарена кислота 60%, що надходить до В-5  $T_{\text{поч}} \sim 90$  °C,  $t_{\text{кін}} \sim 105$  °C,  $G \sim 146,92$  кг/с.

Метод, за допомогою якого буде проведена інтеграція теплових процесів, відомий в даний час під назвою «пінч-аналіз», з'явився в індустриально розвинутих країнах під час нафтової кризи 70-х років двадцятого століття. Зараз практично у всіх існуючих системних методах проектування ідеї і правила пінч-технології використовуються для енергоаудиту та визначення оптимальних значень цільових функцій, тому цю методологію прийнято розглядати переважно як аналіз, ніж технологію. Пінч-аналіз має дві дуже важливі властивості. Перше – це можливість встановлення цілей проектування перед початком самого проектування. Другим важливим властивістю є можливість інтеграції процесів в межах великого виробничо-територіального комплексу [9]. Процеси у великому виробничо-територіальному комплексі функціонують незалежно один від одного, і деколи важко зробити вибір для вкладення грошових коштів з метою поліпшення економічних показників. За допомогою методів пінч-аналізу можна отримати інформацію про енергетичні вимоги для всього комплексу, розглядаючи один еквівалентний йому процес. У ре-

зультаті отримуємо інвестиційні плани, визначені енергетичні цілі і знижену емісію шкідливих речовин як для існуючих процесів, так і для проектованих. Для екстрагованих технологічних потоків визначені додаткові характеристики – табл. 1.

Таблиця 1.  
Потокові дані для установки концентрації ГСК до 93%

№	Назва потоку	Тип	T <sub>s</sub> , °C	T <sub>t</sub> , °C	G, кг/с	СР, кВт/К	ΔH, кВт
1.	Конденсат гріючої пари	гар	179	90	2,754	12	1043
2.	Вторинний пар	гар	147	147	2,156		4746
3.	Вторинний пар	гар	119	119	1,83		4329
4.	Вторинний пар	гар	90	90	1,61		3860
5.	Вторинний пар	гар	40	40	1,622		3906
6.	Конденсат вторин. пари	гар	89	42	7,38	22	1022
7.	Гідролізна сірчана кислота 23%	хол	9	139	12,72	43	5565
8.	Сірчана кислота 26%	хол	155	155	0,56		5880
9.	Сірчана кислота 34%	хол	132	132	0,56		3396
10.	Сірчана кислота 43,4%	хол	108	108	0,56		3232
11.	Сірчана кислота 60%	хол	75	75	0,56		3860
12.	Кислота після Т1, 60%	хол	70	90	9,385	21,4	428
13.	Конденсат г.п. із АВ-5	гар	120	75	2,281	9,62	432,9
14.	Втор. пара із АВ-5	гар	40	40	1,683	Конд. г=2403КДж/кг	4044,25
15.	Упарена кислота, 75%	гар	105	60	7,702	14,942	672,39
16.	Кислота 93% в змішувачі	гар	61,9	60	1015,56	1584,27	3010,11
17.	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 60% в АВ-5	хол	90	105	146,92	334, 977	5030

Використовуючи отримані технологічні потокові дані процесу концентрування гідролізоної сірчаної кислоти та задані значення гарячих та холодних утиліт на температурно-ентальпійній діаграмі побудуємо складені криві (рис. 2) для існуючого процесу, проаналізуємо  $\Delta T_{min}$  та потужність рекуперації енергії.

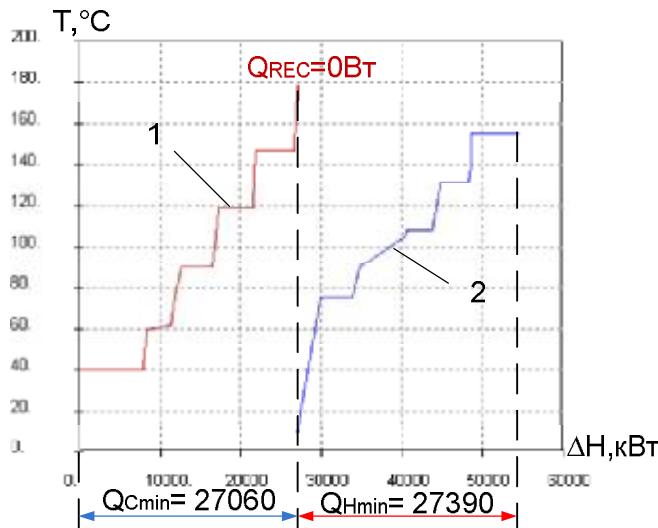


Рис. 2. Складені криві існуючого процесу на температурно-енталпійній діаграмі: 1, 2 – відповідно гаряча та холодна складена крива;  $Q_{H\min}$ ,  $Q_{C\min}$  – відповідно споживання потужності від гарячих та холодних утиліт;  $Q_{REC}$  – потужність рекуперації енергії

Отже, після побудови кривих, ми визначили, що  $Q_{H\min}=27390$  кВт,  $Q_{C\min}=27060$  кВт. Рекуперація відсутня  $Q_{REC}=0$  кВт [10].

**Висновки і перспективи подальшого розвитку даного напрямку.** Застосовуючи принципи пінч-технології, інженер може використовувати прості і зрозумілі принципи і правила, з огляду на контроль і управління, компонування та комунікації проектованого підприємства, безпеку, контроль забруднень навколошнього середовища і т.д. з метою отримання інтегрованого проектного рішення, яке, як правило, є не тільки енергетично оптимальним, але і технічно прийнятним і здійсненим.

В результаті проведеного обстеження установки концентрування гідролізної сірчаної кислоти за встановленими правилами були екстраговані необхідні потокові дані, систематизовані і занесені до таблиці. На основі визначених потоків було побудовано складені криві. По графіку складених кривих визначено величину холодних і гарячих утиліт, що споживається процесом на початковій стадії (до інтеграції) та існуючу рекуперацію теплової енергії. Підготовчий етап завершений успішно, на основі отриманих даних можна проводити подальші розрахунки для обчислення необхідних цільових функцій процесу.

**Список літератури:** 1. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / [Бевз С. М., Бондаренко Б. І., Буткевич О. Ф. та ін.]; під загальною ред. А. І. Шидловського. – Київ: вид. «Українські енциклопедичні знання», 2007. – 500 с. 2. Товажнянський Л. Л. Проблемы енер-

госбережения и пинч-анализ как метод их решения / Л. Л. Товажнянский, Л. М. Ульев – Оборудование и инструмент для профессионалов, 2006, № 2. С. 82–88. 3. Лебедев А. Я. Установки для денитрации и концентрирования серной кислоты / А. Я. Лебедев – М. : Химия, 1972. – 240 с. 4. Шварцштейн Я. В. Использование и переработка гидролизной серной кислоты и сульфатов железа / Я. В. Шварцштейн – М. : Химия, 1970. – 15 с. 5. Дюмаев К. М. Регенерация отработанных сернокислотных растворов / К. М. Дюмаев, Э. И. Эльберт. – М. : Химия, 1987. – 112 с. 6. Амелин А. Г. Технология серной кислоты. Учебное пособие для вузов / А. Г. Амелин – 2-е изд., перераб. – М. : Химия, 1983. – 360 с. 7. Малин К. М. Справочник сернокислотника / К. М. Малин – М. : Химия, 1971. – 744 с. 8. Основы интеграции тепловых процессов / [ Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л. Л. та ін.]. – М., 2004. – 458 с. 9. Smith R. Chemical Process Design and Integration / R. Smith – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2005. – 688 p. 10. Linnhoff B. User guide on process integration for the efficient use of energy / [B. Linnhoff, D.W. Townsend, D. Boland et al.]. – Rugby, IChemE, UK 1991 (Newaddition 1994). – 247 p.

Надійшла до редколегії 02.06.11

УДК 338.45: 662.276

**Л.М. УЛЬЕВ**, докт. техн. наук, НТУ «ХПИ»,  
**Е.В. ПОЛИВОДА**, студентка, НТУ «ХПИ»

## **ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ГАЗОФРАКЦИОНИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ**

У роботі виконана пінч-інтеграція центральної газофракціонуючої установки, на якій відбувається розділення широкої фракції легких вуглеводнів (ШФЛВ). За допомогою методів пінч-проектування побудовано сіткову діаграму запропонованого проекту рекуперації теплої енергії. На базі сіткової діаграми системи рекуперації запропонована енерготехнологічна схема процесу розділення ШФЛВ, у якій збільшена потужність рекуперації теплової енергії більше, ніж в два рази

В работе выполнена пинч-интеграция центральной газофракционирующей установки, на которой происходит разделение широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ). С помощью методов пинч-проектирования построена сеточная диаграмма предложенного проекта рекуперации тепловой энергии. На основе сеточной диаграммы системы рекуперации предложена энерго-технологическая схема процесса разделения ШФЛУ, в которой увеличена мощность рекуперации тепловой энергии более, чем в два раза

Pinch-integration of the process by hydrocarbon wide spread separation at the central gas-fractionation plant was made in the paper. With the help of pinch-design methods was built the grid diagram for proposal heat energy recuperation system. Flowsheet for hydrocarbon wide spread separation was made on basis of grid diagram. This design allows increase of recuperation capacity more than two times

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научно-практическими заданиями.** Энергия – необходимый элемент для живого организма, сообщества, а так же для любой химической и физи-

ческой системы [1]. Для поднятия общего жизненного уровня населения планеты, достигнутого в разных странах, потребуется почти десятикратное увеличение энергетического производства, реально это невозможно из-за ограниченности и усложнения добычи основных энергоресурсов, а также из-за губительного воздействия энергетических объектов на окружающую среду. Поэтому необходим переход к деятельности, обеспечивающей уменьшение потребления энергии по отношению к валовому национальному продукту, и создание новых более эффективных способов получения энергии. В этом плане возможности химии велики. Первое направление, где химия может быть эффективной – разработка технологий, обеспечивающих уменьшение затрат энергии на производство единицы продукта. Второе – создание новых видов химического топлива, обеспечивающих энергетическую и экологическую эффективность, к примеру. Третье – новые эффективные технологии получения энергии, как с известными, так и с новыми энергоносителями. Одним из важных направлений ресурсосбережения в химической промышленности является энергосбережение.

**Анализ исследований и публикаций.** На первоначальном этапе разработки методологии создания ресурсосберегающих химико-технологических систем были предложены методы синтеза рекуперативных тепловых систем. Одним из наиболее известных методов синтеза оптимальных рекуперативных тепловых систем является пинч-метод с использованием составных тепловых кривых.

Литературные данные, опубликованные в различных источниках [2–7], говорят о том, что при использовании методов пинч-анализа, можно сократить энергопотребление на предприятия практически в 2 раза.

### **Теплоэнергетическая интеграция.**

Ранее, в работе [8], было начато решение проблемы по энергосбережению разделения широкой фракции легких углеводородов на центральной газофракционирующей установке. На рис. 1. представлена теплообменная система ЦГФУ существующего процесса. Потоковые данные технологических потоков представлены в таблице 1.

Внизу под размещениями теплообменных аппаратов показаны их тепловые нагрузки в кВт.

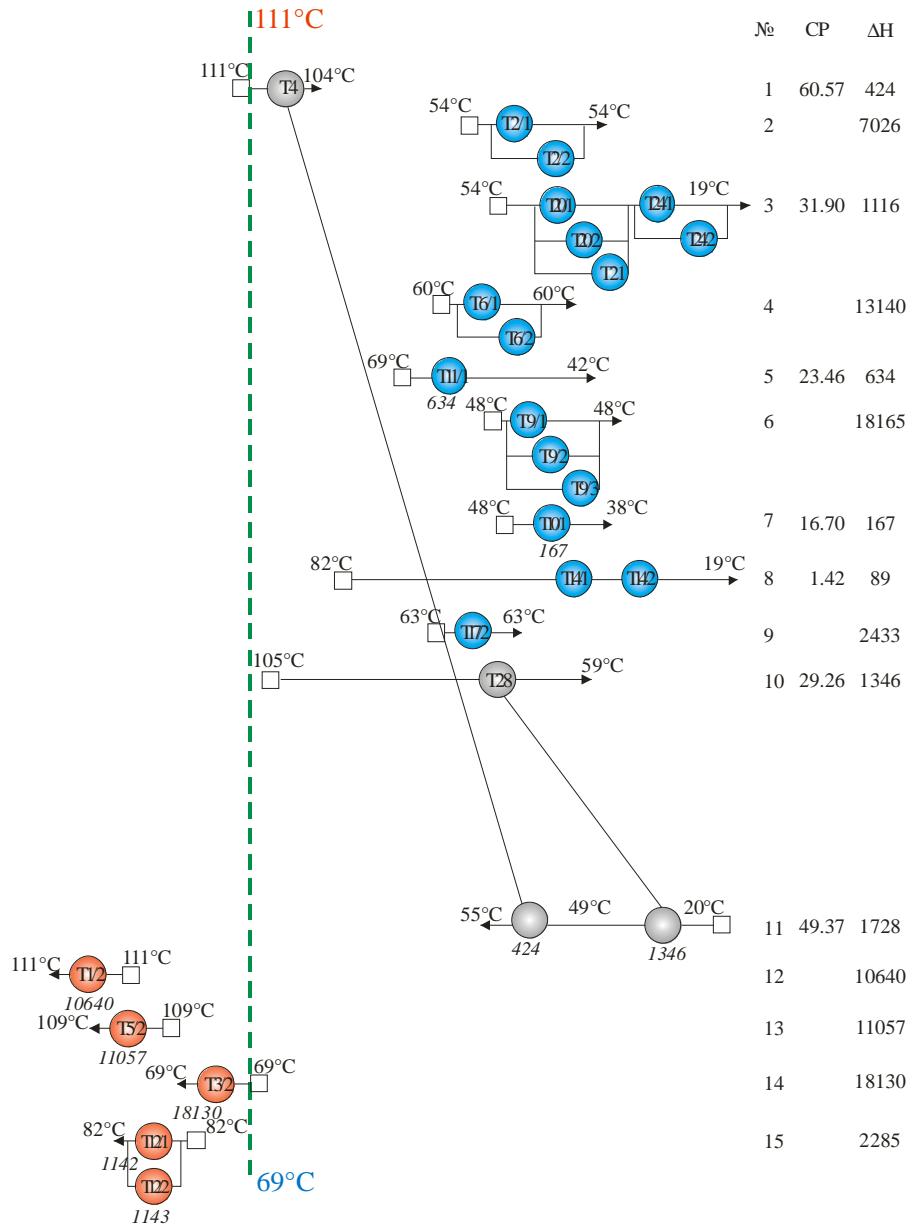


Рис. 1. Существующая в настоящее время система теплообмена на ЦГФУ:  
Т – теплообменные аппараты; штриховая линия – локализация пинч-температур;  
 $CP$  – потоковые теплоемкости, кВт/К;  $\Delta H$  – изменение потокового теплосодержания, кВт

При достижении минимальной допустимой разности температур [3], которая равна  $DT_{min} = 2^{\circ}\text{C}$ , горячие утилиты приобрели значение, равное  $Q_{Hmin} = 40,151 \text{ МВт}$ , что на 4,7% меньше, чем процесс получает от утилитной системы в настоящее время. Холодные утилиты уменьшаться на 4,2% с  $Q_{Cmin} = 42,812 \text{ МВт}$  до  $Q_{Cmin} = 41,026 \text{ МВт}$ .

Таблица 1

## Потоковые данные технологических потоков

№	Название потока	Тип	$T_S$ , °C	$T_T$ , °C	$G$ , т/ч	$C$ , кДж/кг·К	$r$ , кДж/кг	$CP$ , кВт/К	$\Delta H$ , кВт
1	Кубовый остаток К1	гор	111	104	59,99	3,635		60,57	424
2	Конденсация паров К1	гор	54	54	92,15		274,5		7026
3	Охлаждение ЭПФ	гор	54	38	9,81	2,358		6,43	103
		гор	38	38	9,81		316,5		862
		гор	38	19	9,81	2,916		7,95	151
4	Конденсация паров К2	гор	60	60	153,20		308,8		13140
5	Бутановая фракция	гор	69	42	31,50	2,682		23,46	634
6	Конденсация паров К3	гор	48	48	216,90		301,5		18165
7	Изобутановая фракция	гор	48	38	23,05	2,609		16,70	167
8	Пентановая фракция	гор	82	19	2,12	2,407		1,42	89
9	Конденсация паров К4	гор	63	63	27,87		314,3		2433
10	Конденсат в Т-28	гор	105	59	38,45	4,190		44,75	2058
11	Исходная ШФЛУ	хол	20	55	69,80	2,547		49,37	1728
12	Подогрев К1	хол	111	111	175,30		218,5		10640
13	Подогрев К2	хол	109	109	143,10		278,2		11057
14	Подогрев К3	хол	69	69	207,60		314,4		18130
15	Подогрев К4	хол	82	82	25,02		328,8		2285

Для того чтобы синтезировать интегрированную систему теплообмена рассматриваемых процессов построим сеточную диаграмму технологических потоков с указанием локализации пинча. На рисунке 2 представлена сеточная диаграмма для проекта реконструкции теплообменной сети. Тепловая интеграция выполняется за счет создания двух независимых подсистем ниже и выше точки пинча.

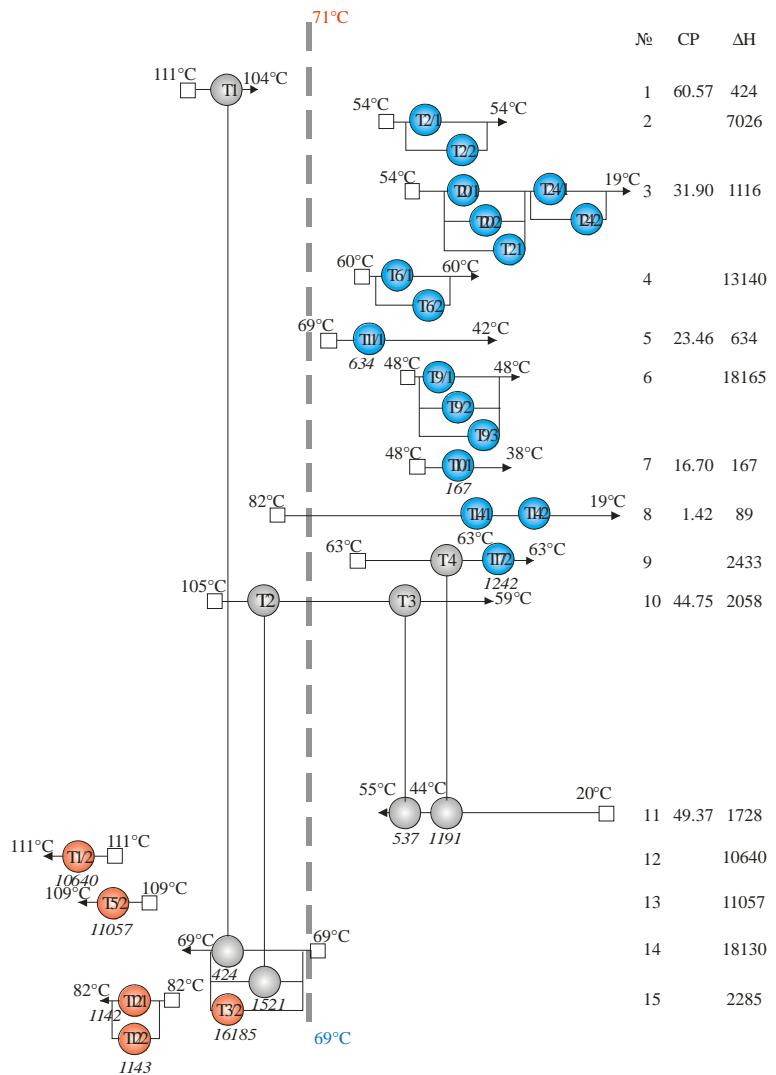


Рис. 2. Сеточная диаграмма предлагаемой сети теплообмена на ЦГФУ:  
 Т – теплообменные аппараты; штриховая линия – локализация пинч-температур;  
 $CP$  – потоковые теплоемкости, кВт/К;  $\Delta H$  – изменение потокового теплосодержания, кВт

Внизу под размещениями теплообменных аппаратов показаны их тепловые нагрузки в кВт. В подсхеме выше пинча холодные потоки находятся в тепловом балансе с горячими потоками и горячими утилитами. Аналогично, в системе ниже точки пинча горячие потоки находятся в тепловом балансе с холодными потоками и холодными утилитами. Для выполнения теплового баланса выше точки пинча, который соответствует составным кривым, горячие потоки 1, 8, 10 должны быть приведены к их целевым температурам за счет теплообмена с холодными потоками. Поток №1 (кубовый остаток К1) охлаждается за счет холодного потока

№14 (подогрев К3) в теплообменнике Т1. Поток №10 (конденсат) должен быть приведен к его целевой температуре 71°C, которая является температурой точки пинча. Для этого потока, входящего в пинч, должно строго соблюдаться правило  $DT_{min}$ . Поток №10 возможно привести к его целевой температуре только за счет теплообмена с потоком №14 (подогрев К3), в теплообменнике Т2. Поток №8 (пентановая фракция) также должен приводиться к его целевой температуре 71°C. Однако, потоковая теплоемкость этого потока составляет всего лишь 1,42 кВт/к.

Для охлаждение данного потока с 82°C до 71°C необходимо 15,62 кВт. Устанавливать теплообменник на столь малую нагрузку нецелесообразно, поскольку это увеличивает капитальные затраты без получения значительной экономии тепловой энергии. В результате охлаждения потока №8 только охлаждающей водой потребление горячих и холодных утилит увеличится на 15,62 кВт. Холодный поток №11 (исходная ШФЛУ) в досистеме ниже пинча приводится к его целевой температуре за счет нагрева горячим потоком №9 (конденсация паров К4) в теплообменнике Т4 и, затем, за счет нагрева потоком №10 (конденсат) в теплообменнике Т3. Краткие характеристики рекуперативных теплообменных аппаратов для системы теплообмена представлены в таблице 2. Утилитный теплообмен в разработанной теплообменной системе осуществляется в существующих аппаратах. Потребление горячих утилит составляет 40167 кВт, а холодных- 41026 кВт. Энергетическая схема представлена на рисунке 3.

Таблица 2  
Основные технические характеристики теплообменных аппаратов

№	Горячий поток			Холодный поток			$\Delta T_{min}$	$Q$ , кВт	$S$ , м <sup>2</sup>
	№	$T_{вх}$	$T_{вых}$	№	$T_{вх}$	$T_{вых}$			
T1	1	111	104	14	69	69	35	424	13,4
T2	10	105	71	14	69	69	2	1521	120,0
T3	10	71	59	11	44	55	2	537	26,6
T4	9	63	63	11	20	44	19	1191	14,9
Всего:								3673	174,9

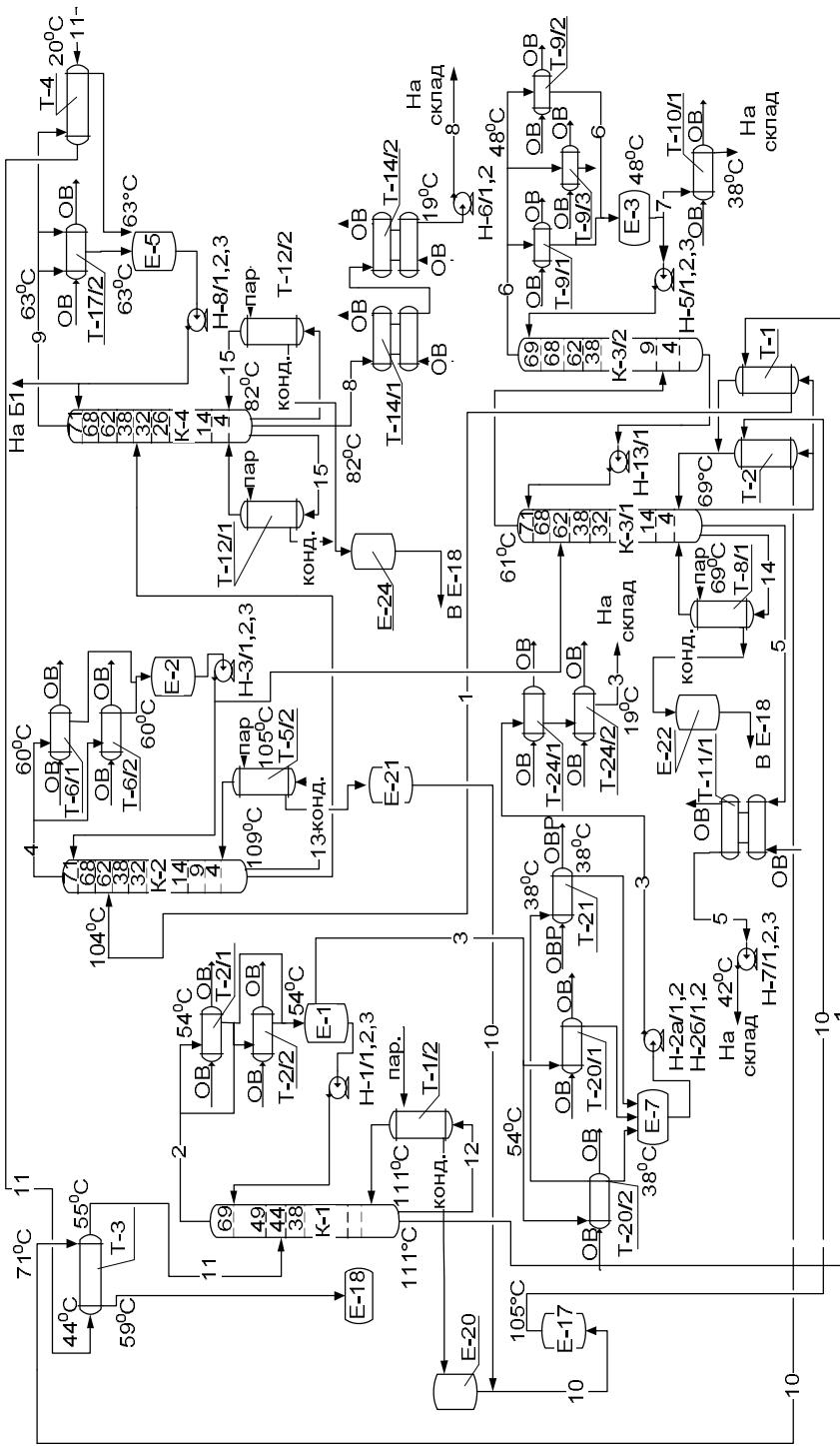


Рис. 3. Принципиальная энергетическая схема для тепловой интеграции.

Цифры на колоннах указывают на номера тарелок; номера потоков указаны в соответствии с таблицей 2; Е – емкость;  
 К-1 – ректификационная колонна выделения этан-пропановой фракции; К-2 – колонна выделения изобутан-бутановой фракции;  
 К-3/1 и К-3/2 – колонна разделения изобутан-бутановой фракции; К-4 – колонна выделения изопентан-пентановой фракции;  
 Н – насос; ОВ – охлаждающая вода; ОВР – охлаждающая вода речная; Т – теплообменные аппараты

Наглядно рассмотреть энергопотенциал реконструированной энерготехнологической схемы и возможную экономию энергии можно с помощью таблицы 3.

Таблица 3.  
Энергопотребление и рекуперация системы теплообмена

	$\Delta T_{\min}$	Горячие утилиты, МВт	Холодные утилиты, МВт	Рекуперация, МВт	Затраты на энергию, долл. США/год
Существующий процесс	42	42,112	42,812	1,728	11729293
Интегрированный процесс	2	40,151	41,026	3,7	11429469
Экономия		1,961	1,786		299823

Используя полученные данные, можно рассчитать затраты на дополнительную теплообменную поверхность, которые приблизительно равны 307 тысячам долл. США. То есть, простой срок окупаемости проекта составляет приблизительно 0,6 года.

**Выводы.** В результате применения пинч-методов получена новая система теплообмена и представлена работоспособная, экономически выгодная энерготехнологическая схема. Получена сравнительная характеристика существующего процесса разделения ШФЛУ и интегрированного процесса. Показано, что экономический потенциал энергосбережения, доступный интеграции процессов, равен 299823 долл. США, что составляет приблизительно 3% стоимости энергии, потребляемой в процессе в настоящее время.

**Список литературы:** 1. Мешалкин В.П., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А. Основы теории ресурсосберегающих интегрированных химико-технологических систем. – Х.: НТУ «ХПИ», 2006. – С. 35-37. 2. Клемеш Й., Костенко Ю.Т., Товажнянский Л.Л., и др. Применение метода пинч-анализа для проектирования энергосберегающих установок нефтепереработки // ТОХТ.1999. Т. 33, №4. С. 420 – 431. 3. Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л.Л. и др. Основы интеграции тепловых процессов. Харьков: ХГПУ. 2000. С. 457. 4. Huang F., Elshout R. Optimizing the Heat Recovery of Crude Units// Chemical Engineering Progress.1976. No. 6. P. 68–74. 5. Elshout R.V., Hohmann E.C.// Chemical Engineering Progress 1979. No. 3. P. 72–77. 6. Kesler M.G. // Hydrocarbon Processing. 1979. No. 7. P. 156-158. 7. Rev E., Fonyo Z. Synthesis of heat exchanger networks // Chem. Eng. Commun. 1982. Vol. 18. P. 97–106. 8. Ульев Л.М., Болдырев С.А., Поливода Е.В. Определение энергосберегающего потенциала разделения ШФЛУ на центральной газофракционирующей установке / Л.М. Ульев, С.А. Болдырев, Е.В. Поливода // ВІСНИК Національного технічного університету «ХПІ». – 2009, Випуск – 40. – С. 21–32.

Поступила в редакцию 02.02.11

**Л.М. УЛЬЄВ**, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»,

**А.О. ГАРЄВ**, аспірант, НТУ «ХПІ»,

**В.М. СОЛОВЕЙ**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»,

**Ю. М. ЯРМОЛЕНКО**, студент, НТУ «ХПІ»

## **ІНТЕГРАЦІЯ АМІАЧНОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ЦИКЛУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

У статті розглядається аміачна холодильна машина як типова для підприємств харчової промисловості. За допомогою методу пінч-проектування показана можливість скорочення потреби пари на 12,66 % та холодних утиліт на 3,61 %

В данной работе рассматривается аммиачная холодильная машина на типичных предприятиях пищевой промышленности. С помощью метода пинч-проектирования показана возможность сокращения потребления пара на 12,66% и потребление холодных утилит на 3,61%

In this work the ammoniac refrigerating machine at typical food industry enterprises is considered. With a help of pinch-designing there is shown an ability of steam reduction by 12.66% and cool utility consumption by 3.61%

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науково-практичними завданнями.** В зв'язку з тим, що енергетичний потенціал України має тенденцію до зниження, ціна на енергносії постійно зростає. Тому підприємства, які були спроектовані в часи низьких цін на енергоресурси, не можуть працювати в значній мірі. Для забезпечення економного використання енергії, більшість підприємств потребує реконструкції із застосуванням ресурсо- і енергозберігаючих методів проектування. Одним із методів скорочення енергозатрат є пінч-аналіз. Відомо, що для реалізації технологічних процесів в хімічній, харчовій і деревообробній промисловості, в технологічних процесах виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції потрібна значна кількість низькопотенціальної теплової енергії. У цих системах тепло- і холодопостачання використовуються, як правило, роздільні схеми отримання теплоти і холоду в автономних котельнях, теплогенераторах, електронагрівачах і холодильних машинах відповідно. При цьому теплота конденсації робочого тіла холодильних машин нерідко розглядається як відходи, що не підлягають утилізації, а спалювання дефіцитного

органічного палива відбувається в низько ефективних котельних або індивідуальних топкових агрегатах і зв'язано із забрудненням навколошнього середовища.

**Постановка завдання.** Зважаючи на те, що більшість з вказаних споживачів теплоти і холоду у багатьох випадках самі є джерелами низько потенціального вторинного тепла, а також та обставина, що часто зустрічається необхідність одночасного виробництва і застосування теплоти і холоду, впровадження високоефективних і екологічно чистих енергоджерел на базі тепло насосних установок (ТНУ) є найбільш актуальним. Виконані розрахункові дослідження і аналіз багатого світового досвіду впровадження і експлуатації ТНУ різного функціонального призначення, підтверджують доцільність їх застосування з метою економії енергоресурсів, комплексного рішення екологічних і соціальних проблем в багатьох галузях економіки [1].

**Принципова технологічна схема аміачної холодильної машини до реконструкції.** Було проведено обстеження аміачної холодильної машини (рис. 1) з метою його подальшої інтеграції для збереження енергозатрат. Приведемо короткий опис технологічних потоків та устаткування аміачної холодильної машини – система включає чотири технологічні потоки. В процесі роботи отримані потокові данні (табл. 1).

Таблиця 1

Потокові данні для визначення конденсації з додатковим компрімуванням

№	Назва потоку	Тип	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг}/\text{с}$	$C, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	$r, \text{кДж}/\text{кг}$	$CP, \text{кВт}/\text{К}$	$\Delta H, \text{кВт}$
1.1	Охолодження газоподібного аміаку	гар	140	31	0,39	1,72		0,67	73,03
1.2	Конденсація аміаку	гар	31	31	0,39		1035		403,65
1.3	Охолодження рідкого аміаку	гар	31	27	0,39	4,05		1,58	6,32
2.1	Охолодження газоподібного аміаку	гар	107	62	0,5	1,72		0,86	38,7
2.2	Конденсація аміаку	гар	62	62	0,5		1050		525
2.3	Охолодження рідкого аміаку	гар	62	59	0,5	4,1		2,05	6,15
3	Вода на деаератор	хол	13	29	4,17	4,19		17,47	279,52
4	Вода на відділення пастеризації	хол	13	67	3,9	4,19		16,34	882,36

Потік пари аміаку з температурою кипіння  $t = -14^{\circ}\text{C}$  та тиском  $P = 0,247 \text{ МПа}$  перегрівається до температури  $t = -7^{\circ}\text{C}$  та поступає в компресорне відділення, де відбувається стиснення пари холодаагенту до 1,2 МПа. Із компресорного відділення аміак з температурою нагнітання 140  $^{\circ}\text{C}$  та тиском 1,2 МПа прямує через масловіддільник в блок конденсаторів.

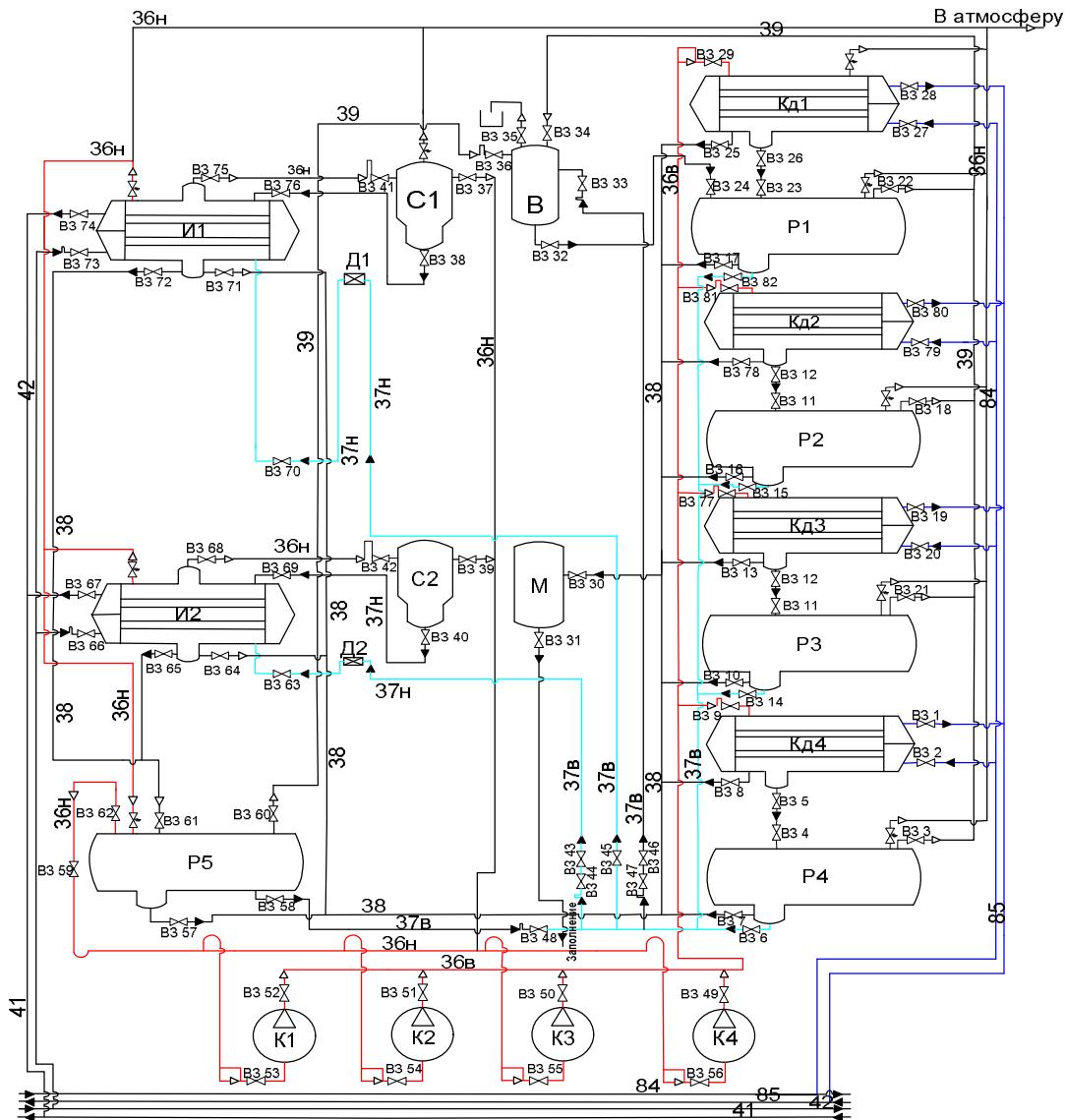


Рис. 1. Технологічна схема аміачної холодильної машини до реконструкції

Умовне позначення середовищ в трубопроводі: 83 – вода зі свердловини; 80 – вода на деаератор; 87 – вода на відділення пастеризації; 84 – вода, оборотна подача; 36в – пари аміаку високого тиску; 36н – пари аміаку низького тиску; 37в – рідкий аміак високого тиску; 37н – рідкий амі-

ак низького тиску; 38 – аміак з маслом; 39 – аміак з повітрям; 85 – вода оборотна (повернення); 41 – холдоносій (подача); 42 – холдоносій (повернення). Позначення обладнання: К 1-4 – компресор; Т 1-7 – теплообмінник; Кд 1-4 – конденсатор; И 1-2 – випарник; С 1-2 – сепаратор; М – маслозбірник; В – повітрявідділитель; Д 1-2 – дросель; ВЗ 1-83 – вентиль зазорний. Пари аміаку конденсуються за рахунок оборотної промислової води. Тепло, яке відводиться від пари холдоагенту, що конденсується, є скидним і не використовується. Далі рідкий аміак, що сконденсувався, з температурою 27 °C та тиском 1,2 МПа поступає по аміакопроводу в лінійний ресивер, де конденсат аміаку охолоджується на 4 °C. Далі рідкий холдоагент проходить через регулюючі вентилі та потрапляє у кожухотрубчастий випарник. Там аміак випарюється і нагрівається за рахунок теплоти охолодження розсолу хлористого кальцію, який потім використовуються в технологічному процесі.

Пари аміаку, що утворилися у випарній системі заводу, через віддільники рідини, циркуляційні ресивери прямують в компресорне відділення холодильного циклу підприємства [3, 4, 5].

**Визначення енергозберігаючого потенціалу.** За допомогою отриманих даних будуємо складові криві для існуючого процесу. (рис. 2), де можемо бачити необхідні утилітні навантаження для обстежуваної системи технологічних потоків [2].

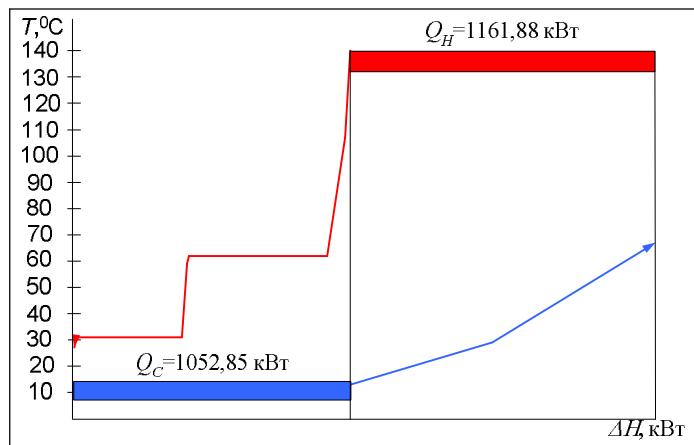


Рис. 2. Спільне зображення гарячої і холодної складових кривих до реконструкції:  
 $Q_C$  – цільове значення холодних утиліт;  $Q_H$  - цільове значення гарячих утиліт

На рис. 3 наведено температурно-ентальпійну діаграму для заданої мінімальної різниці температур  $\Delta T_{\min} = 7$  °C. Область перекриття потоків

уздовж температурної осі визначає значення теплової енергії, яку можна рекуперіровати в даному процесі. В даному випадку можна зберегти 1014,49 кВт енергії, тобто  $Q_{REC}=1014,49$  кВт. Частина холодного потоку, не може бути нагріта за рахунок теплообміну з гарячим потоком та повинна бути нагріта парою. Ця частина потоку являється мінімальним значенням, яке потрібно для гарячих утиліт.  $Q_{Hmin}=147,09$  кВт.

В таблиці 3 розглянуто технологічні потоки процесу у відповідності зі зміною їх температури та зрушення на  $\Delta T_{min}/2 = 3,5$  °C, показані граничні температури зрушених інтервалів та розташування потоків. З таблиці видно, що в деяких зсунених інтервалах спостерігається надлишок теплової енергії, а в інших – її недолік [2].

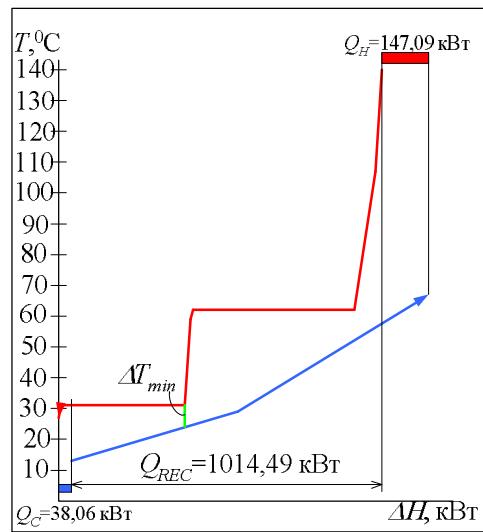


Рис. 3. Спільне зображення гарячої і холодної складових кривих після реконструкції:  
 $Q_C$  – цільове значення холодних утиліт;  $Q_H$  - цільове значення гарячих утиліт;  
 $Q_{REC}$  – максимальна рекуперація теплоти

Частина гарячого потоку, не може бути охолоджена при теплообміні с холодним потоком, та для її охолодження потрібна охолоджуюча вода. Це мінімальне значення холодних утиліт, яке необхідне для задоволення вимогам розрахункового процесу  $Q_{Cmin}=38,06$  кВт. Існує ще один метод, за допомогою якого можна обчислювати цільові енергетичні значення без побудови графіків. Цей метод називається каскадний чи метод табличного алгоритму. Визначимо зрушенні температурні інтервали з реальних температур постачання та цільових температур технологічних потоків процесу. Для цього всі гарячі потоки зрушуємо по температурній осі униз на  $\Delta T_{min}/2$ , а холодні потоки підіймаємо на  $\Delta T_{min}/2$  (табл. 2).

Таблиця 2

Зрушені температури потоків для даних з таблиць

№	Назва потоку	Тип	$T_S, ^\circ\text{C}$	$T_T, ^\circ\text{C}$	$T_{S^*}, ^\circ\text{C}$	$T_{T^*}, ^\circ\text{C}$
1.1	Охолодження газоподібного аміаку	гар	140	31	136,5	25,7
1.2	Конденсація аміаку	гар	31	31	27,5	27,5
1.3	Охолодження рідкого аміаку	гар	31	27	27,5	23,5
2.1	Охолодження газоподібного аміаку	гар	107	62	103,5	58,5
2.2	Конденсація аміаку	гар	62	62	58,5	58,5
2.3	Охолодження рідкого аміаку	гар	62	59	58,5	55,5
3	Вода на деаератор	хол	13	29	16,5	32,5
4	Вода на відділення пастеризації	хол	13	67	16,5	59,5

Розташуємо температурні інтервали уздовж температурної шкали спадаючим униз каскадом, та направимо униз по температурній шкалі надлишок або недолік теплоти від інтервалу до інтервалу. Це можливо, тому що будь-який надлишок теплової енергії, доступної від гарячих потоків в розглянутому інтервалі, має достатню температуру для теплообміну з холодними потоками, які знаходяться на більш низькому температурному інтервалі. На рис. 4 показаний такий каскад для даної задачі [2].

Таблиця 3

Тепловий баланс в температурних інтервалах

Температури на границях інтервалів	Розподіл потоків	$\Delta T$ інтервала, ( $^\circ\text{C}$ )	$\Sigma CP_C - \Sigma CP_H$ (кВт/ $^\circ\text{C}$ )	$\Delta H$ інтервала, (кВт)	надлишок/ недолік
136,5	1 140				
103,5	2 107	33	-0,67	-22,11	надлишок
70,5	74	33	-1,53	-50,49	надлишок
58,5	62	12	14,81	177,72	недолік
58,5	62	55		-525	надлишок
55,5	59	52	13,62	40,86	недолік
32,5	36	29	15,67	360,41	недолік
27,5	31	24	23	33,14	недолік
27,5	K 31	24	5	165,7	
23,5	27	24	24	-403,65	надлишок
23,5	20	20	4	32,23	недолік
16,5	13	13	7	128,92	
	3	4	33,81	236,67	недолік

Побудувавши каскад теплових потоків між температурними інтервалами (рис. 4a), бачимо, що деякі з них негативні, а це неможливо. Теплоту не можна передавати від низьких температур до більш високих. Щоб зробити каскад можливим, необхідно підвищити до першого температурного інтервалу таку кількість теплової енергії, які при каскадуванні

його уніз зробить негативні теплові потоки принаймні рівними нулю.

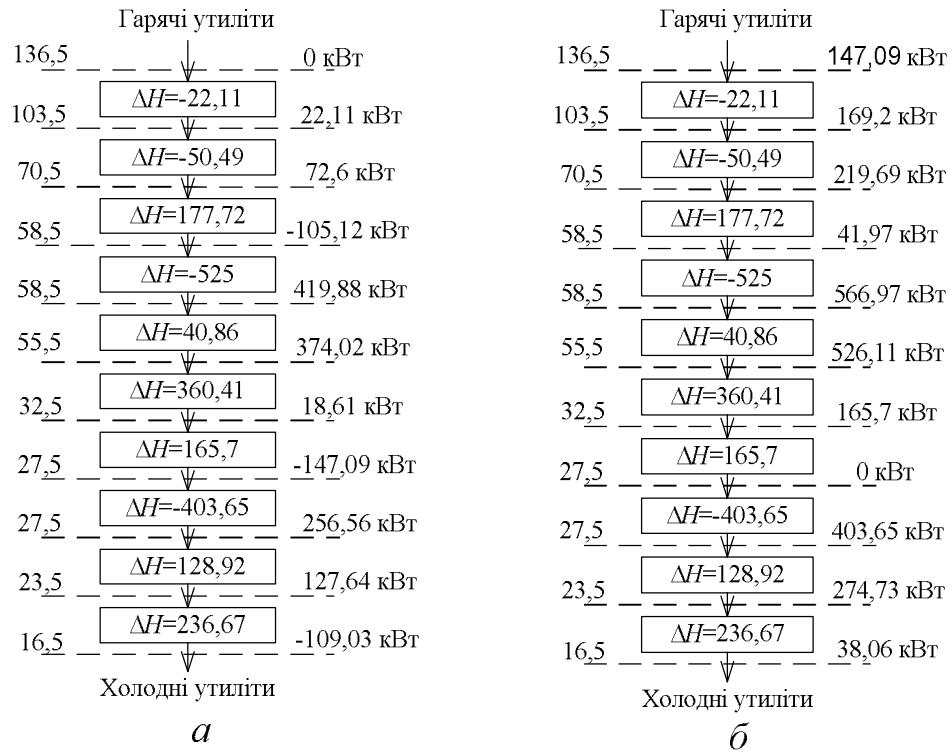


Рис. 4. Каскад табличного алгоритму:

(а) – каскад різних залишків теплоти при нульових гарячих утилітах; (б) – при цільових значеннях гарячих утиліт.  $\Delta H$  – тепловий баланс температурного інтервалу, кВт

Найменше значення теплового навантаження на гарячі утиліти рівне найбільшій негативній величині теплового потоку на рис. 4а, тобто 147,09 кВт. На рис. 4б 147,09 кВт додають першому температурному інтервалу від зовнішніх енергоносіїв. Це не змінює тепловий баланс в межах кожного температурного інтервалу, але збільшує всі теплові потоки між інтервалами на 147,09 кВт, роблячи один з теплових потоків рівним нулю, а саме, тепловий потік між інтервалами з температурною границею, яка дорівнює 27,5 °C. Ця температура є точкою пінча. Таким чином, реальні пінч температури для гарячих і холодних потоків відповідно рівні 31 °C і 24 °C. Ці температури співпадають з результатом, одержаним при побудові складених кривих. На рис. 5 показана точка пінча, яка складає 27,5 °C, температура пінча для холодних потоків 24 °C, та для гарячих 31 °C.

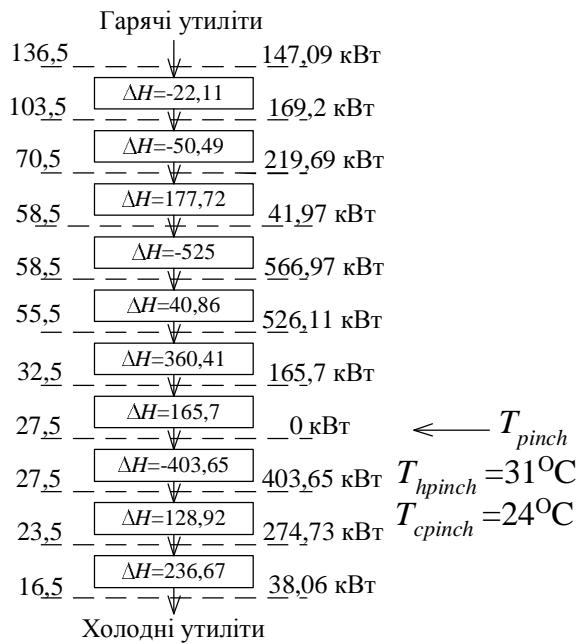


Рис. 5. Результати, отримані за допомогою каскаду теплових потоків

З рис. 5 витікає, що  $Q_{H\min} = 147,09$  kWт,  $Q_{C\min} = 38,06$  kWт. Ці значення також узгоджуються з величинами, одержаними нами при побудові складових кривих на рисунку 3 [6].

**Висновки.** Для мінімізації енергоспоживання аміачної холодильної машини – проведено пінч-аналіз, який полягає в побудові складових кривих, та каскадного методу для визначення цільових значень холодних та гарячих утиліт. В результаті розраховано, що створення рекуперативної системи установки за пропонованою схемою дозволить знизити потужність гарячих утиліт, що споживається процесом з 1161,88 до 147,09 kWт, та потужність холодних з 1052,85 – до 38,06 kWт.

**Список літератури:** 1. Свердлов Г. З. Курсовые и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха / Г. З. Свердлов, Б. К. Явнель – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 264с. 2. Основы интеграции тепловых процессов / [Р. Смит, Й. Клемеш, Л. Л. Товажнянский и др.]. – Харьков.: НТУ «ХПІ», 2000. – 256с. 3. Касаткин А. Г. Основні процесси й апарати хімічної технології / Касаткин А. Г. – М.: Вища школа, 1982. – 784с. 4. Основные процессы и аппараты химической технологии / [Борисов Г. С., Брыков В. П., Каган С. З. и др.], под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496с. 5. Интеграция многоциклического аммиачного охлаждения сыро-молочного завода / Л. Л. Товажнянский, П. А. Капустенко, Л. М. Ульев [и др.] // Интегровані технології та ресурсозбереження. Харьков, 2005. – №7. – С. 4-12. 6. Интеграция цикла аммиачного охлаждения в теплосети сыро-молочного завода / Л. Л. Товажнянский, П. А. Капустенко, Л. М. Ульев [и др.] // Интегровані технології та енергозбереження. Харьков, 2005. – №2. – С. 92 – 100.

Надійшла до редколегії 04.05.11

**A.B. ЕФИМОВ**, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,  
**А.Л. ГОНЧАРЕНКО**, асистент, НТУ «ХПИ»,  
**Т.А. ГАРКУША**, н. сотр., НТУ «ХПИ»

## АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Показано, что в умовах постійного зростання цін на природний газ й недостатнього фінансування та інвестицій в розвиток систем теплопостачання, а також наявність великого енергозберегаючого потенціалу на підприємствах комунальної теплоенергетики застосування автономних джерел теплоти конденсаційного типу є актуальним й своєчасним

Показано, что в условиях постоянного роста цен на природный газ и недостаточного финансирования и инвестиций в развитие систем теплоснабжения, а также наличия большого энергосберегающего потенциала на предприятиях коммунальной теплоэнергетики применение автономных источников теплоты конденсационного типа является актуальным и своевременным

The positive role of heat sources of condensing type in energy saving for municipal energy systems is discussed taking into account the gas prices increasing and lack of investments

В соответствии с основными положениями концепции Национальной стратегии теплообеспечения населенных пунктов Украины и стратегии коммунальной электроэнергетики Украины на период до 2030 г. ситуация в сфере жилищно-коммунального хозяйства характеризуется как напряженная и даже критическая [1, 2]. Связано это с дефицитностью и дороговизной природного газа и низкой эффективностью производства теплоты с помощью большого количества морально и физически устаревших котлов небольшой мощности типа «Универсал», НИИСТУ-5 и т.п., КПД которых не превышает 60-80 % [2, 3]. Перспективным направлением технического перевооружения систем теплоснабжения является вывод из эксплуатации нерентабельных котельных, внедрение автономных источников теплоснабжения и воплощение программы децентрализации теплоснабжения [1, 2]. В последние годы в Украине наблюдается увеличение доли децентрализованных систем теплоснабжения и горячего водоснабжения [3, 4]. Это обусловлено тем, что, как указывается в [3], существенно возросла стоимость энергетических услуг, предоставляемых предприятиями централизованного теплоснабжения, что, в свою

очередь, связано с удорожанием дефицитных видов топлива, таких как природный газ и мазут. В этих условиях индивидуальное теплоснабжение является экономически более выгодным и поэтому привлекательным. Как правило, автономные системы теплоснабжения и горячего водоснабжения внедряются на промышленных предприятиях относительно небольшой мощности: в агропромышленном комплексе, в пищевой промышленности, в торговых центрах, в больницах, в административных зданиях и офисах, в индивидуальных жилых постройках и т.п., где для технологических целей требуются пар и вода различных параметров.

В качестве источников генерации пара и горячей воды применяются паровые и водогрейные котлы небольшой производительности как отечественного, так и зарубежного производства, которые работают на природном газе и устанавливаются непосредственно в зоне их эксплуатации. Экономический эффект от внедрения децентрализованного теплоснабжения может быть достаточно весомым, так как нет необходимости в строительстве здания котельной; из-за отсутствия протяженных тепло-трасс практически исключаются потери теплоты в окружающую среду; существенно уменьшаются капитальные затраты на оборудование и его монтаж; повышаются возможности ведения оптимальных режимов эксплуатации; растет уровень безотказности и надежности систем теплоснабжения. Например, в среднем в Украине, только из-за аварийного состояния устаревших конструкций трубопроводов, расположенных в бетонных каналах, и их тепловой минераловатной изоляции в системах централизованного теплоснабжения теряется около 30 % вырабатываемой теплоты [3]. В то же время себестоимость теплоты, вырабатываемой в автономной системе теплоснабжения, в 1,5÷1,6 раза меньше по сравнению с централизованной [5]. В связи с повышенным интересом к автономным системам теплоснабжения в Украине, России, Белоруссии и в других странах СНГ появилось большое количество фирм, производящих водогрейные котлы мощностью 50-1200 кВт (в основном газотрубные), паровые котлы паропроизводительностью 1-5 т/ч, водонагреватели различной теплопроизводительности. Коэффициент полезного действия таких котлов, рассчитанный по низшей теплоте сгорания топлива, не превышает 89-92 %. В котлах, использующих в качестве топлива природный газ и мазут, температура уходящих продуктов сгорания топлива

составляет 150-230 °С. В связи с этим КПД котла определяется практически величиной потерь теплоты с уходящими газами, которая достигает 7-10 %. По данным, приведенным в [6], автономные генераторы теплоты покрывают порядка 17 % потребности России в паре и горячей воде. В [3] сообщается, что индивидуальные котлы и котельные предприятия Украины потребляют более 30 % топлива, расходуемого на теплоизнабжение, горячее водоснабжение и технологические нужды.

В соответствии с вышеизложенным, в условиях постоянного роста цен на топливо, недостаточного финансирования и ограниченных инвестиций в развитие систем теплоснабжения важным и актуальным звеном государственной стратегической политики становится энергосбережение, основным направлением которого является экономия топливно-энергетических ресурсов. Зарубежный опыт показывает, что замена небольших отопительных котлов традиционного типа на конденсационные котлы в системе индивидуального теплоснабжения позволяет снизить стоимость отопления почти на 30 % [3], применение автономных конденсационных водонагревателей, по мнению авторов [3] дает возможность уменьшить стоимость вырабатываемой теплоты в 2÷3 раза по сравнению с централизованной системой теплоснабжения. Поэтому, одним из решений задач энергосбережения является модернизация и реконструкция существующих котлов путем их перевода в конденсационные. Во многих публикациях, например, в [3, 7–9], отмечается, что глубокая утилизация теплоты уходящих из котлов газов за счет их охлаждения до температур 30-40 °С (ниже точки росы), позволяет на 10-15 % снизить расход топлива при относительно небольших капитальных затратах на модернизацию. Реализация идеи глубокой утилизации теплоты уходящих газов осуществляется с помощью различных теплотехнологических схем, предусматривающих использование конденсационных котлов, контактных теплообменных аппаратов (ТА), ТА поверхностного типа, ТА с тепловыми трубами и термосифонами, ТА с промежуточными теплоносителями, водонагревателей конденсационного типа и др. При этом основными требованиями, предъявляемыми к ним, являются: простота конструкции, низкая материалоемкость, дешевизна материалов и теплоносителей, компактность (в связи с отсутствием, как правило, площадей в котельных для размещения дополнительного оборудования), высокое каче-

ство нагреваемой воды с точки зрения ее использования потребителями, небольшие капитальные и эксплуатационные затраты, небольшой срок окупаемости, надежность и долговечность и т.п.

Учитывая это, авторы работы [9] предложили теплоутилизационную систему, в состав которой входят: котел, конденсационный воздухоподогреватель (КВП) и конденсационный теплообменный аппарат (КТА) для нагрева воды, используемой в системе горячего водоснабжения. Нагрев воздуха, подаваемого в горелочные устройства котла и в газоотводящий тракт для его защиты от коррозии, осуществляется в КВП, в котором с целью обеспечения высокой компактности применяется промежуточный шарообразный теплоноситель, обладающий высокой удельной поверхностью теплообмена. Нагрев воды осуществляется за счет низкопотенциальной теплоты, выделяющейся при конденсации водяных паров из дымовых газов. В этих условиях наиболее приемлемым вариантом теплообменной поверхности являются оребренные трубные пучки с антикоррозионной защитой. Так как коэффициенты теплопередачи при конденсации водяных паров из продуктов сгорания могут достигать 160-220 Вт/м<sup>2</sup>К, это позволяет обеспечить относительно низкие массогабаритные характеристики КТА. Применение предлагаемой теплоутилизационной системы в процессе модернизации котельных установок позволяет осуществить экономию природного газа на 12–15 % [9].

В качестве примера, подтверждающего целесообразность применения данного варианта глубокой утилизации теплоты уходящих газов, на кафедре парогенераторостроения НТУ «ХПИ» разработана теплоутилизационная система на базе парового котла Е-1,0-0,9 Г3, работающего на природном газе и не имеющего в своем составе воздухоподогревателя. Котел вырабатывает насыщенный пар в количестве 0,278 кг/с (1 т/ч), который используется для технологических нужд. В соответствии с тепловым расчетом котла температура уходящих газов составляет 200 °С и поэтому КПД котла, рассчитанный по низшей теплоте сгорания топлива, не превышает 88,73 %, т.к. потеря теплоты с уходящими газами высока (8,77 %). С целью снижения потери  $q_2$  предлагается снизить температуру уходящих газов до 35 °С, используя в качестве охлаждающих сред воздух и воду с температурой 10 °С. Выполненный тепловой расчет системы «котел-КВП-КТА» подтверждает высокую эффективность глубокой

утилизации теплоты уходящих газов: КПД системы составляет 103,67 % (расчет осуществлен по низшей теплоте сгорания топлива), т.е. повышается на 14,94 %. Это дает возможность получить экономию топлива на 14.46 %. При сохранении расхода топлива на неизменном уровне количество полезно используемой теплоты увеличивается с 736,2 кВт в котле до 860,3 кВт в системе. В системе осуществляется нагрев воздуха от 10 °С до 173,2 °С расходом 0,3696 кг/с, который используется для подачи в топку котла с целью интенсификации процесса горения топлива и для повышения температуры уходящих из системы газов с целью защиты газоотводящего тракта от коррозии и разрушения.

Также система позволяет получить дополнительную продукцию в виде горячей воды расходом 0,4455 кг/с (1603,8 кг/ч) и температурой 49 °С. Кроме этого, конденсат расходом 0,029384 кг/с (105,8 кг/ч) после его дегазации может быть использован в качестве подпитки котла или системы теплоснабжения, снижая, тем самым, затраты на водоподготовку. В случае необходимости повышения температуры воды до 65 °С можно использовать насыщенный пар из котла в количестве 0,012 кг/с (4,3 % выработки пара). Аналогичные результаты получены для системы, созданной на основе водогрейного котла ТПВ-200.

#### **Выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления.**

1. Применение автономных источников теплоты позволяет существенно снизить затраты на теплоснабжение населенных пунктов по сравнению с централизованным теплоснабжением.

2. При решении задач энергосбережения путем модернизации и реконструкции существующих котлов высокоеффективной является технология глубокой утилизации теплоты уходящих дымовых газов.

**Список литературы:** 1. Долінський А.А. Основні положення концепції Національної стратегії тепло забезпечення населених пунктів України / А.А. Долінський, Б.І. Басок, С.Т. Базеев, Г.П. Кучин // Промышленная теплотехника. – 2009. – т. 31. – № 4. – С. 68–77. 2. Покровский Л.Л. Стратегия коммунальной электротеплоэнергетики Украины на период до 2030 года / Л.Л. Покровский, Г.М. Семчук, П.Ю. Зембцик // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 9. С. 5–19. 3. Сезоненко Б.Д. Децентралізоване виробництво теплової енергії та розробка енергоєфективних водонагрівачів для його реалізації / Б.Д. Сезоненко, В.Ю. Нікітін, О.Б. Сезоненко та ін. // Екотехнологии и ресурсосбережение. – 1999. – № 3. – С. 30–36. 4. Марченко Г.С. Котлы средней мощности для автономных систем теплоснабжения / Г.С. Марченко // Эколо-

гия и ресурсосбережение. – 1999. – № 3. – С. 112–116. 5. Новгородский Е.Е., Мишинер Й. и др. Экономическая и экологическая оценка применения автономных систем энергосбережения / Е.Е. Новгородский, Й. Мишинер // Энергосбережение и водоподготовка. – 2002. – № 3.– С. 89. 6. Ковылянский Я.А. Развитие теплофикации в России / Я.А. Ковылянский // Теплоэнергетика. – 2000. – № 12. – С. 7–10. 7. Басин Г.Л. Конденсационные отопительные котлы / Г.Л. Басин. // Водоснабжение и сантехника. – 1987. – № 10. – С. 25–27. 8. Ефимов А.В. Повышение экономичности водогрейных газомазутных котлов ОАО “Дорогобужкотломаш” / А.В. Ефимов, К.Э. Цымбал, Л.В. Гончаренко и др. // Сб. ХГПУ Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. – 1999. – Вып. 7. – Ч. 3. – С. 25–28. 9. Ефимов А.В. Математическая модель системы «котел–теплоутилизатор» / А.В. Ефимов, А.Л. Гончаренко. // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ «ХПИ», – 2010. – № 21. – С.76–87.

*Поступила в редакцию 07.06.11*

УДК 658.28:665.63:338.44

**Л.М. УЛЬЕВ**, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,  
**А.П. ЮЗБАШЬЯН**, студентка, НТУ «ХПИ»

## **ЭКСТРАКЦИЯ ПОТОКОВЫХ ДАННЫХ НА УСТАНОВКЕ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ НА АВТ А12/2 ПРИ РЕЖИМЕ РАБОТЫ С ВАКУУМНЫМ БЛОКОМ**

Мета даної роботи полягає вдослідженні роботи атмосферної колони К-1 установки первинної переробки нафти АВТ А12/2 і визначення потоків, які можуть бути використані для інтеграції. Актуальність теми обумовленатаим, що зростання цін на енергію спонукає економніше використовувати енергоресурси, тому що рівень енерговитрат в значній мірі впливає на собівартість готової продукції

Цель статьи заключается в исследовании работы атмосферной колонны К-1 установки первичной переработки нефти АВТ А12/2 и определении потоков, которые могут быть использованы для интеграции. Актуальность темы обусловлена тем, что рост цен на энергию побуждает экономнее использовать энергоресурсы, так как уровень энергозатрат в значительной мере влияет на себестоимость готовой продукции

The aim of this project is to study the work of the atmospheric column K-1 units for primary refining AVT A12/2 and the definition of threads that can be used for integration. Relevance of the topic due to the fact that rising energy prices encourage more economical use of energy, as the level of energy consumption is largely influenced by the cost of finished goods

**Постановка задачи.** Сокращение потребления топливно-энергетических ресурсов в промышленности сопряжено с широкомасштабной реализацией современных энергосберегающих технологий, созданием высокоэффективных энерготехнологических комплексов. Хотя этот вопрос далеко не нов для нефтехимической промышленности, в последнее десятилетие добавились два фактора, которые придали особое

значение экономии энергии в странах СНГ и вынуждают расширять диапазон используемых для этой цели методов и средств [1]. Во-первых, рост цен на энергию побуждает более экономно использовать энергоресурсы с тем, чтобы уменьшить общие затраты. Более того, все предприятия, спроектированные и построенные во времена низких цен на энергоносители, в настоящее время работают далеко не в оптимальном режиме с точки зрения потребления энергии. Во-вторых, значительно уменьшились темпы роста производства, а это означает, что уменьшились возможности введения в строй новых заводов и освоения новых технологических процессов, и внимание направляется все больше в сторону повышения эффективности использования существующего оборудования.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Выпуск разнообразной продукции на нефтепереработки зависит во многом от качества сырья – нефти. Но немалую роль в качестве получаемых продуктов играет как выбор технологических процессов переработки, так и качество проведения каждого процесса. Установки первичной переработки нефти составляют основу всех НПЗ. На нихрабатываются практически все компоненты моторных топлив, смазочных масел, сырья для вторичных процессов и для нефтехимических производств. От работы АВТ (атмосферно-вакуумная трубчатка) зависят выход и качество компонентов топлив и смазочных масел и технико-экономический показатель последующих процессов переработки нефтяного сырья. Проблемам повышения эффективности работы и интенсификации установок АВТ всегда уделялось и уделяется серьезное внимание. Нефтепереработка и нефтехимия являются энергоемкими производствами, и уровень энергозатрат в значительной степени влияет на себестоимость готовой продукции. В зависимости от глубины переработки нефти, ее состава, ассортимента и качества целевых продуктов, технического уровня оборудования и других факторов расход энергии на собственные нужды нефтеперерабатывающих заводов эквивалентен 6–10 % перерабатываемой нефти [2]. Из общего количества потребляемой энергии 55–65 % приходится на долю технологического топлива, 30–35% – на тепловую и 8–12% – на электрическую энергию. Атмосферно-вакуумной перегонке подвергается вся поступающая на нефтеперерабатывающий завод нефть, и расходуется около 50 % суммарных энергозатрат [3].

**Изложение основного материала.** На современных зарубежных нефтеперерабатывающих заводах энергетические затраты составляют 3000–3500 МДж или 100–114 кг условного топлива на 1 т перерабатываемой нефти. Приблизительно такие же затраты топлива и на НПЗ стран СНГ, но при значительно меньшей глубине переработки нефти [4]. С увеличением глубины переработки и расширением нефтехимических производств энергетические затраты возрастают, и экономия энергоресурсов приобретает все большее значение. Основными путями повышения конкурентоспособности отечественной нефтепереработки и нефтехимии являются увеличение глубины переработки нефти и существенное снижение энергоемкости всех процессов [5]. Снижение удельного энергопотребления достигается путем модернизации отдельных систем производства, установок и заводов в целом, рационализации и совершенствования производственных операций [6]. Деятельность специалистов нефте- и газодобывающей, а также перерабатывающей промышленности направлена на усовершенствование технологического процесса и получение достоверных предсказаний параметров. Перед инженерами стоит задача нахождения оптимального способа осуществления технологического процесса в сжатые сроки и с минимальной вероятностью допущения ошибок [7]. Кроме того, решения, принимаемые технологами, должны соответствовать поставленным бизнес - целям и в тоже время обеспечивать эффективность, безопасность и рентабельность работы предприятия [8]. В данной работе рассматривается процесс первичной переработки нефти на установке АВТ А12/2 в режиме работы с вакуумным блоком. На сегодняшний день данная установка является наиболее используемой в современной промышленности [9]. Установка АВТ А12/2 включает в себя стадии обессоливания, обезвоживания, отбензинивания нефти, разделения нефтегазовых смесей на отдельные фракции (рис. 1) [10]. Для экстракции данных технологических потоков в исследуемом процессе, т.е. таких, как расходы, температуры потоков, их теплофизические параметры использовались: регламент установки, данные центральной заводской лаборатории, прямые измерения параметров. Схема процесса первичной переработки нефти на установке АВТ А12/2 в режиме работы с вакуумным блоком представлена на рис. 1.

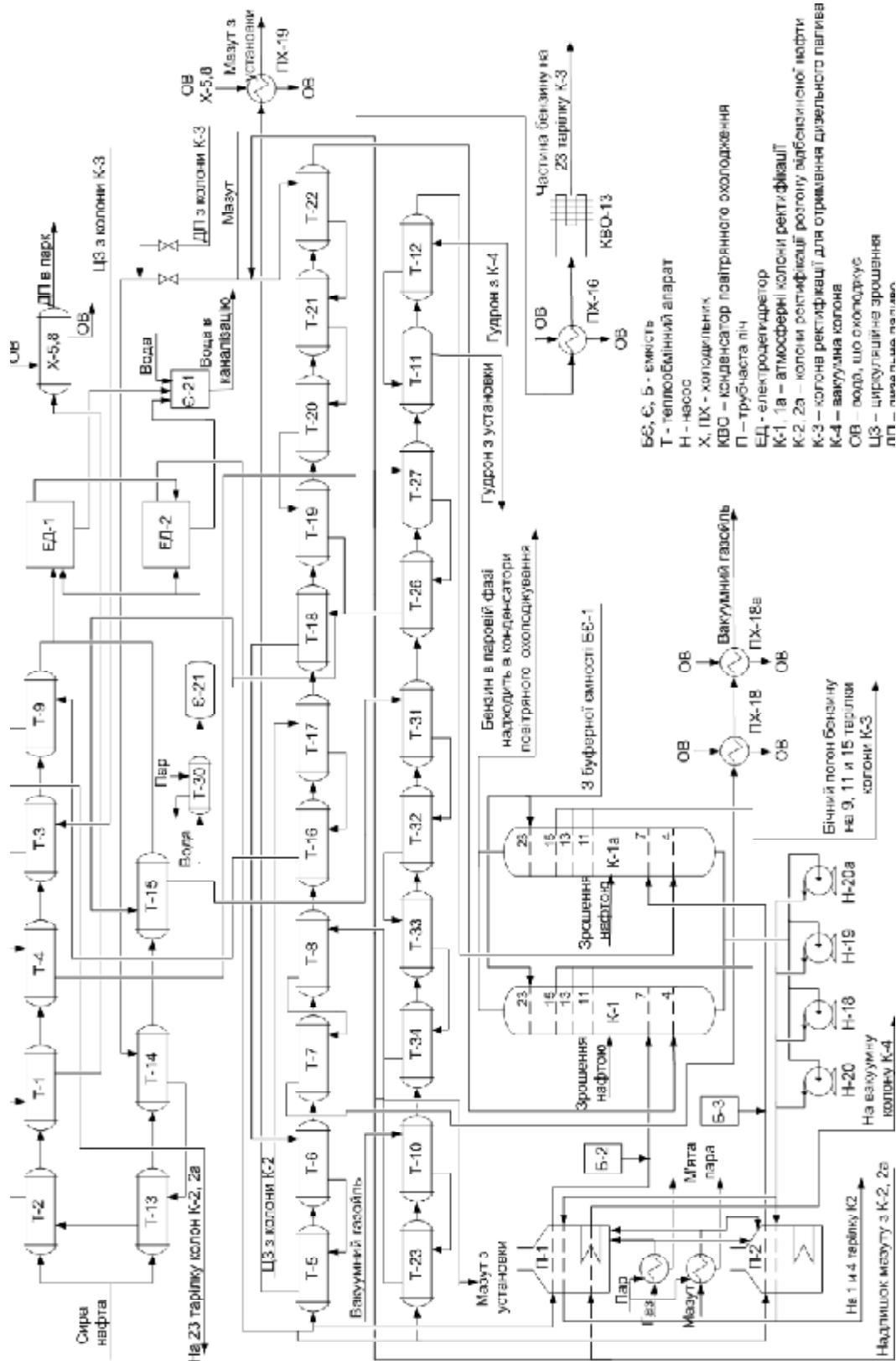


Рис. 1 – Часть существующей схемы установки переработки нефти АВТ А12/2 при работе с вакуумным блоком

Сырая нефть из резервуаров емкостью по 20 тыс. м<sup>3</sup> каждый по трубопроводу подается насосами под давлением 0,2-1,0 МПа (2-10 кгс/м<sup>2</sup>) на прием сырьевых насосов (один рабочий, два резервных с температурой 20-25 °C).

После насосов нефть двумя потоками, через теплообменники направляется в электродегидратор первой степени ЭД-1. Первый поток подогревается в теплообменниках Т-1, Т-2, Т-3, Т-4, Т-9. Второй поток - в теплообменниках Т-13, Т-14, Т-15. В качестве горячих теплоносителей используются продукты раздела с ректификационных колонн.

Нефть нагревается в теплообменниках до t=80-160°C. Перед поступлением в ЭД-1 нефть проходит смеситель, где происходит интенсивное смещивание нефти с водой и раствором деэмульгатора. Вода в ЭД-1 подается насосами. В ЭД-1 нагретая нефть вводится через маточки, создающие равномерный поток в электрическом поле снизу вверх. В ЭД-1 благодаря полю высокого напряжения происходит частичное разрушение эмульсии и отделения нефти от воды.

Частично обессоленная и обезвоженная нефть с верха ЭД-1 через смеситель направляется в электродегидратор второй степени Е-2. В смесителе происходит смещение нефти с водным раствором деэмульгаторов и водой, подаваемой насосами. Есть возможность предварительно нагреть воду в паровом подогреватели Т-30 до t = 80 °C.

В ЭД-2 нефть также вводится через маточки. Нефть, захваченная солевым раствором, отстает в ловушке, расположенной в верхней части Е-21, откуда поступает на прием сырьевых насосов.

Предварительно охлажденный солевой раствор с Е-21 под давлением системы сбрасывается в канализацию. После электродегидратора второй степени ЭД-2 обессоленная и обезвоженная нефть поступает в колонны К-1, 1а двумя потоками. Первый поток: Часть нефти идет в нижней подогреватель (НП) печи П-2, где нагревается до t = 200-240 °C, вторая часть этого потока проходит теплообменники Т-23, Т-10, Т-34, Т-33, Т-32, Т-31, Т-26, Т-27, Т-11, Т-12.

Нефть нагревается в теплообменниках до t = 180-240 °C, обе части потока смешиваются и поступают в колонну К-1а. Второй поток: Часть нефти поступает в нижний подогреватель печи П-1, где нагревается до t = 200-240 °C. Вторая часть этого потока проходит теплообменники Т-5,

T-6, T-7, T-8, T-16, T-17, T-18, T-19, T-20, T-21, T-22. Нефть после нагревается до  $t = 180\text{--}230$  ° С, обе части потока смешиваются и поступают в К-1. Часть отбензиненной нефти из К-1, К-1а через АЗВЧП и верхний подогреватель (ВП) П-1, П-2 направляется в К-1, К-1а, как горячая струя. В потоке нефти перед К-1, К-1а подается 1-2% раствор кальцинированной и каустической соды для подавления коррозии аппаратуры и трубопроводов.

В атмосферных колоннах К-1, К-1а происходит отбензиневание нефти. Бензин в паровой фазе по шлемовым трубам поступает в конденсаторы воздушного охлаждения, а далее поступает в буферную емкость БЕ-1. Для поддержания заданной температуры верха К-1, К-1а на 23 тарелку подается острое орошение с линии откачки бензина в парк. Температура входа острого орошения в колонну К-1, К-1а 40-60 °С.

С позиций 11, 13, 15 тарелок К-1, К-1а выводится боковой погон фракции бензина, который самотеком поступает в холодильник, а дальше на колонну К-3. Отбензиненная нефть снизу К-1, 1а с  $t=200\text{--}250$  °С поступает на прием печных насосов (Н-18, Н-19, Н-20, Н-20а) и подается в змеевики печей П-1, П- 2, после чего поступает в колонн К-2, К-2а. Отбензиненная нефть снизу К-1, 1а с  $t=200\text{--}250$  °С поступает на прием печных насосов (Н-18, Н-19, Н-20, Н-20а) и подается в змеевики печей П-1, П- 2, после чего поступает в колонн К-2, К-2а.

Фракция бензина и дизельного топлива с отпарной колонны К-5/1, прокачивается через теплообменники циркуляционного орошения Т-16, Т-17, Т-9 и поступает на колонны К-2, К-2а. Фракция бензина с К-3 прокачивается через Т-3, Т-4 и далее поступает на К-3. Дизельное топливо с низу К-3 прокачивается через теплообменники Т-14, Т-13, Т-2, Т-1 и холодильники Х-5, 8 и с  $t=60$  °С направляется в парк.

Избыток мазута с К-2, К-2а откачивается насосами через теплообменники Т-27, Т-26, Т-15, Т-31, Т-32, Т-33, Т-34 и через Т-22, Т-21, Т-20, Т-19, Т-18, Т-6, Т-5, холодильник ПХ-19 в резервуарные парки.

Сбор данных необходимых для расчета материального и теплового балансов, осуществлялся путем прямых измерений температур и расходов потоков на оборудование с помощью расходомеров, стационарных и переносных термометров (табл. 1). Значения технологических параметров являются строго заданными.

Таблица 1.

Система потоков для анализа энергопотребления установки переработки нефти АВТ А12/2

№ потока	Название потока	Тип	$T_S, ^\circ C$	$T_T, ^\circ C$	G, т/час	C, кДж/(кг·К)	CP, кВт/К	$\Delta H, \text{кВт}$	$\alpha, \text{кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
1	Дизельное топливо	гор	229	200	71,11	2,70	68,29	1980,41	0,2
		гор	200	100	71,11	2,42	58,81	5881	0,2
		гор	100	58	71,11	2,10	51,76	2173,92	0,2
2	Циркуляционное орошение К-3	гор	165	74	75,79	2,11	55,87	5084,17	0,15
3	Циркуляционное орошения К-2,2а	гор	240	144	30,73	2,11	29,85	2865,6	0,15
4	Мазут	гор	312	300	79,79	2,90	89,94	1079,28	0,15
		гор	300	250	79,79	2,71	81,41	4070,5	0,15
		гор	250	200	79,79	2,54	73,74	3687	0,15
		гор	200	150	79,79	2,36	65,87	3293,5	0,15
		гор	150	90	79,79	2,17	57,37	3442,2	0,15
5	Охлаждение вакуумного газоилья	гор	300	200	43,96	2,54	42,74	4274	0,15
		гор	200	150	43,96	2,36	36,29	1814,5	0,15
		гор	150	68	43,96	2,17	30,66	2514,12	0,15
6	Гудрон	гор	336	250	9,33	2,70	9,63	828,18	0,10
7	Сырая нефть	хол	10	50	250,85	1,95	142,5 5	5702	0,1
		хол	50	118	250,85	2,10	170,2 2	11574,9 6	0,1
8	Обессоленная нефть	хол	112	150	248,34	2,28	192,1 7	7302,46	0,15
		хол	150	200	248,34	2,47	214,4 0	10720	0,15
		хол	200	214	248,34	2,65	231,3 6	3239,04	0,15

**Обозначения.** АВТ – атмосферно-вакуумная трубчатка; НПЗ – нефтеперерабатывающий завод; К-1 – колона атмосферной перегонки; К-2 – колона ректификации разгона отбензиненной нефти; К-3 – колонна ректификации для получения дизельного топлива; К-4 – вакуумная колонна; ЭД – электродегидратор; НП – нижний подогреватель; ВП – верхний подогреватель;  $T_S$  – начальная температура потока,  $^\circ C$ ;  $T_T$  – конечная температура потока,  $^\circ C$ ; G – массовый расход, кг/с; С – удельная теплоемкость, кДж/(кг·К); CP – потоковая теплоемкость, кВт/К;  $\Delta H$  – потоковая теплоемкость, кВт;  $\alpha$  – характерный коэффициент теплоотдачи,  $\text{кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

**Выводы.** Изучив процесс переработки нефти на установке АВТ А12/2 была составлена таблица потоковых данных, которая является цифровым образом процесса и в дальнейшем будет служить основой для интеграции существующего процесса переработки нефти. Построения составных кривых и расчета энергоэффективности установки.

**Список литературы:** 1. Степанов А.В. Рациональное использование сырьевых и энергетических ресурсов при переработке углеводородов / А.В. Степанов, Н.И. Сульжик, В.С. Горюнов. – Киев: Техника. 1989.- 170 с. 2. Клименко В.Л. Энергоресурсы нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / В.Л. Клименко, Ю.В. Костерин. Л.: Химия. 1985. – 256 с. 3. Гуревич И.Л. Технология переработки нефти и газа. Общие свойства и первичные методы переработки нефти и газа / И.Л. Гуревич. М.: Химия. 1972. – 460 с. 4. Уильям Д. Леффлер. Переработка нефти / Уильям Д. Леффлер. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес». 2004. – 223 с. 5. Рудин М.Г. Карманный справочник нефтепереработчика / М.Г. Рудин. Л.: Химия. 1989. – 464 с. 6. Дец М.М. Заходи щодо підвищення ефективності і конкурентоздатності української нафтопереробки / М.М. Дец // Нафтова і газова промисловість. – 1997. – №5. – С.42-44. 7. Скляр В. Т. Необходимость и условия развития нефтеперерабатывающей промышленности Украины / В.Т. Скляр, А.В. Степанов, П.И. Ковалчак // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1996. – №3. – С. 65-69. 8. Т. Нацюо. Многоотраслевой комплекс объединяет нефтепереработку с энергетической и строительной промышленностью / Т. Нацюо, Т. Йаги // Нефтегазовые технологии. – 2004. – №3. – С. 79-82. 9. Багиров И.Т. Современные установки первичной переработки нефти / И.Т. Багиров. М.: Химия. 1974. – 240 с. 10. Эмирджанов Р.Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии / Р.Т. Эмирджанов, Р.А. Лемберанский. – М.: Химия, 1989. – 191с.

Поступила в редакцию 06.06.11

УДК 66.045.7

**Л.М. УЛЬЄВ**, докт., техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»,  
**С.О. БОЛДИРЄВ**, канд., техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»,  
**М. А. ВАСИЛЬЄВ**, студент, НТУ «ХПІ»

## **ЕКОНОМІЧНО ОБГРУНТОВАНА ТЕПЛОВА ІНТЕГРАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ КОКСОВОГО ГАЗУ ВІД БЕНЗОЛЬНИХ ВУГЛЕВОДНІВ**

В работе рассмотрена возможность улучшения тепловой интеграции в процессе очистки коксового газа от бензольных углеводородов. Определено оптимальное значение минимального температурного напора на теплообменном оборудовании. Разработан проект реконструкции теплообменной системы. В результате внедрения проекта реконструкции потребление тепловой энергии и охлаждающей воды может быть сокращено на 45 и 20% соответственно. Срок окупаемости составляет 11 месяцев

У роботі розглянуто можливість покращення теплової інтеграції в процесі очистки коксового газу від бензольних вуглеводнів. Визначено оптимальне значення мінімального температурного напору на теплообмінному обладнанні. Розроблено проект реконструкції теплообмінної системи. У разі впровадження проекту реконструкції споживання теплової енергії та охолоджуючої води може бути скорочено на 45 та 20% відповідно. Срок окупності складатиме 11 місяців

In this work the possibility of heat integration improvement for benzene hydrocarbon extraction from coke oven gas was considered. Disadvantages of existing heat recovery system were detected by pinch analysis. Optimal value of minimum temperature difference for heat exchangers network was defined. Retrofit project of heat exchangers network was build. Application of retrofit project leads to reduction of hot and cold utility on 45 and 20% respectively. The payback period will be 11 months

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** В Україні було введено в строй 14 коксохімічних заводів. Всі вони будувалися під час відносно дешевих енергоносіїв, і в сьогодення, як правило, працюють далеко не в оптимальному режимі з погляду на енергоефективність. У зв'язку зі стійкою тенденцією підвищення цін на енергоносії, питання енергозбереження на КХЗ стало винятково важливим.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор.** Аналіз літературних даних показав, що коксохімічні підприємства України мають значний потенціал енергозбереження. В [1, 2] наведено результати аналізу процесу переробки кам'яновугільної смоли з використанням методів пінч-аналізу [3]. Переробка кам'яновугільної смоли є одним з багатьох процесів коксохімічного виробництва. Данна робота є присвячена аналізу споживання енергоносіїв процесу дистиляції бензолу на двоколонному агрегаті, покращенню системи рекуперативного теплообміну та аналізу зведеності вартості системи теплообмінних апаратів. Для виконання роботи було проаналізовано декілька методів проектування та реконструкції оптимальних хіміко-технологічних процесів. На сьогоднішній день набули широкого застосування декілька методів: інтегральний і декомпозиційний [4], методи математичного програмування серед яких виділимо лінійне і не лінійне програмування [5, 6] та метод пінч аналізу [7, 8].

**Постановка задачі.** Проаналізувавши ефективність представлених методів можна зробити висновок про те, що єдиним методом який може дати економічно-обґрунтований результат без проведення додаткових розрахунків, є метод пінч-аналізу, крім того, при виборі методу було також враховано що пінч-аналіз є досить універсальним і відносно простим засобом рішення поставлених завдань. В роботах [9–12] було проведено діагностику процесу дистиляції бензолу при очищенні коксового газу на коксохімічному виробництві. Було показано, що при зменшенні мінімального температурного напору в системі теплообмінників споживання

енергоносіїв значно зменшується. Але вибір мінімального температурного напору не було обґрунтовано. Метою цієї роботи є економічне обґрунтування вибору мінімального температурного напору в системі рекуперативного теплообміну та створення проекту реконструкції.

**Опис установки та збір даних.** На рис. 1 наведено технологічну схему процесу дистиляції бензолу. В процесі екстракції даних виділено три гарячих і два холодні потоки, які можуть бути включені до теплової інтеграції. Наведемо опис технологічної схеми.

Коксовий газ подається в бензольний скрубер, де орошається поглинальним маслом, після чого коксовий газ виводиться зі скрубера. Поглинальне масло поступає в масляний дефлегматор, в якому підігрівається парами дистиляційної колони.

З масляного дефлегматора поглинальне масло поступає в теплообмінник масла, в якому догрівається до температури 110°C обезбензольним маслом, що поступає з колони. Далі поглинальне масло поступає в трубчасту піч, де нагрівається до температури 160°C і поступає в дистиляційну колону.

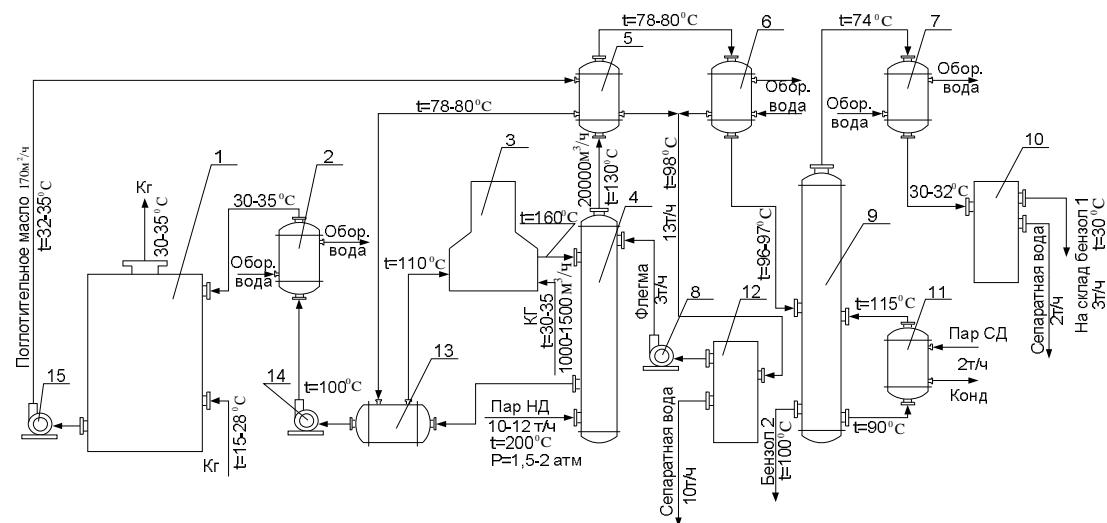


Рис. 1. Технологічна схема процесу дистиляції бензолу:  
 1 – бензольний скрубер; 2 – холодильник масла; 3 – трубчаста піч; 4 – дистиляційна колона; 5 – дефлегматор масляний; 6 – дефлегматор водяний; 7 – конденсатор; 8 – насос для флегми; 9 – розділова колона; 10 – сепаратора бензолу 1; 11 – підігрівач; 12 – сепаратор флегми; 13 – теплообмінник масла;  
 14,15 – насоси для поглинального масла

У колону подається пара з температурою 200°C. Обезбензолене масло з колони повертається в бензольний скрубер, а пари дистиляційної колони поступають в дефлігматор масляний, з якого передаються в дефлігматор водяний і поступають в розділову колону.

Таблиця 1

Потокові данні для процесу дистиляції бензолу

№	Назва потоку	Тип	$T_s$	$T_T$	$W, \text{кг/с}$	$r$	$C$	$CP$	$\Delta H$
1	Обезбензольне масло з колони	Гар	145	30	48,25	-	2,01	96,97	-11150
2,1	Конденсація пари дист. колони	Гар	100	100	3,6111	1908	-	-	-7074,2
2,2	Охолодження пари дист. колони	Гар	130	100	3,6111	-	1,7	6,14	
3,1	Конденсація пари розділової колони	Гар	74	74	2,361	1816	-	-	-4429,7
3,2	Конденсат паров розділової колони	Гар	74	30	2,361	-	3,23	7,63	
4	Поглинаюче масло з скрубера	Хол	32	160	54,305	-	2,03	110,23	14109,2
5	Підігрів розділової колони	Хол	90	115	39,3	-	1,17	45,97	1149,5

Частина пари дистиляційної колони конденсується і стікає в сепаратор флегми, з якого насосом повертається в колону, а сепараторна вода виводиться з сепаратора. У розділовій колоні отримують вузькі фракції пари дистиляційної колони. Бензол, що утворюється в розділовій колоні, виводиться з неї. Пари з колони поступають в конденсатор, де конденсуються, охолоджуються до 30°C і поступають в сепаратор бензолу. Пара з розділової колони конденсується, розділяється на сепараторну воду і бензол, і далі поступає на склад. Потокові данні процесу дистиляції бензолу при очищенні коксового газу наведено в таблиці 1.

**Аналіз існуючої теплообмінної системи.** Мінімальна відстань між складовими кривими [3] уздовж осі ординат – температурної осі, визначає  $\Delta T_{\min}$  у теплообмінній мережі, відповідній даній температурно-ентальпійній діаграмі, а сама область найменшого зближення уздовж осі  $T$  – пінчем. В роботі [12] було визначено, що  $\Delta T_{\min}$  для існуючого процесу складає 20°C. Для існуючої схеми будуємо сіткову діаграму [3], рекуперативні теплообмінники на рис. 2 розташовані на 1 та 2 гарячих потоках і 4 холодному потоку,  $\Delta T_{\min}$  для цих потоків дорівнює 20°C. З рисун-

ка 2 видно, що теплообмінник 2 має перенос тепла через пінч, що додатково збільшує теплові втрати і підкреслює необхідність впровадження енергозберігаючих технологій для існуючого процесу. Подібна неефективність використання енергії є типовим явищем для вітчизняних підприємств.

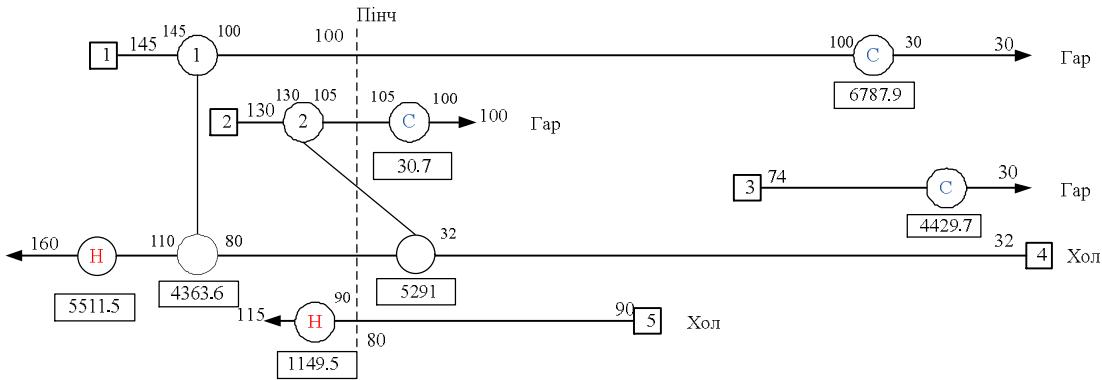


Рис. 2. Сіткова діаграма існуючої схеми

Порівнявши данні сіткової діаграми (рис. 2) та складових кривих для  $\Delta T_{min}=20^{\circ}\text{C}$  [12] встановлюємо, що навантаження на теплообмінне обладнання яке розташоване на сітковій діаграмі менше за те, що зображене на складових кривих на 595 кВт. Для визначення реальних витрат утиліт побудуємо складові криві для існуючої рекуперації тепової енергії в системі теплообміну існуючого процесу дистиляції бензолу рис. 3.

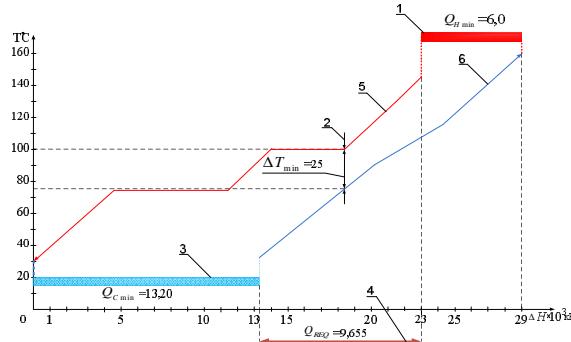


Рис. 3. Складові криві для існуючої поверхні рекуперації:  
1 – кількість енергії гарячих утиліт; 2 – точка пінча; 3 – кількість енергії холодних утиліт; 4 – кількість рекуперуючої енергії; 5 – складова крива гарячих потоків; 6 – складова крива холодних потоків

З рисунка 3 видно, що  $\Delta T_{min}$  для існуючої поверхні рекуперації більше значення  $\Delta T_{min}$ , що було встановлено з сіткової діаграми на  $5^{\circ}\text{C}$ . Це говорить про те, що можна зекономити 450 та 550 кВт холодних та гарячих утиліт відповідно навіть без використання нового теплообмінного обладнання, убираючи перенос тепової енергії через точку пінча.

**Реконструкція теплообмінної системи.** Для отримання оптимального значення  $\Delta T_{\min}$  за допомогою програми «Hint» [13] будуємо вартісні залежності приведеної вартості [14] від  $\Delta T_{\min}$  (рис. 4).

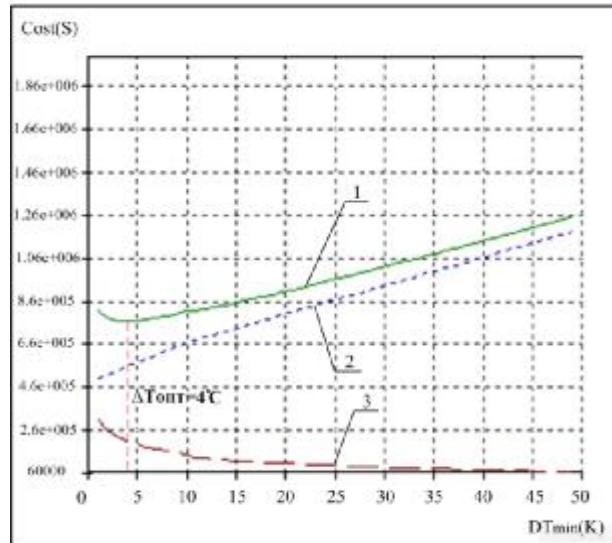


Рис. 4. Вартісні залежності приведеної вартості від мінімальної різниці температур в системі рекуперативного теплообміну процесу дистиляції бензолу: 1 – приведена загальна вартість, 2 – приведена вартість енергії, 3 – приведені капітальні витрати

З вартісних кривих процесу знаходимо, що оптимальне значення  $\Delta T_{\text{опт}}$ , яке дорівнює  $4^{\circ}\text{C}$ . Для оптимального значення  $\Delta T_{\text{опт}}=4^{\circ}\text{C}$  побудуємо складові криві рис. 5.

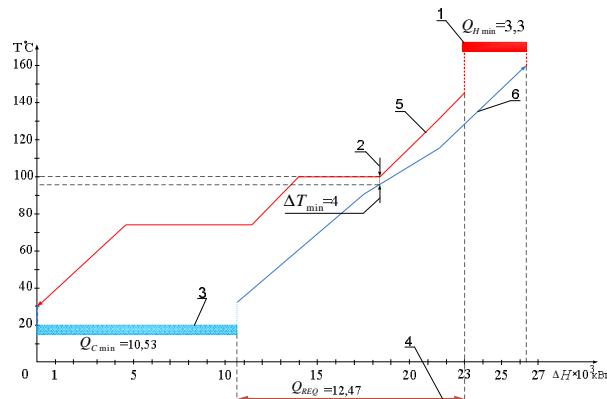


Рис. 5. Складові криві для оптимального значення  $\Delta T_{\min}$ : 1 – кількість енергії гарячих утиліт; 2 – точка пінча; 3 – кількість енергії холодних утиліт; 4 – кількість рекуперуючої енергії; 5 – складова крива гарячих потоків; 6 – складова крива холодних потоків

Економія гарячих та холодних утиліт при новому значенні  $\Delta T_{\text{опт}}=4^{\circ}\text{C}$  складатиме 2700 кВт та 2670 кВт, що відповідно становить 45 та 20,2 %.

Для отримання цієї економії необхідно побудувати проект реконструкції теплообмінної мережі процесу дистиляції бензolu. Для цього побудовано нову сіткову діаграму рисунок 6 для  $\Delta T_{\text{опт}}=4^{\circ}\text{C}$ , на якій розташовано нове теплообмінне обладнання. У якості нових теплообмінних апаратів необхідно використовувати пластинчасті теплообмінники, які дозволяють досягти недорекуперації на кінцях апарату  $2^{\circ}$ . За допомогою методики розрахунку пластинчастих теплообмінних апаратів з каналами різної конфігурації [15] було розраховано теплообмінники для проекту реконструкції. В таблиці 2 наведено площину теплообмінної поверхні та коефіцієнти тепlopерації для нових апаратів, що було розраховано.

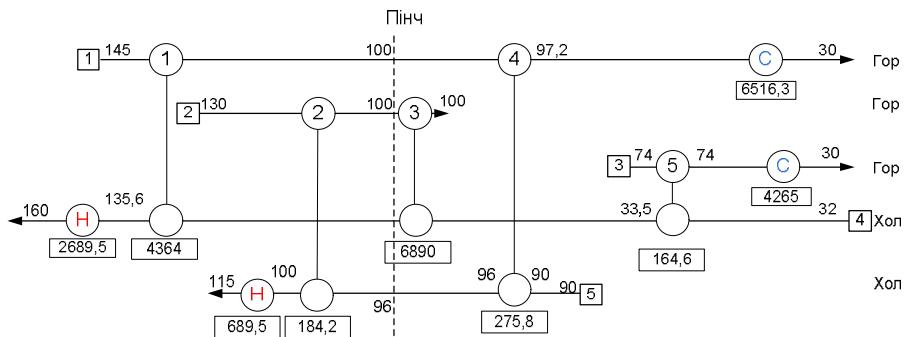


Рис. 6. Сіткова діаграма проєкту реконструкції теплообмінної системи:  
навантаження на теплообмінниках 1–2 дозволяє залишити старе теплообмінне обладнання, а на позиціях 3–5 були встановлені нові зварні пластинчаті теплообмінники

Таблиця 2

Результати розрахунку теплообмінників на позиціях 3–5

Кількість апаратів	Коефіцієнт тепlopерації, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$	Поверхня теплообміну, $\text{м}^2$
1	1122	263,6
1	909,1	55,8
1	3475	1,1

При вартості гарячих і холодних утиліт 800 і 160 грн. за 1 кВт/рік відповідно і вартості теплообмінного обладнання 5000 грн. за  $1 \text{ м}^2$ , термін окупності складе приблизно 11 місяців, а коефіцієнт ефективності капітальних вкладень 1,07 грн/грн. В порівнянні з результатами, які наведено в попередніх роботах [9–12] термін окупності зменшився на 2,5 місяці, а коефіцієнт ефективності капіталовкладень зрос на 0,2 грн/грн., що говорить про доцільність використання вартісних кривих для розрахунку оптимального значення мінімального  $\Delta T$ . Витрати на встановлення нового обладнання приблизно на 60% менше від суми коштів, отриманих в ре-

зультаті економії енергоносіїв, що говорить про доцільність капіталовкладень.

**Висновки** Дослідження, яке було проведено в даній роботі показало значний потенціал енергозбереження в процесі очистки коксового газу від бензольних вуглеводнів. Але екстракція бензольних вуглеводнів є малою складовою частиною коксохімічного виробництва. Обстеження та реконструкція виробництва в цілому дозволить досягти значно більших результатів ніж реконструкція однієї установки. Зменшення споживання утиліт на коксохімічному виробництві призводить до зменшення використання коксового газу у якості палива. Це веде як до значної економії коштів, так і до зменшення шкідливих викидів в навколошнє середовище. Результати даної роботи можна використати для аналізу та реконструкції існуючого виробництва та виробництв що проектуються.

**Список літератури:** 1. Товажнянський Л.Л. Анализ потенциала энергосбережения в процессе дистилляции каменноугольной смолы / [Товажнянський Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. и др.] // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2001. – №2. – С. 16 – 22. 2. Товажнянський Л.Л. Определение потенциала энергосбережения процесса дистилляции каменноугольной смолы и процесса переработки нафталиновой фракции на авдеевском КХЗ / [Товажнянський Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. и др.] // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2003. – №2. – С. 23 – 30. 3. Сміт Р. Основы интеграции тепловых процессов / [Сміт Р., Клемеш Й., Товажнянський Л.Л. и др.]. – Х: НТУ «ХПІ», 2000. – С. 500. 4. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс: пер. с англ. / Б. Банди. – М.: Радио и связь, 1988. – С. 128. 5. GROSSMANN, Ignacio E. Mixed-integer nonlinear programming techniques for process systems engineering / [GROSSMANN, Ignacio E., KRAVANJA, Zdravko] // Comput. chem. eng. – 1995. – Vol. 19. P. – 189-204. 6. NOVAK-PINTARIĆ, Zorka. Mixed-integer nonlinear programming problem process synthesis under uncertainty by reduced dimensional stochastic optimization / [NOVAK-PINTARIĆ, Zorka, KRAVANJA, Zdravko] // Ind. eng. chem. res. – 1999. Vol. 38. – P. 2680-2698. 7. Kemp J.C. Pinch analysis and process integration: A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy, Second Edition / [Kemp J.C.]. – Oxford: Elsevier, 2007. – P. 396. 8. Smith R. Chemical process design and integration / [Smith R.]. – Chichester: Wiley, 2005. – P. 687. 9. Ульєв Л.М. Визначення потенціалу енергозбереження процесу відділення дистиляції бензолу / [Ульєв Л.М., Болдирев С.О., Васильєв М.А.] // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта здоров'я: Тези доповідей XVIII міжнародної науково-практичної конференції. – Ч. III. – 12-14 травня 2010 р. –Х. – С. 27. 10. Ульєв Л.М. Діагностика процесу дистиляції бензолу. / [Ульєв Л.М., Болдирев С.А., Васильєв М.А.] // Матеріали Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції «Сучасні технології в промисловому виробництві». – Суми. – Сумський державний університет. – 2010. – Ч. 3. – С. 102-103. 11. L. Tovazhnyansky. Process integration of benzene distillation unit at the coke plant. / [L. Tovazhnyansky, P. Kapustenko, L. Ulyev et al.] // Proceedings of 19th International Congress of Chemical and Process Engineering – CHISA. – 28 August – 1 September. – 2010. – Prague. – Czech Republic. – P. 1487. 12. Товажнянський Л.Л. Визначення потенціалу енергозбереження процесу дистиляції сирого бензолу / [Товажнянський Л.Л., Капустенко П.О., Ульєв Л.М. и др.] // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2010. – №4. – С. 3-7. 13. Hint software, version 2.2. Department of chemical engineering and environmental technologies. / University of Valladolid. – Spain. [www.iq.uva.es/integ](http://www.iq.uva.es/integ). 14. Linnhoff B. Cost optimum heat exchanger network – I. Minimum energy and capital using simple model for capital cost / [Linnhoff B. and Ahmad S.] // Computers and Chemical Engineering. – 1990. – 14(7). – P. 729-750. 15. Товажнянський Л.Л. Пластинчатые теплообменники в промышленности / [Товажнянський Л.Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л. и др.]. – Х: НТУ «ХПІ», 2004. – С. 232.

Надійшла до редакції 28.03.11

УДК 678.073.002.68

**С.И. БУХКАЛО**, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,  
**Р.Ф. СМОЛОВИК**, канд. экон. наук, проф., НТУ «ХПИ»,  
**О.И. ОЛЬХОВСКАЯ**, асс., НТУ «ХПИ»,  
**Д.Ю. ЗАДНЕПРОВСКАЯ**, студентка, НТУ «ХПИ»,  
**Д.В. СЕВОСТЬЯНОВА**, студентка, НТУ «ХПИ»,  
**О.К. ПОЗДНЯКОВА**, студентка, НТУ «ХПИ»

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ КОМПЛЕКСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПОЛИМЕРОВ**

В статті наведені можливості економічного аналізу для вирішення задач утилізації полімерних відходів з метою підвищення ефективності їх використання та подальшого розвитку науково-обґрунтованих комплексних методів переробки відходів різного походження

В статье приведены возможности экономического анализа при решении задач утилизации полимерных отходов с целью повышения эффективности их использования и дальнейшего развития научно-обоснованных комплексных методов переработки отходов различного происхождения

The possibilities of economic analysis to solve the problem of polymer wastes utilization are considered. It is underlined that the efficiency enhancement of its use demands further scientific grounded complex methods on waste conversion

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научно-практическими заданиями.** Становление и развитие рыночных отношений в Украине предъявляет свои требования к изменению и совершенствованию процесса подготовки специалистов, работающих в условиях рынка. Один из наиболее эффективных методов для инновационных технических проектов, направленных на достижение поставленных целей ресурсо- и энергосбережения – метод управления проектами по утилизации полимерных отходов. В Украине утилизируют незначительную часть так называемых полимерных отходов, абсолютно не учитывая шестикратную возможность их использования в качестве полноценного сырья для промышленной переработки в изделия.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время заготавливаются и перерабатываются практически полностью высококачественные и значительная часть полимерных отходов среднего качества. Наиболее вероятным источником вторичного сырья для малотоннажного производства являются отходы среднего качества и трудноутилизируемые полимерные отходы. Таким образом, для развития малых предприятий в области переработки полимерных отходов на первый

взгляд есть следующие условия: имеются предложения по созданию рынка полимерных отходов; имеются технологии по переработке вторичного полимерного сырья; существует заинтересованность общества в переработке полимерных отходов, как фактора улучшения экологии [1–3]. Одним из главных условий создания указанных предприятий являются инвестиции. В реальных экономических условиях предоставление инвестиций предполагает малый срок возврата средств (или срок окупаемости капитальных затрат). Как правило, этот срок составляет не более 1–2 лет. Несмотря на то, что значительное количество разрабатываемых технологий предлагают срок окупаемости капитальных затрат 1–2 года, большого развития малых предприятий по переработке отходов не наблюдается.

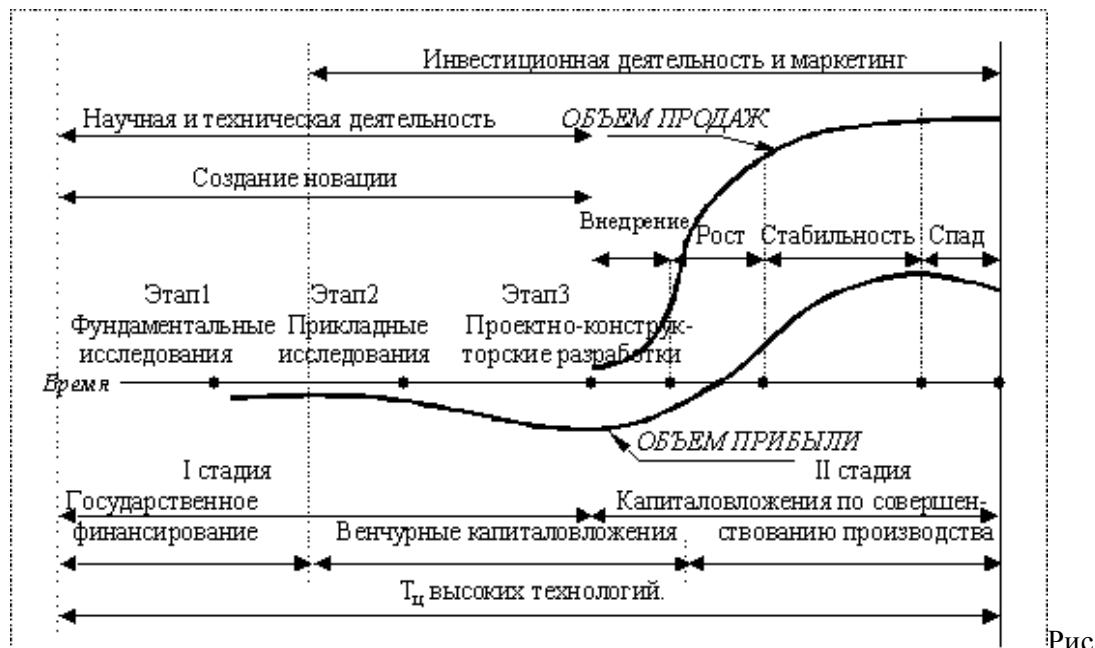
**Постановка задачи.** Под проектом понимается совокупность различных видов технической, технологической, организационной, экологической, правовой, социальной и других видов деятельности, объединенных достижением единой цели, достаточно жестко ограниченных временем, средствами и требованием к уровню качества. Ограничение во времени означает, что предусмотренные в результате реализации проекта события должны наступить в установленную на стадии начала реализации проекта дату: в точно установленное число (не декаду, не месяц).

**Изложение основного материала исследований.** В нашем случае рассматривается инновационное техническое решение – новые технологии и продукты – по своему характеру и функциональному назначению проект необходимо дополнить следующими составляющими инновационного решения: организационные – новые методы и формы организации всех видов деятельности предприятия; экономические – методы управления наукой и производством на основе планирования и прогнозирования, финансирования, ценообразования, мотивации и стимулирования труда, оценки результатов; социальные – активизация и создание комфортных условий деятельности производства; эколого-правовые – новые и измененные законы, а также разнообразные нормативно-правовые документы разрабатываемого направления. Инновационный процесс связан не только с созданием, освоением, но и с распространением новации. В связи с этим, необходимо обратить внимание на тот факт, что исходными критериями инновационного процесса являются:

жизненный цикл изделия и экономическая эффективность. Исходя из этого стратегия инновационного процесса должна быть направлена на то, чтобы превзойти конкурентов, создав новшество, уникальное в своей области. Следовательно, непременным свойством новации является научно-техническая новизна, производственная применяемость, коммерческая реализуемость. Инновационный процесс имеет циклический характер, разделяется на отдельные фазы и может быть представлен в общем виде таким образом:

ФИ – ПИ – Р – Пр – С – Ос – ПП – М – Сб,

где ФИ – фундаментальные исследования; ПИ – прикладные исследования; Р – разработка; Пр – проектирование; С – опытное производство; Ос – освоение; ПП – промышленное производство; М – маркетинг; Сб – сбыт.



1. Жизненный цикл высоких технологий

При реализации задания проекта необходимо обратить внимание на особенности жизненного цикла высоких технологий (рис. 1) учитывая, что экономическое и технологическое воздействие инновационного проекта лишь частично воплощается в новых проектах или технологиях. Значительно дольше оно проявляется в увеличении экономического и

научно-технического потенциала как предпосылки возникновения новой техники, т.е. повышается технический уровень инновационной системы и ее составных элементов, тем самым повышается восприимчивость к инновациям. Варианты инновационных проектов должны иметь одинаковую маркетинговую разработку, одинаковый подход к оценке риска инвестиционных затрат и неопределенности исходной информации (рис. 2).



Рис. 2. Функциональная схема этапов инвестиционного проекта

Исходными данными для расчета размера инвестиций, необходимых для реализации инновационного проекта, являются: 1) расчет стоимости производственных средств – основных и оборотных, требующихся для организации производства новых видов продукции, включающие затраты на оборудование с учетом транспортировки и монтажа; транспортные средства; здания и сооружения; силовые установки; измерительные и регулирующие приборы; ЭВМ; дорогой хозяйственный инвентарь и оснастку; а также текущие затраты, необходимые для производства продукции (сырье, материалы, топливо, энергия и др.); 2) затраты капитальные и текущие, предназначенные для проведения НИР.

В любых вариантах инновационное решения требует необходимых инвестиций для их реализации и анализа эффективности их использования. Экономическая эффективность инновационных проектов определяется в три этапа: 1) предпроектная оценка эффективности – определяется лучший вариант использования инвестиций из нескольких альтернативных; 2) оценка проектной эффективности – рассчитывается после стадии завершения разработки проекта. Особенno в тех случаях, когда имеются отклонения от заданных технико-экономических параметров или когда осуществляется передача изготовления новой техники другой организации; 3) фактический экономический эффект – определяет реальную величину экономического эффекта в результате разработки и использования нововведения.

Такой расчет по стадиям жизненного цикла преследует цели: 1) систематическое уточнение ожидаемого эффекта в процессе работы, так как могут изменяться условия, требования к осуществлению разработанного инновационного проекта; 2) обеспечение возможности прекращения работ, которые в процессе исследований оказались неперспективными, неэффективными или малоэффективными; 3) обеспечение оперативного контроля за эффективной работой научных организаций на всех стадиях работы и возможности предотвращения искаженных данных о размере экономического эффекта по инновационным разработкам.

Анализ эффективности инновационных решений предполагает выполнение таких этапов: определение необходимых инвестиций и их распределение по этапам жизненного цикла инноваций, годам и альтернативным вариантам; определение денежных потоков (доходов) и их такое же распределение по годам и вариантам (рис. 3); расчёт количественных показателей эффективности инновационного проекта. При этом следует обратить внимание на следующие особенности расчёта показателей эффективности инновационных проектов.

Стоимость денег во времени меняется, деньги сегодня всегда дороже, чем деньги завтра. Три фактора всегда влияют на изменение стоимости денег во времени: 1) упущеные возможности – человек, отдавший деньги другому, лишает себя каких-то благ, и это лишение должно быть оплачено. Ресурсы, инвестированные в один проект, не могут быть вложены в другой; 2) инфляция, которая существует во всех странах, но раз-

лична по размеру; 3) риск инвестора, так как долг может быть не возвращен по разным причинам.

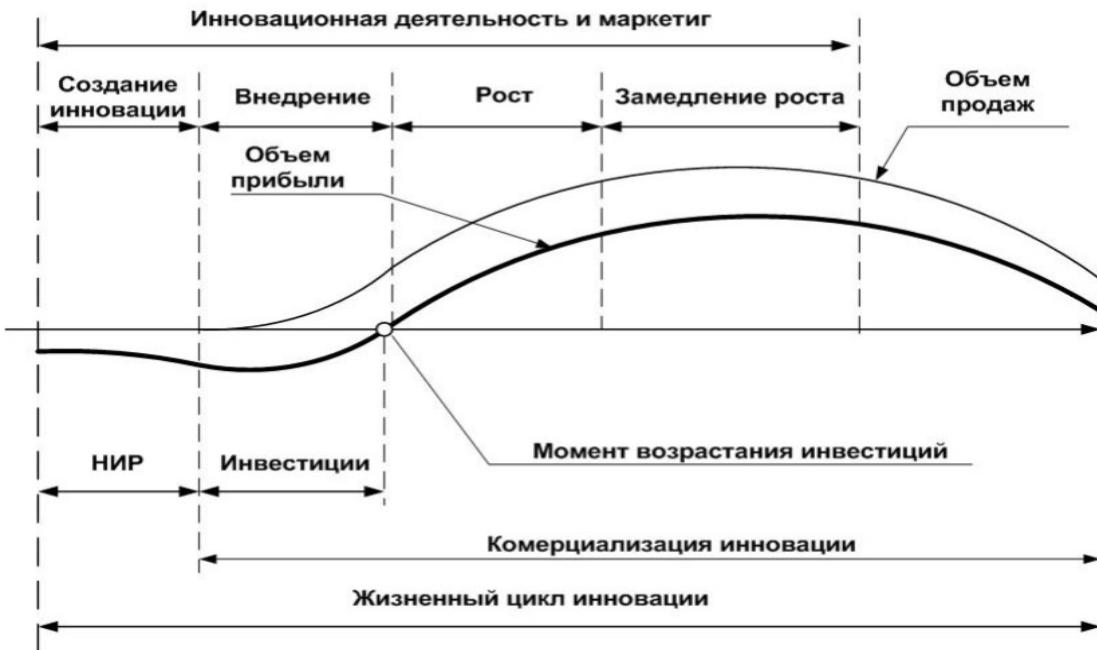


Рис.3. Основные этапы инновационного процесса

Все эти три величины учитываются процентной ставкой капитала  $r$ , представляющей собой определенный процент от займа в год. Необходимо подчеркнуть, что инновационная деятельность становится решающей областью всей экономической деятельности и, как и любой вид деятельности, нуждается в управлении. Поэтому в последние годы в теорию и практику отечественной науки об управлении прочно вошло такое понятие, как «инновационный менеджмент», иными словами – управление инновационными процессами на уровне предприятия, региона, государства. Основными функциями менеджмента в данном случае являются: определение цели; прогнозирование и планирование инновационной деятельности; ее координация, регулирование и стимулирование; контроль и оценка. Таким образом, для дальнейшей комплексной оценки проекта необходимо разрабатывать следующие разделы: жизненный цикл инновационного проекта; распределение дисконтированных выгод и затрат; графическое представление точки безубыточности проекта; результаты расчетов показаний эффективности инновационных проектов по альтернативным вариантам. Можно констатировать, что основной документ,

который является базой для принятия решения о финансировании на данной стадии инновационного проекта – это его бизнес-план; организационный план, например, расчет количества рабочих мест и рабочих; стратегия маркетинга, экономическое обоснование варианта и метода переработки; финансовый план – расчет себестоимости, цены новой продукции и сметы затрат на производство; анализ эффективности инновационного проекта; анализ безубыточности производства продукции; резюме, технико-экономические показатели инновационного проекта. Поэтому разделы проекта должны соответствовать наименованию и содержанию соответствующих разделов бизнес-плана процесса проектирования и разработки нового вида продукта, причем его технология определяется типом производства.

**Выводы и перспективы дальнейшего развития данного направления.** Таким образом, мы представили основные экономические предпосылки для представления проекта инвестору, проанализировав рынок сырья и продукции, выбрав тип производства и методы борьбы с конкурентами. Представленный проект является актуальным для Украины по многим направлениям, так как вопрос утилизации отходов не урегулирован, а по экономическим показателям возможно достижение доходности этого проекта. Мы считаем необходимым проведение дальнейшей разработки и изучения данного вопроса с целью получения реального конкурентоспособного инновационного проекта.

**Список литературы:** 1. Маковецька Ю.М. Відходи упаковки в контексті закордонного та вітчизняного досвіду : матеріали VI Межд. конф. [«Сотрудничество для решения проблемы отходов»], (Харьков, 8–9 апреля 2009 р.) / Независимое агентство эколог. инф. – Х., 2009. – 290 с. 2. Вирлич Е.М. Анализ возможности использования в Украине шведского опыта управления отходами : материалы VI Межд. конф. [«Сотрудничество для решения проблемы отходов»], (Харьков, 8–9 апреля 2009 р.) / Независимое агентство эколог. инф. – Х., 2009. – 290 с. 3. Бухкало С.И., Ольховская О.И., Борхович А.А. Оценка качества вторичных полимеров с помощью математической модели // Інтегровані технології та енергозбереження. 2008. № 2. С. 51 – 55.

*Поступила в редакцию 09.03.11*

УДК 678.073.002.68

**С.И. БУХКАЛО**, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,  
**Н.Н. ЗИПУННИКОВ**, канд. техн. наук, ст.преп., НТУ «ХПИ»,  
**О.И. ОЛЬХОВСКАЯ**, ассистент, НТУ «ХПИ»,

**Н.Е. ТВЕРДОХЛЕБОВА**, асистент, НТУ «ХПИ»,

**А.А. БОРХОВИЧ**, студент, НТУ «ХПИ»,

**А.И. НИКОЛАЕВА**, студентка, НТУ «ХПИ»,

**Н.И. РЫКУСОВА**, студентка, НТУ «ХПИ»,

**А.В. ПЕТРОВА**, студентка, НТУ «ХПИ»,

**О.А. БЕЗУГЛОВА**, студентка, НТУ «ХПИ»

## **АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ КОМПЛЕКСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПОЛИМЕРОВ**

В статті наведені можливості еколого-правового законодавства України для вирішення задач утилізації полімерних відходів з метою підвищення ефективності їх використання та подальшого розвитку науково-обґрунтованих комплексних методів переробки відходів різного походження

В статье приведены возможности эколого-правового законодательства Украины для решения задач утилизации полимерных отходов с целью повышения эффективности их использования и дальнейшего развития научно-обоснованных комплексных методов переработки отходов различного происхождения

The appropriate possibilities of Ukrainian environmental legislation are analyzed in scope of polymer wastes utilization and further conversions are discussed. The further development of scientific grounded techniques of waster treatment are taking into account

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научно-практическими заданиями.** В основном три Закона Украины регламентируют эколого-правовую базу утилизации отходов различного происхождения. Это, прежде всего, Закон об отходах 187/98-вр, последняя редакция от 01.01.2011, который определяет правовые, организационные и экономические основы деятельности, связанной с предупреждением или сокращением объемов образования отходов, их сбором, перевозкой, хранением, обработкой, утилизацией и удалением, обезвреживанием захоронением, а также с предотвращением отрицательного воздействия отходов на окружающую природную среду и здоровье человека на территории Украины. В Законе приведены основные термины этой отрасли: отходы – любые вещества, материалы и предметы, которые образовались в процессе производства или потребления, а также товары (продукция), которые полностью или частично потеряли свои потребительские свойства и не имеют дальнейшего использования по месту их образования или выявления и от которых их владелец будет избавляться, намеревается или должен из-

бавиться путем утилизации или удаления; опасные отходы – отходы, имеющие такие физические, химические, биологические либо другие опасные свойства, которые создают или могут нанести значительный вред здоровью человека или его последующим поколениям. Закон Украины об охране окружающей природной среды, рациональное использование природных ресурсов, обеспечение экологической безопасности жизнедеятельности человека – неотъемлемое условие устойчивого экономического и социального развития Украины. Настоящий Закон должен определять правовые, экономические и социальные основы организации охраны окружающей природной среды в интересах нынешнего и будущих поколений. Закон Украины об обеспечении санитарного и эпидемического благополучия населения регулирует общественные отношения, которые возникают в сфере обеспечения санитарного и эпидемического благополучия, определяет соответствующие права и обязанности государственных органов, предприятий, учреждений, организаций и граждан, устанавливает порядок организации государственной санитарно-эпидемиологической службы и осуществление государственного санитарно-эпидемиологического надзора в Украине.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Основные тенденции роста производства упаковки в Украине, ее видов с точки зрения сырья для производства можно увидеть, например, из данных приведенных ТОВ «Інформаційно-аналітичний центр «Упаковка»» (табл. 1) [1].

Таблица 1

Тенденции роста упаковки в Украине

Вид материала	Количество используемой упаковки			
	2005 г.		2006 г.	
	Млн. штук	Тыс. т	Млн. штук	Тыс. т
Полимеры	9415,9	258,7	10734,1	294,9
Бумага	7429,8	1167,1	8024,2	1260,5
Стекло	3173,3	1404,0	3649,3	1614,6
Металл	886,5	124,7	939,7	132,2
Дерево	35,5	35,0	34,0	33,5

С учетом материальных и энергетических ценностей, заключенных в использованной упаковке, относительно небольшие затраты на ее переработку, определяют существенную экономию средств.

В настоящее время часть таких отходов все-таки отправляется по-лигоны. Полигоны твердых бытовых отходов (ТБО) являются специальными сооружениями, предназначенными для их изоляции и обезвреживания, гарантируют санитарную надежность в охране окружающей среды и эпидемическую безопасность для населения. На полигонах обеспечивается статическая устойчивость ТБО с учетом динамики уплотнения, минерализации, газовыделения, максимальная нагрузка на единицу площади, возможность последующего рационального использования участка после закрытия полигона. Полигоны для твердых бытовых отходов находятся в ведении коммунальных служб местных органов власти, которые обеспечивают отвод земельных участков, устройство, техническое оснащение, контроль за эксплуатацией сооружений. Выбор участка для устройства полигона согласовывается с местными органами министерств геологии, мелиорации, водного хозяйства и санитарно-эпидемиологической службой. Органами коммунального хозяйства только разрабатываются регламенты и режимы работы полигонов, инструкции по приему бытовых отходов, технике безопасности и производственной санитарии для работающих на полигоне, с целью обеспечения контроля за составом поступающих отходов, проведения круглосуточного учета поступающих отходов, осуществления контроля за распределением отходов в работающей части полигона, обеспечения технологического цикла по изоляции отходов, но, к сожалению, большинство разработанных документов остаются без внедрения. На полигоны твердых бытовых отходов принимаются отходы из жилых домов, общественных зданий и учреждений, предприятий торговли, общественного питания, уличный, садово-парковый и строительный мусор, а также некоторые виды твердых инертных промышленных отходов, не обладающими токсичными и радиоактивными свойствами. Список отходов согласовывается с местными санитарно-эпидемиологическими станциями.

**Постановка задачи.** Задачи и цели данного исследования заключались в выборе научно-обоснованных методов комплексной переработки и конечной утилизации полимерных отходов различного происхождения и срока эксплуатации совместно с другими видами отходов. Это позволит снизить, прежде всего, общее количество отходов подлежащих захоронению на свалках или загрязняющих окружающую среду вредными

выбросами. Такой подход позволит использовать ресурсный потенциал этих видов отходов, а также создаст предпосылки для соблюдения нормативно-правовых, санитарно-экологических, экономических и организационных аспектов проблемы управления отходами в целом.

**Изложение основного материала исследований.** Справедливости ради, следует отметить, что, несмотря на скептический взгляд многих экспертов на строительство предприятий по сжиганию мусора, они все-таки должны иметь место. Это связано, прежде всего, с тем, что часть ТБО может быть утилизирована только таким способом в специальных установках, а также такой способ утилизации позволит снизить долю ТБО размещенных на полигонах. Основная трудноразрешимая проблема таких установок – высокотоксичные выбросы газов и возникновение вторичных отходов – решается выбором соответствующих технологических режимов сжигания с целью получения различных видов топлива на более дешевых установках. Министерство ЖКХ Украины подготовило проект распоряжения Кабинета министров «Об одобрении концепции государственной целевой экономической и научно-технической программы обращения с ТБО на 2010 – 2019 гг.». В результате реализации этого проекта планируется ежегодно получать 800 тыс. т бумаги, 600 тыс. т пластмасс и 800 тыс. т стекла с потенциальными доходами от реализации компонентов ТБО 1 – 1,5 млрд. грн. [1]. Следует отметить неоднородность и нестабильность состава ТБО, что обуславливает значительные трудности организации процесса их утилизации. Проведенные исследования направлены на решение задач повышения эффективности использования отходов различных отраслей промышленности в едином комплексе предприятий, который обеспечивает все свои энергетические потребности самостоятельно. Такие комплексы в период высоких цен на энергоносители представляют для Украины важную и актуальную проблему государственного значения, которая непосредственно связана с внедрением энергосберегающих технологий, эффективным использованием энергоресурсов, предотвращением экологических катастроф. В настоящее время полимерные отходы, в основном, утилизируются путем сжигания или захоронения в почву, но такие методы являются технически сложными и экономически невыгодными. Оптимальным решением «пластмассовой проблемы» в наше время стала переработка полимерных

отходов, которая позволяет избежать повторного загрязнения окружающей среды и в то же время получить ряд полезных продуктов для отраслей производственного, промышленного и народного хозяйства. По многим причинам переработка пластмасс является не только экологически предпочтительным, но и экономически целесообразным решением многих проблем, связанных с использованием полимерных отходов. Учитывая, что ежегодный прирост производства и использования пластиков в последнее десятилетие достигает 10–12 %, цена платы за комфорт использования полимерной тары и упаковки может оказаться не такой уж незначительной. Впрочем, этого самого комфорта недолго и лишиться. Пример уже есть. Власти некоторых стран с 1 июля 2010 года всем правительенным учреждениям, школам и вооруженным силам страны запретили пользоваться полиэтиленовыми пакетами и сумками, а со следующего года данный запрет распространится и на магазины, сети быстрого питания, супермаркеты. Для Украины подобная перспектива тоже вполне реальна. Возможности, тенденции и опыт обращения с твердыми бытовыми отходами (ТБО) в настоящее время, наглядно характеризует практика поведения с ТБО в странах Евросоюза, в частности, например, опыт Швеции: 1) утилизированы различными способами с целью получения изделий или других продуктов – 31 %; 2) сожжены на установках различного типа, которые дают неоднозначные, часто не контролируемые, продукты – 45 %; 3) подвержены биологической утилизации – 10 %; 4) размещены на полигонах для долгосрочного захоронения – 14 %.

Интересен и тот факт, что по данным Шведской ассоциации по управлению отходами, количество бытовых отходов, утилизируемых с получением материалов, энергии и удобрений, составляет 80 % [2].

Закон Украины об отходах регулирует вопрос собственности на отходы и ответственности за них – собственником отходов и ответственным за уборку мусора является тот, на чьей территории они производятся, но пока отсутствуют реальные стимулы для легального занятия сбором и заготовкой отходов. В Закон Украины «Об отходах» внесены изменения и дополнения, которым предусмотрено освобождение от налога на прибыль и НДС доходов от хозяйственной деятельности по предоставлению услуг по заготовке и сбору отходов как вторсырья. Есть утвержденные Кабинетом Министров Украины «Лицензионные условия

проведения хозяйственной деятельности по сбору, заготовке отходов как вторичного сырья, есть перечень отдельных видов отходов как вторсырья», но централизованный сбор отходов по видам полимеров до настоящего времени не организован. Проблема утилизации пластиковых отходов волнует местных чиновников, причем не только экологов или коммунальщиков. Созданы комиссии и отделы. Облгосадминистрация и местные советы регулярно издают распоряжения, рекомендации и постановления, но изменения приходят слишком медленно. Таким образом, можно сделать следующие выводы: 1) в каждом городе с населением свыше ста тысяч человек необходимо создание муниципального или коммерческого предприятия, которое бы занималось сбором и переработкой бытовых пластиковых отходов и других видов отходов. В более мелких населенных пунктах стоит создать небольшие участки сбора и первичной (грубое измельчение) переработки пластиковых отходов. Такие пункты могут действовать на основе самоокупаемости под патронажем экологической службы города или непосредственно на предприятиях, имеющих недозагруженные мощности по переработке пластмасс. 2) Сбор тары и прочих пригодных для переработки отходов должен осуществляться, как правило, с применением специальных контейнеров, размещаемых у источников накопления отходов.

**Выводы и перспективы дальнейшего развития данного направления.** Таким образом, из перечисленных методов использования полимерных отходов, наиболее перспективным с точки зрения эколого-правового законодательства является направление получения и переработки вторичных полимеров. Это позволит расширить сырьевую базу для производства изделий и повысить эффективность использования сырья на основе изучения свойств отходов различного происхождения, их состава и возможности организованного сбора. Только комбинация нескольких взаимосвязанных мероприятий по разработке методов сбора различных видов полимерных отходов и выбору научно-обоснованных методов их использования, а, следовательно, выбора метода переработки или утилизации может способствовать эффективному решению проблемы отходов. Из перечисленных методов использования полимерных отходов, наиболее перспективным с точки зрения ресурсосбережения является направление получения вторичных полимеров. Для достижения

этих целей, а также предотвращение загрязнения окружающей среды миллионами тонн полимерных отходов необходимо решать и один из основных вопросов этой проблемы – выбор методов направленной модификации для улучшения качества вторичного полимерного сырья с помощью методов математического моделирования [3].

**Список литературы:** 1. Маковецька Ю.М. Відходи упаковки в контексті закордонного та вітчизняного досвіду : матеріали VI Межд. конф. ["Сотрудничество для решения проблемы отходов"], (Харьков, 8–9 апреля 2009 р.) / Независимое агентство эколог. инф. – Х., 2009. – 290 с. 2. Вирлич Е.М. Анализ возможности использования в Украине шведского опыта управления отходами : материалы VI Межд. конф. ["Сотрудничество для решения проблемы отходов"], (Харьков, 8–9 апреля 2009 р.) / Независимое агентство эколог. инф. – Х., 2009. – 290 с. 3. Бухжало С.И., Ольховская О.И., Борхович А.А. Оценка качества вторичных полимеров с помощью математической модели // Інтегровані технології та енергозбереження. 2008. № 2. С. 51 – 55.

Поступила в редакцию 09.03.11

УДК 330.522.2

**М.М. МАСТЕРНА**, магістрант, НТУ «ХПІ»,  
**Р.Ф. СМОЛОВИК**, канд. екон. наук, проф., НТУ «ХПІ»

## **ПРОБЛЕМИ ЩОДО ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОСНОВНИХ ЗАСОБІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ В СУЧASNІХ УМОВАХ КРИЗОВОЇ СИТУАЦІЇ**

В статье рассматриваются основные направления улучшения использования основных способов предпринимательства, предлагаются некоторые организационно-технические мероприятия и анализируется их влияние на эффективность использования основных способов

В роботі розглядаються основні напрямки покращення використання основних засобів підприємства, пропонуються деякі організаційно-технічні заходи та аналізується їх вплив на ефективність використання основних засобів

The article focuses on the main directions of improvement of the enterprise's fixed assets, offered some organizational and technical events and their influence on the efficiency of the fixed assets

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** У сучасних умовах підприємства не мають достатньо коштів, що направляються до фонду розвитку підприємства для придбання прогресивного устаткування, що забезпечує конкурентоспроможність продукції і підприємства в цілому.

Якщо врахувати, що в системі господарської діяльності України основні фонди є національним багатством країни, то виникає необхідність пошуку тих резервів усередині підприємства, які сприяли б раціональнішому використанню основних засобів і підвищенню фінансової стійкості підприємства в умовах кризової ситуації.

**Аналіз останніх досліджень та постановка завдання.** Відповідно до статистичних даних [1], основні фонди в Україні складають 3 903 714 млн. грн. Динаміка росту основних засобів 2000-2009 рр., яка дозволяє зробити висновки, що найбільший ріст спостерігався у 2008 р. і склав 53,84%, а найнижчі темпи росту – у 2003 р., які дорівнювали 11,2% (табл.1).

Таблиця 1.

Динаміка росту основних засобів

Рік	Основні засоби, млн. грн.	Абсолютне відхилення, млн. грн.	Відносне відхилення, %	Темп росту, %
2000	828822	-	-	-
2002	964814	+135992	+16,41	116,41
2003	1026163	+61349	+6,36	106,36
2004	1141069	+114906	+11,20	111,20
2005	1276201	+135132	+11,84	111,84
2006	1568890	+292689	+22,93	122,93
2007	2047364	+478474	+30,50	130,50
2008	3149627	+1102263	+53,84	153,84
2009	3903714	+754087	+23,94	123,94

Проте, необхідно зазначити, що протягом останніх років на більшості підприємств України спостерігається низький рівень ефективності використання основних засобів. Динаміка росту ступеня зносу основних засобів свідчить про погіршення їх технічного стану, морального зносу. Так, відповідно до статистичних даних [1], починаючи з 2000 року спостерігається динаміка збільшення ступеня зносу (табл. 2). Так, наприклад, у 2009 році ступінь зносу основних засобів в Україні складає 60%, проте у порівнянні з 2008 роком, він зменшився на 1,2%, що є позитивним явищем.

Таблиця 2

Ступінь зносу основних засобів по Україні

Рік	Ступінь зносу основних	Абсолютне відхи-	Відносне від-	Темп рос-
-----	------------------------	------------------	---------------	-----------

	засобів, %	лення, %	хилення, %	ту, %
2000	43,7	-	-	-
2002	47,2	+3,5	+8,01	108,01
2003	48,0	+0,8	+1,69	101,69
2004	49,3	+1,3	+2,71	102,71
2005	49,0	-0,3	-0,61	99,39
2006	51,5	+2,5	+5,10	105,10
2007	52,6	+1,1	+2,14	102,14
2008	61,2	+8,6	+16,35	116,35
2009	60,0	-1,2	-1,96	98,04

Необхідно також зазначити, що в Російській Федерації ступінь зносу основних засобів значно нижчий, і складає у 2009 році 46,3%. Крім того, необхідно зазначити, що в основний капітал українських підприємств у 2009 році було вкладено 151 776,8 млн. грн. інвестицій, що на 34,88% нижче ніж у 2008 році. Необхідно враховувати, що витрати на будівельні і монтажні роботи усіх видів, включаючи монтаж обладнання; придбання машин, обладнання, виробничого інструменту і господарчого інвентарю; інші капітальні роботи та витрати, які належать до інвестицій в основний капітал. Проте, як відомо, покращення використання основних виробничих фондів дозволяє без додаткових інвестицій збільшити випуск продукції, робіт, послуг та покращити техніко-економічні показники виробництва. Саме тому дослідження шляхів підвищення ефективності використання основних фондів на підприємствах України є актуальним.

**Результати дослідження.** На наш погляд, основними напрямами, які сприяють підвищенню ефективності використання основних засобів підприємства, можуть бути наступні: підвищення ефективності використання капітальних вкладень і основних фондів, скорочення цілоденних та змінних простоїв, застосування оптимального графіка роботи підприємства і проведення заходів соціального напрямку, проведення заходів, що підвищують питому вагу основних виробничих операцій у затратах робочого часу.

Розглянемо деякі із вищезазначених напрямків та їх вплив на підвищення ефективності результатів господарської діяльності. Так, наприклад, на наш погляд, поліпшення використання діючих основних фондів

і виробничих потужностей підприємств, може бути досягнуте завдяки: підвищенню інтенсивності використання виробничих потужностей і основних фондів та підвищенню екстенсивності їх навантаження; більш інтенсивне використання виробничих потужностей і основних фондів досягається насамперед за рахунок технічного вдосконалювання останніх. Скорочення цілоденних та змінних простоїв може бути досягнуте шляхом введення прогресивних організаційних і технологічних заходів. Тобто, поліпшення догляду за основними фондами, дотримання передбаченої технології виробництва, удосконалювання організації виробництва і праці, що сприяє правильній експлуатації устаткування, недопущенню простоїв і аварій, здійсненню своєчасного і якісного ремонту, що скоро чує простої устаткування в ремонті і збільшує міжремонтний період. Підвищення коефіцієнта змінності може бути досягнути застосуванням оптимального графіка роботи підприємства, включаючи ефективний план проведення ремонтних та налагоджувальних робіт.

Важливими чинниками, які впливають на збільшення випуску продукції, є: склад, кількість, міра використання наявного устаткування, культурно-технологічний рівень кадрів, використання передових методів організації виробництва, склад вживаних матеріалів та інші. Вплив деяких чинників на зростання продуктивності праці визначається прямим розрахунком [3].

Так, наприклад, якщо фактичний коефіцієнт використання устаткування ( $K_{вик}$ ) складає 0,77, а виходячи з аналізу роботи і проектованих впровадженню організаційних і технічних заходів він може бути підвищений до 0,86, то за цей рахунок випуск продукції ( $B_{пр}$ ) може підвищитися на 11,69% (табл. 3 та рис. 1):

$$\left( \frac{0,86}{0,77} - 1 \right) \times 100 = 11,69\%$$

Таблиця 3.  
Збільшення випуску продукції за рахунок підвищення коефіцієнта  
використання устаткування

$K_{вик}$	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85
-----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

B <sub>пр</sub> , %	11,69	10,26	8,86	7,50	6,17	4,88	3,61	2,38	1,18
---------------------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------

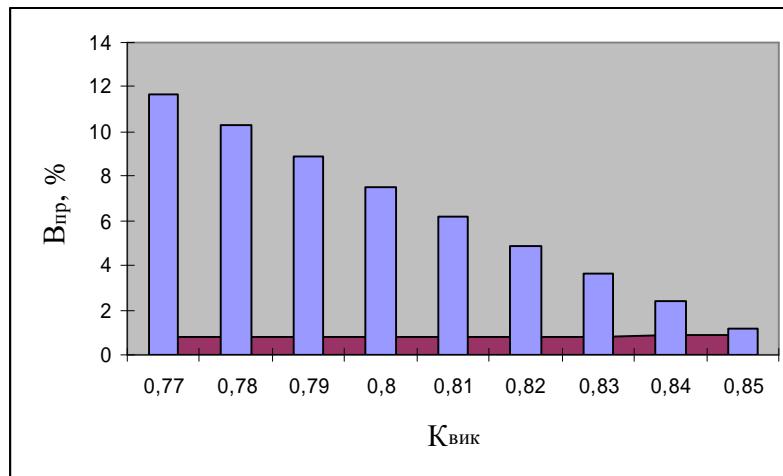


Рис. 1. Збільшення випуску продукції за рахунок підвищення коефіцієнта використання устаткування

Аналогічно можна підрахувати вплив підвищення середнього відсотка виконання норм вироблення робочими ( $K_{ср.в}$ ) на зростання обсягу виробництва.

Якщо при середньому виконанні норм вироблення робочими на 125 % підприємство випустило 100% продукції досягши середнього виконання норм в плановому періоді 140%, випуск продукції зросте на 16,67 % (табл. 4 та рис. 2):

$$\left( \frac{140}{120} - 1 \right) \times 100 = 16,67\%$$

Таблиця 4.  
Збільшення випуску продукції за рахунок підвищення середнього відсотка виконання норм вироблення робочими

K <sub>ср.в</sub>	120	123	126	129	132	135	138
B <sub>пр</sub> , %	16,67	13,82	11,11	8,53	6,06	3,70	1,45

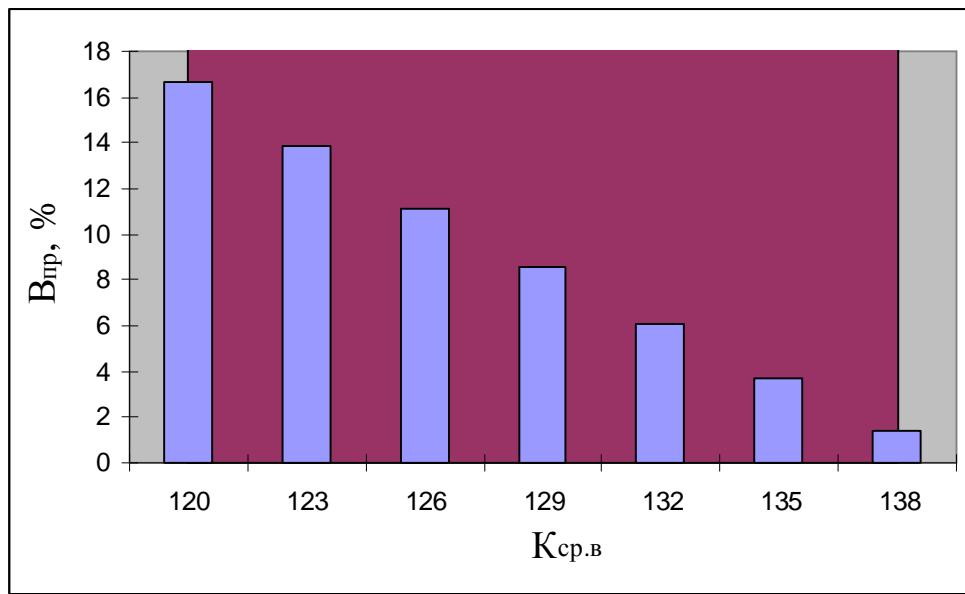


Рис. 2. Збільшення випуску продукції за рахунок підвищення середнього відсотка виконання норм вироблення робочими

### **Висновки.**

Отже, на наш погляд, важливими чинниками, які сприяють підвищенню ефективності використання основних засобів підприємства є: підвищення ефективності використання капітальних вкладень і основних фондів, скорочення цілоденних та змінних простоїв, своєчасне проведення переоцінки основних засобів, прийняття рішень про консервацію, продаж або здачу в оренду основних фондів, які не використовуються підприємством, продаж незавершеного будівництва, використання методу амортизації, який буде найбільш ефективним, впровадження заходів науково-технічного прогресу, підвищення кваліфікації робочого персоналу, економічне стимулювання основних і допоміжних робітників, що передбачає залежність заробітної плати від випуску і якості виробленої продукції, поліпшення умов праці і відпочинку, оздоровчі заходи, які позитивно впливають на фізичний і духовний стан робітника.

**Список літератури:** 1. Сайт Державного комітету статистики України - <http://www.ukrstat.gov.ua> 2. Сайт Федеральної служби державної статистики Росії - <http://www.gks.ru> 3. Клущин В.І. Краткий справочник по економическому анализу діяльності підприємства.-М.: «Альфа», 2006. – 126 с.

*Надійшла до редколегії 05.01.11*

**І.Ю. БЕРКО**, магістрант НТУ «ХПІ»,  
**Р.Ф. СМОЛОВИК**, канд. екон. наук, проф., НТУ «ХПІ»

## **АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ ОПЛАТЫ ТРУДА В СОВРЕМЕННЫХ КРИЗИСНЫХ УСЛОВИЯХ**

У статті аналізуються проблеми оплати праці в Україні з урахуванням сучасних умов кризи-  
сної ситуації; фактори впливу на зміну рівня оплати труда; проведено порівняльний аналіз  
оплати труда з економічно розвиненими країнами

В статье анализируются проблемы оплаты труда в Украине, с учётом современных условий  
кризисной ситуации; факторы, влияющие на изменение уровня оплаты труда; даётся сравни-  
тельный анализ оплаты труда по экономически развитым странам

In the article the problems of payment of labors are analyses in Ukraine, taking into account the  
modern terms of crisis situation; factors, influencing on the change of level of payment of labors;  
the comparative analysis of payment of labors is given on the economic developed countries

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научно-практическими заданиями.** В современных условиях кризисной си-  
туации важное значение, на наш взгляд, занимает проблема оплаты труда  
работников всех сфер производства, а также вопросы их социальной за-  
щиты. Основные положения относительно регулирования оплаты труда  
определяет Инструкция по статистике заработной платы, которая была  
принята в соответствии с Законом Украины «Об оплате труда» № 357/96-  
ВР от 10.09.96.

Для оценки и анализа состояния оплаты труда на предприятии, для  
расчёта средней заработной платы, её динамики, а также для анализа со-  
ответствия темпов роста заработной платы и производительности труда  
наёмных работников используется фонд оплаты труда.

**Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато  
рассмотрение данной проблемы и на которых основываются авторы.**

Данной проблеме, отражающей вопрос регулирования системы оп-  
латы труда, уделено много внимания в современной специальной лите-  
ратуре [1–3]. Определённый интерес, с нашей точки зрения, представляет

произведённый сравнительный анализ данных, отражающий элементы оплаты труда, их взаимосвязь с объёмом валового национального продукта (ВНП). Данный анализ позволяет не только выяснить фактическое положение в оплате труда в данной стране, но и те, негативные и положительные тенденции, которые могут быть использованы для решения поставленных задач.

### **Постановка задания.**

Решение указанных задач, в условиях кризисной ситуации, приобрело особое значение, поскольку системы оплаты труда, в сочетании с вопросами ценообразования, определяют жизненный уровень населения страны. Другая сторона данной задачи – рациональная система нормирования труда в зависимости от условий труда, сложности выполняемых работ, культуры труда и других факторов, влияющих, в конечном счёте, на результаты оплаты труда.

### **Изложение основного материала.**

Как показывает анализ, в условиях Украины на формирование стоимости рабочей силы влияют разнообразные факторы:

- географические, культурно-экономические;
- рыночные факторы – спрос и предложение;
- конкуренция или монополия на рынке труда.

Среди них, как правило, выделяют факторы, которые способствуют качественной характеристике рабочей силы и интенсивности труда:

- рост материальных и духовных потребностей;
- увеличение сложности выполняемой работы;
- увеличение объёма выполняемых услуг в сфере образования, здравоохранения, коммунальных и пр.

К факторам, способствующим снижению качественной характеристики рабочей силы можно отнести:

- снижение производительности труда;
- удельный вес женского детского и непроизводительного труда в общей его структуре.

Практика экономически развитых стран позволяет сделать вывод о возможности применения различных форм и систем оплаты труда. Их выбор зависит от основных факторов:

- степени контроля, состояния уровня нормирования труда, за выполняемым объёмом произведенной продукции и её учётом;
- уровнем затрат, связанных с внедрением определенной системы оплаты труда.

Экономически развитые страны используют тарифную систему оплаты, которая имеет свои модифицированные формы. Одной из них является система аналитической оценки рабочих мест, в которой тарифные ставки устанавливаются не только в зависимости от сложности работ, но и с учётом факторов:

- характеризующих квалификацию исполнителей: образование, опыт, профессиональная подготовка;
- умственные и физические усилия;
- уровень ответственности за применение работниками, в процессе выполнения работы оборудования, материалы;
- условия труда.

Необходимо отметить, что в современных условиях в западных странах наблюдается следующая демографическая ситуация: с одной стороны, происходит процесс «старения» рабочей силы, а с другой – неуклонно сокращается естественный прирост населения.

В связи с этим указанные страны, для обеспечения необходимого жизненного уровня своим пенсионерам, используют стратегию привлечения трудовых мигрантов из других стран. В этих условиях украинский рынок труда характеризуется не только оттоком рабочей силы за пределы страны, но и наличием неконкурентных рабочих мест, что естественно, влияет на уровень безработицы. Важное значение приобретает разработка государственной политики направлено на совершенствование системы оплаты труда, с учётом указанных выше факторов. Как государство, так и население страны ориентировано на высокопроизводительное, рентабельное производство и систематическое повышение благосостояния общества. Для этого широко используются различные системы подготовки и переподготовки квалификации, эффективные системы оплаты и стимулирования труда, которая базируется на высоком уровне минимальной заработной платы. Что же касается Украины, то можно сделать вывод, что экономика ориентирована, в большей степени на формирование модели рынка дешевой рабочей силы, что, естественно, негативно

сказывается на развитии рыночного механизма, лишает данную модель фактора конкурентоспособности. Проведённый анализ позволил нам определить некоторые тенденции в следующих направлениях: изменение уровня ВВП, на основании изменения количества рабочих дней, фонда оплаты труда и уровня средней заработной платы в Украине по сравнению с другими странами. Данные проведённого нами анализа позволили сделать следующие выводы:

- средняя заработка в Украине в 7 раз меньше чем в США и в 5 раз меньше чем в Турции;
- один час работы в нашей стране стоит в 6 раз дешевле, чем в США и в 4 раза дешевле, чем в Турции.

Если исходить из минимального количества дней отпуска в различных странах, мы можем сделать вывод, что, уменьшение количества нерабочих дней в Украине, увеличит фонд заработной платы на 186 млн. дол. США в день. Кроме того, с увеличением рабочих дней, возникает возможность увеличить объём ВВП, каждый день на 13,6 дол. США. А если исходить из того, что экономически активное население Украины составляет 20,7 млн. чел., то рост ВВП составит 281 млн. дол. США за один день или за год прирост ВВП составит 56 млрд. дол. США.

**Выходы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления.** Всё изложенное выше позволяет проанализировать проблемы оплаты труда в Украине, с учётом современных условий кризисной ситуации и определить факторы, влияющие на изменение уровня оплаты труда. В изложенном материале дан сравнительный анализ оплаты труда по экономически развитым странам и сделан вывод о необходимости совершенствования действующей системы оплаты труда на базе нормирования и стимулирования труда, как материального, так и морального.

**Список литературы:** 1. Сайт Державного комітету статистики України – <http://www.ukrstat.gov.ua>. 2. Сайт Федеральної служби державної статистики Росії – <http://www.gks.ru>. 3. Клушин В.И. Краткий справочник по экономическому анализу деятельности предприятия. – М.: «Альфа», 2006 – 126 с.

*Надійшла до редколегії 05.01.11*

**В.И. СЕРИКОВ,** канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»,  
**Н.Е. СЕРГИЕНКО,** канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»,  
**Н.Г. МЕДВЕДЕВ,** канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»,  
**А.В. СЕРИКОВА,** студентка, ХНПУ им. Г.С. Сковороды, Харьков

## **ИГРОВЫЕ ЗАНЯТИЯ КАК МЕТОД АКТИВИЗАЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ЗНАНИЙ**

У статті представлені декілька варіантів проведених авторами занять в ігровій формі. Докладно описані правила і методика проведення зазначених занять. Проаналізовано вплив проведених занять на активізацію навчального процесу та пізнавальної діяльності учнів і формування професійних компетенцій в майбутньому

В статье представлены несколько вариантов проведенных авторами занятий в игровой форме. Подробно описаны правила и методика проведения указанных занятий. Проанализировано влияние проводимых занятий на активизацию учебного процесса и познавательной деятельности обучаемых и формирования профессиональных компетенций в будущем

The article presents several options for activities conducted by the authors in the form of a game. Described in detail the rules and methodology for conducting these studies. The influence of the training conducted to enhance the learning process and cognitive activities of students and development of professional competencies in the future

**Постановка задачи.** Современные взаимоотношения в обществе не могут не сказаться на процессе и качестве получения образования как базового, так и высшего. При изменении содержания программ и количества дисциплин наблюдается отсутствие комплексного подхода получения знаний, наблюдается пассивность обучаемого контингента, отсутствие навыков оперативного представления выполненной работы, творческого подхода, маркетинговых навыков при трудоустройстве и даже при определении учебных заведений для дальнейшего повышения уровня образования. Сегодня в качестве одного из методов активизации познавательной деятельности становится активное использование игровых занятий.

**Анализ исследований и публикаций.** Вопрос активизации познавательной деятельности в разное время интересовал и использовался многими известными отечественными и зарубежными педагогами и фи-

лософами: Ж.-Ж. Руссо, И.Г. Песталоцци, Г. Гегелем, Б.Г. Ананьевым, Н.А. Бердяевым, Л.С. Выготским, Н.А. Добролюбовым, А.Н. Леонтьевым, Л. М. Лопатиным, А.С. Макаренко, С.Л. Рубинштейном, В.А. Сухомлинским, К. Д. Ушинским, Н.Г. Чернышевским. Разработки деловых и имитационных игр в области активного обучения проводились также современными исследователями: И. Г. Абрамовой, Ю. С. Арутюновым, Н. В. Борисовой, А. А. Вербицким, С. С. Егоровым, В. М. Ефимовым, Р. Ф. Жуковым, С. Г. Колесниченко, В. Ф. Комаровым, В. Н. Кругликовым, В. Я. Платовым, А. М. Смолкиным, И. М. Сыроежиным и другими. Большую роль в распространении подобных методик играет практическая деятельность по пропаганде их в качестве основы активного обучения, личное участие педагогов, а также достижение практических результатов.

**Цель статьи** – анализ вариантов игровых занятий и их результативности в активизации учебного процесса и подготовке специалистов.

**Изложение основного материала.** Наиболее эффективными в развитии технологий обучения в образовании являются такие методы активного обучения, как игровое проектирование и анализ конкретных ситуаций. Игровое проектирование дает возможность воспроизводить в условиях учебного процесса работу над созданием или совершенствованием реального, условного или моделируемого объекта или процесса. В большинстве случаев деятельность учащихся направлена на коллективную работу над проектом.

**Условия проведения игровых занятий на кафедре ТММ и САПР.** Цель игры – приобретение и развитие профессиональных умений и практических навыков по созданию программного обеспечения в условиях конкуренции и открытости исходных кодов программ. Объектами моделирования в игре являются процедуры взаимодействия разработчиков программного обеспечения с заказчиком, коллегами и контролирующими органами. Выбор объектов моделирования объясняется тем, что системный подход к разработке программного обеспечения, применяемого в современных САПР, подразумевает тесное сотрудничество разных групп разработчиков и применение модульного принципа построения программного обеспечения. Введение в игру заказчика обусловлено необходимостью продемонстрировать играющим реальные

способы взаимодействия разработчика и менеджера проекта. В процессе игры у участников должны формироваться и закрепляться знания приемов и методов создания программ, состоящих из нескольких модулей. Кроме этого, в процессе проведения деловой игры играющие должны получить навыки такой работы, чтобы аккуратность была достигнута не только при составлении кода программы, но и при описании его структуры и принципа работы, в том числе при передаче его для работы коллегам.

**Легенда.** Для проведения учебного процесса кафедре необходимо иметь программное обеспечение, позволяющее проводить кинематические и силовые расчеты рычажного механизма структурных групп. Ассура второго класса в теории машин и механизмов. Это программное обеспечение должно обеспечивать не только возможность производства указанных расчетов, но и визуализацию как работы механизмов в схематичном виде, так и результатов расчетов в виде графиков. Кроме этого, указанное программное обеспечение должно позволять сохранять не только результаты расчетов, но и собранные кинематические схемы таким образом, чтобы было возможно для преподавателя создать банк типовых кинематических схем для последующей проверки представляемых к защите курсовых проектов. Заказчиком данной работы является заведующий кафедрой. Он же объявляет конкурс на создание указанного программного обеспечения. В общепринятой мировой практике такие разработки выполняются на общественных началах, но авторские права разделяют между собой как разработчик, так и заказчик. Заказчик в этом случае частично компенсирует трудозатраты для полностью выполненных работ, более близких к объявленным целям. Полной компенсации с получением прибыли подлежит разработка, полностью удовлетворяющая техническим условиям и, возможно, превышающая заданные технические параметры.

**Состав и функциональные обязанности участников игры.** Участниками игры являются: 1.Заказчик программного обеспечения. 2.Исполнители (участники конкурса на лучшую разработку). 3.Члены оценочной комиссии по приемке разработанного программного обеспечения. **Заказчиком** данной работы является заведующий кафедрой. Он же объявляет конкурс на создание указанного программного обеспече-

ния. В процессе игры заказчик может высказывать пожелания после представления промежуточных результатов работ исполнителей как отдельным участникам игры, так и всем одновременно. При этом он может по своему усмотрению выделить необходимое количество баллов в виде кредита для приобретения недостающих модулей с целью ускорения работы над указанной им частью программного обеспечения. **Исполнителями** (соискателями) являются студенты, выполняющие расчетное задание согласно учебному плану и в пределах часов, выделенных на выполнение данного задания. Исполнители могут свободно распоряжаться результатами своих разработок (продавать, отдавать безвозмездно).

**Члены оценочной комиссии** оценивают промежуточные и окончательные результаты работы согласно установленным правилам. Результаты оценки сообщают Заказчику. **Члены правовой комиссии** следят за соблюдением правил игры всеми участниками. Возможно совмещение должностей в комиссиях. Как правило, количество членов комиссий ограничено учебным планом и учебной нагрузкой и потому редко может превышать два члена комиссии.

**Правила игры.** Вся работа, выполненная в соответствии с заданием заказчика, оценивается в 500 баллов. Минимальное количество баллов, являющееся допуском к представлению работы перед заказчиком, – 200 баллов. В начале работы для возможных приобретений исполнителям выдается беспроцентный кредит – 250 баллов. Льготная беспроцентная ставка кредита действует только до окончания срока официального приема работ, определенного учебным планом дисциплины. Проценты после официального окончания приема работ начисляются в размере 1 % в день. Устанавливается следующая цена выполняемых работ: 1 библиотека 2–50 баллов; 1 объект, инкапсулирующий геометрические, кинематические и силовые параметры и методы расчета – 50–100 баллов; 1 интерфейс программы – 50–100 баллов; модуль построения графика – 50–100 баллов; модуль отображения таблицы параметров – 25–50 баллов; сертификация библиотек – 10 баллов. Оценивание выполненной работы производится согласно критериям, изложенными в таблице 1. Перевод баллов из национальной системы оценивания в систему ECTS производится согласно существующим на время проведения игры руководящим

инструкциям как университета, так и факультета, на котором проводится игровое занятие.

Таблица 1.

Критерии оценки проведенной работы

Баллы	Оценка
5	401–500
4	301–400
3	300–200

Разработке студентом в обязательном порядке подлежит модуль динамической библиотеки для расчета кинематических и динамических параметров группы своего варианта. В этом виде в случае успешной реализации он может свободно за баллы распространять этот модуль среди других студентов. Недостающие модули в виде динамических библиотек с описанием входящих и выходящих параметров студент может приобрести у других студентов, для которых модуль их варианта является обязательным к разработке. Процесс сопровождается заявлением на имя Заказчика с просьбой перевести на счет продавца необходимое количество баллов и указанием, какой модуль откуда и куда скопировать. В связи с тем, что конечное программное обеспечение у всех разработчиков содержит восемь одинаковых по функциональному назначению расчетных модулей, а разработке каждым студентом обязательным является только два модуля своего варианта, то в группе создается избыточное количество разработанных модулей. Таким образом, для создания полнофункционального программного обеспечения разработчик (студент) может выбрать лучший у своих коллег, поощрив свой выбор отложенными в качестве оплаты своими баллами (то есть приобрести за баллы). С другой стороны, разработчик лучшего модуля (модулей) может рассчитывать на продажу этих модулей по наивысшей цене в баллах. За достоверность расчетов в сдаваемой программе несет ответственность непосредственно разработчик, представляющий программное обеспечение, даже если ошибка содержится в приобретенном модуле. Поэтому разработчик может пойти следующими путями приобретения сторонних модулей (других производителей): а) поверить в работоспособность приобретаемого модуля и ничего более не предпринимать; б) после приобретения модуля

проверить его на тестовых примерах; в) сертифицировать его у членов правовой комиссии (за указанную плату). С целью обеспечения честности и во избежание получения сверхдоходов в группах с существенно различающимся уровнем начальной подготовки и познавательной активности участников, члены правовой комиссии следят за всеми сделками и не допускают сделок, которые выходят за рамки установленных правил.

**Содержание и процесс игры. Методические указания.** В начале игры проводится общий сбор исполнителей и оглашается техническое задание на проведение работ: создать программу для расчета кинематических и силовых параметров рычажного механизма структурных групп Ассура второго класса в теории машин и механизмов. Вся программа должна уметь рассчитывать указанные параметры для всех групп. Разработке студентом в обязательном порядке подлежит модуль динамической библиотеки своего варианта. Для возможности оценки правильности расчетов последние выводятся в виде таблицы. При выборе в таблице значений – механизм отображается на рисунке в заданной точке, на графике отображается указанная точка. Вид интерфейса программы – произвольный с учетом условностей стандарта общепользовательского доступа. График выполнения работы (табл. 2) объявляется на первом занятии.

Таблица 2.

#### График выполнения работы

№ недели	Объем работ
9-10	Создание расчетных модулей (Динамических библиотек)
10-12	Создание объектов и их тестирование
12-14	Создание интерфейса программы, графиков, изображений, таблиц
15	Оформление отчета
16	Сдача работ

Каждый этап заканчивается промежуточным отчетом. Во время отчета возможно проведение консультаций для разбора возникших вопросов. В процессе работы студенты могут приобретать недостающие модули, разработанные другими студентами за баллы (как полученные в виде кредита, так и заработанные). Члены правовой комиссии по заявке студентов переводят баллы с виртуальных счетов одних студентов на виртуальные счета других. Во избежание недоразумений каждый перевод

осуществляется после письменного заявления студента, отосланного по электронной почте. Выборочно может проверяться предмет сделки на предмет его соответствия заявленным качествам.

**Условия проведения игровых занятий на специальной кафедре – автомобиле- и тракторостроения.** Цель игры – приобретение и развитие профессиональных, практических навыков специального проектирования, представления результатов разработок, творческой работы в коллективе, проведения дискуссий и отработки в ходе игры рационального решения поставленной задачи.

**Объектами** моделирования в игре являются транспортное средство или его элементы конструкции, узлы или системы. При этом отрабатывается процедура взаимодействия разработчиков изделия с заказчиком, коллегами, ведущими специалистами кафедры и контролирующими экспертами. Выбор объектов игры определяется дисциплиной или группой дисциплин, которые обеспечивают решение поставленной задачи.

**Заказчиком** выступает руководитель игрового занятия, заведующий кафедрой или его заместитель. Для проведения игры на кафедре необходимо иметь техническую и конструкторскую документацию, методики выполнения решения поставленных задач. Кроме этого, необходимо предварительно дать представление участникам игрового занятия о сегодняшних проблемах, которые решаются ведущими производителями отрасли, и ее связь с решаемой задачей. При этом объявляется конкурс на лучшее решение задачи. Авторские права разделяют между собой разработчики и куратор, ставящий конкретную задачу и проводящий экспертизы предлагаемых решений. При разработках, отличающихся оригинальностью, заказчиком может выступить подразделения отраслевого предприятия. Промежуточные результаты исполнителей проверяются руководителем игры и его помощниками. Исполнителями работают студенты старших курсов, имеющие уже определенные навыки выполнения такого типа задач и базовые знания. Группа студентов делится на подгруппы. В каждой подгруппе назначаются главные конструкторы, начальники конструкторских бюро, которые и осуществляют работу. Оцениваются результаты работы в баллах по ряду критериев качества выполненной разработки, по активности студентов при представлении своих результатов и обсуждении решений своих коллег. Для оценки при-

глашаются эксперты с родственных кафедр, ведущие преподаватели и специалисты кафедры. В конце занятия выступают эксперты. Студенты, получившие наибольшие баллы, поощряются. Их разработка может быть зачтена как курсовой проект или работа, как сдача очередного модуля или экзамена в целом.

**Условия проведения в школе.** Применение игрового проектирования в чистом виде в школе также сегодня становится реальностью. Багаж базовых знаний формируется в средней школе. В силу специфики классно-урочной системы игровые занятия, которые носят комплексный характер, сложно применять часто, тем более ежедневно. Однако и в пределах средней школы существуют возможности организации получения и использования знаний в интегрированной форме. Такую возможность дает участие в различных предметных и научных конкурсах. Современные информационные технологии дают возможность широко применять различные методы обучения, в том числе и игровое проектирование в школе. В качестве примера можно рассмотреть участие в конкурсе Google Science Fair [<http://www.google.com/events/sciencefair/>]. Участие в таких конкурсах должно и может быть только добровольным. Поэтому заинтересовались возможностью работы над проектом только ученики с высокой познавательной активностью. Работа над двумя проектами двумя группами по три человека на начальной стадии вызвало высокую активность, несмотря на отсутствие опыта подобной деятельности. Даже при постановке задачи (в проекте это называлось формулированием вопроса) от учеников потребовалось умение привлечь к своей деятельности знания из различных школьных курсов. В процессе выполнения проекта ученики восполняли недостаток знаний самообразованием как из доступных школьных учебников, так и из сети интернет. К сожалению, группы не смогли в полном объеме реализовать запланированные исследования. При этом ученики в процессе совместной работы овладели набором знаний и умений для деятельности в коллективе, планирования исследований, самостоятельного получения недостающей информации.

**Выводы.** Анализ проведения игровых занятий в подразделениях вуза и школ позволил обобщить знания по организации игровых занятий. Участие в такого рода труде способствует расширению и укреплению

знаний, осознанию взаимосвязи теоретического и практического материала. Студенты и школьники начинают понимать на практике единство преподаваемых дисциплин и необходимость представления целостности знаний. При решении поставленных задач возникает необходимость самостоятельной работы, поиска исходной, базовой информации и решений, планирование работ. Игровые занятия укрепляют уважительные отношения друг к другу всех участников. На первый план выходят профессиональные, творческие показатели каждого участника

**Список литературы:** 1.Кириллова Г.Д. Теория и практика урока в условиях развивающего обучения. - М., 1980 - 198 с. 2. Гадяцький М.В., Хлебникова Т.М. Організація навчального процесу в сучасній школі. - Харків: Видавництво "Ранок", "Векста". - 2004. - 136 с. 3. Щедровицький П.Г. К анализу топики организационно-деятельностных игр.- Пущино: Научный центр биологических исслед. АН СССР, 1987. - 44 с. 4. Бельчиков Я.М., Бирштейн М.М. Деловые игры. – Рига: Автос, 1989.- 304 с. 5. Активизация обучения проектированию / Под ред. А.В. Горелого.- К.: УМК ВО, 1991. - 262 с.

Поступила в редакцию 20.06.11

**УДК 665.11**

**И.Н. ДЕМИДОВ,** докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,  
**Е.Н. ПИВЕНЬ,** канд.техн.наук, доц., НТУ «ХПИ»,  
**А.А. ДЕМИДОВА,** канд.техн.наук, ст.н. сотр., УкрНИИМЖ УААН,  
Харьков

## **ПОКАЗАТЕЛИ ОКИСЛЕННОСТИ ЖИРОВ, ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ**

В статье пропонується всі одиниці вимірювання різних показників складу і якості жирів, а саме: пероксидне число, анізідінове число, епоксидне число, кислотне число та йодне число привести до сучасного рівня – до вираження всіх показників у системі СВ. Також, пропонується метод визначення строку збереження жирів та жировмістивих продуктів у прискорених умовах

В статье предлагается все единицы измерения разных показателей состава и качества жиров, а именно: пероксидное число, анизидиновое число, эпоксидное число, кислотное число, йодное число привести к современному уровню – к выражению всех показателей в системе СИ. Также предлагается метод определения срока хранения жиров и жиро содержащих продуктов в ускоренных условиях

In article all units of measure of different parameters of structure and quality of fats, namely: peroxide number, anizidine number, epoxide number, acid number and iodine number to lead to a modern level - to expression of all parameters in system of SI is offered. Also, the method of definition of a period of storage of fats and fat-containing products in the accelerated conditions is offered

**Постановка задачи.** Окислительные превращения в жирах приводят к их потерям и ухудшению качества как на стадии добывания и переработки, так и на стадиях хранения и применения. Для использования жиров как пищевых продуктов наиболее важной является самая начальная стадия процесса окисления – окисление в так называемом периоде индукции. На более глубоких стадиях процесса окисления концентрация вредных и опасных для организма человека продуктов окисления становится такою, что жир более нельзя считать пищевым. К таким опасным для человека продуктам окисления относятся, прежде всего, пероксины, а также карбонилсодержащие соединения, соединения с эпоксидной группой и др. Концентрация этих соединений в жирах определяется такими функциональными числами как пероксидное (ПЧ), анизидиновое (АЧ), эпоксидное (ЭпЧ).

**Актуальность и целесообразность исследований.** Показатели ПЧ и АЧ, по чисто организационным причинам, относятся в настоящее время к показателям качества жиров, в то время как они должны относиться к показателям безопасности. Показатель ЭпЧ вообще не определяется в жирах и жировых продуктах. В то же время, соединения, содержащие эпоксидную группу в молекуле, достаточно опасны для здоровья человека. Эти соединения накапливаются в окисляющихся жирах на самых начальных стадиях процесса окисления. Реакция эпоксидирования двойных связей гидропероксидами давно известна. В жирах она с высокой вероятностью может протекать и во внутримолекулярном варианте. Нами получены данные о накоплении эпоксидных соединений (а также других продуктов) при окислении различных жиров. Из этих данных следует, что при некоторых условиях (такие условия могут иметь место при переработке жиров) величины эпоксидных чисел лишь немногим уступают величинам пероксидных чисел и выше величины анизидиновых чисел (выраженных в одинаковых единицах). Таким образом, игнорирование такого показателя как ЭпЧ становится совершенно необоснованным. В УкрНИИМЖ НААНУ разработана и утверждена в установленном по-

рядке методика определения эпоксидных соединений в жирах. Настало время вводить этот показатель окисленности жиров в число нормативных. Однако, какая величина этого показателя может быть предельно допустимой, пока не ясно. Ответить на этот вопрос обязаны медики. Но, как и в случае с пероксидным числом и с анизидиновым числом медицинские учреждения, наделённые правом устанавливать граничную величину показателя безопасности, требуют оплаты (и очень большой) за проведение такой работы, а УкрНИИМЖ НААНУ таких средств не имеет. Но если в случае упомянутых чисел мы могли ориентироваться на опыт других стран, то в случае с ЭпЧ такого опыта не имеет, ни одна страна. Таким образом, вопрос о величине предельно допустимого значения ЭпЧ в жирах остаётся открытым.

**Изложение основного материала.** Очень важной представляется проблема наличия различных единиц измерения для выражения концентрации продуктов окисления. Так концентрация гидропероксидов (ПЧ) выражается в  $\frac{1}{2}\text{O}$  ммоль /кг; концентрация карбонилсодержащих соединений (АЧ) выражается в безразмерных единицах, и представляет собою в конечном счёте оптическую плотность некоего аналитического раствора, концентрация кислот (КЧ), которую тоже, хотя и достаточно редко, можно причислить к показателям окисленности жира, выражается в мгКОН/г. Из всех перечисленных единиц, только  $\frac{1}{2}\text{O}$  ммоль/кг является единицей системы СИ. И если единицы КЧ скорее дань традиции, тянувшейся ещё с позапрошлого века (и, безусловно, эти единицы должны быть заменены единицами системы СИ – моль/кг или ммоль/кг), то величину АЧ, с нашей точки зрения, выражать в единицах оптической плотности - недопустимо. Конечно, концентрацию карбонилсодержащих соединений также нужно выражать в современных единицах системы СИ. Следует отметить, что концентрацию кислот, несмотря на всю архаичность единиц её выражения, легко можно пересчитать в моль/кг или ммоль/кг, то с единицами концентрации АЧ дело обстоит гораздо сложнее. Даже знание расчётной формулы для определения АЧ из ДСТУ (кстати приведенной как в методике ИСО так и в ДСТУ ИСО с ошибкой) не дает возможности посчитать концентрацию карбонилсодержащих соединений. Для такого расчёта необходимо провести экспериментальную работу по определению коэффициента экстинкции. Вообще-то такая рабо-

та была проделана в УкрНИИМЖ УААН и её результаты изложены в [4]. Особенno странным, с точки зрения используемых единиц измерения, представляется такой показатель как тотокс (тотальное число окисления). Для расчёта этого показателя суммируют величину анизидинового числа с удвоенной величиной пероксидного числа. При всей условности этого показателя, и практической направленности, способ его расчёта (просим прощения за резкость) напоминает расчёт незадачливого первоклассника складывающего яблоки и парты! Это не просто неудобно или архаично – это безграмотно!

Среди единиц измерения показателей состава и качества жиров есть ещё одна архаичная единица – единица выражения йодного числа – г  $I_2/100\text{г}$ . Хотя она и не относится к единицам показателей окисленности жиров, однако и в измерении степени ненасыщенности жиров (а она меняется в ходе окисления) следует применять современный подход.

Без всякого сомнения, в единицах измерения различных показателей состава и качества жиров необходимо прийти к современному уровню – к выражению всех показателей в системе СИ.

Представляется, что проблема определение срока хранения жиров и жиро содержащих продуктов в ускоренных условиях весьма интересна как с практической, так и с теоретической точек зрения. Очень важны исследования, призванные установить связь между периодом индукции окисления (а это и есть гарантированный срок хранения жирового продукта) и составом этого жирового продукта. При этом определение самого периода индукции должно осуществляться в модельных условиях ускоренным методом. В настоящее время к наиболее распространённым методам определения периода индукции окисления жиров можно отнести три из них. Первый – это наиболее известный, старый, но и наиболее трудоёмкий метод, так называемый, метод активного кислорода с большим числом модификаций и вариантов. Сущность метода в окислении образца жира воздухом (или кислородом) в условиях повышенной температуры. При этом отбираются пробы, в пробах анализируются как правило, первичные продукты окисления – гидропероксиды. По графику зависимости величины пероксидных показателей от времени определяют период индукции. Второй метод – волюметрический (газометрический), реализуемый на специальной установке. Его сущность заключается в из-

мерении количества кислорода, поглощаемого навеской окисляемого вещества в закрытой термостатируемой ячейке, при повышенной температуре и атмосферном давлении. График зависимости поглощения кислорода образцом жира от времени позволяет определить период индукции, а также скорость окисления на начальном этапе процесса. Третий метод, реализуемый на приборе «Рансимат» в настоящее время наиболее распространён в Украине и некоторые предприятия МЖП и других отраслей имеют такие приборы.

Сущность метода заключается в продувании кислорода (или воздуха) через термостатируемую ячейку и фиксации времени появления летучих продуктов окисления в отходящих из ячейки газах. Все три метода дают разные результаты для одного и того же образца жира. Особенно отличаются результаты первого и третьего методов и эти различия тем больше чем ниже температура эксперимента. Ещё хуже то, что ни один из методов не позволяет рассчитать период индукции окисления при комнатной и более низкой температуре по результатам испытаний в условиях относительно высокой температуры ( $70^{\circ}\text{C}$  –  $120^{\circ}\text{C}$ ). Обычно определяют период индукции исследуемого образца жира и образца весьма близкого к нему по жирнокислотному составу, но с известным сроком хранения (контроль). Если период индукции исследуемого образца жира больше (или равен) периода индукции образца с известным сроком хранения, то считают, что срок хранения исследуемого образца при любой температуре будет не меньше, чем контрольного. Хорошо известно [1,2], что длительность периода индукции подчиняется выражению:  $\tau = [\text{InH}]/\text{Vi}$ ; где  $\tau$  – период индукции;  $[\text{InH}]$  – концентрация ингибиторов в жире;  $\text{Vi}$  – скорость инициирования из всех источников. Скорость инициирования зависит от скорости распада гидропероксидов и образования свободных радикалов по реакции:  $\text{RH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{R}^\cdot + \text{OOH}$ .

При этом скорость радикалообразования за счёт распада гидропероксидов, как и скорость реакции  $\text{RH} + \text{O}_2$  косвенно учитывает и концентрацию металлов переменной валентности, и их природу, и наличие и концентрацию иных примесей. Скорость радикалообразования при распаде гидропероксидов жиров может быть определена экспериментально для различных концентраций этих соединений при различных температурах и для различных жиров. Хотя в литературе [3] имеются сведения о

скорости распада гидропероксидов метиловых (иногда этиловых) эфиров различных жирных кислот, но эти сведения получены для высоко чистых веществ, да к тому же не ацилглицеролов и могут быть использованы в расчёте периода индукции жиров лишь как оценочные. Для практических нужд необходимо установить скорость радикалообразования как за счет реакции распада гидропероксидов, так и для реакции  $RH + O_2$  для образцов жиров с различным жирнокислотным составом, при различных температурах, со стандартными показателями качества да ещё и при вариации этих показателей. В рамках изучения этой проблемы нами было показано, что существует корреляционная зависимость (с высоким коэффициентом корреляции) между периодом индукции и жирнокислотным составом жира, весьма простого вида:

$$\tau = C_0 + C_1[1/RH1] + C_2[1/RH2] + C_3[1/RH3] + C_4[1/RH4]$$

где:  $C_0; C_1; C_2; C_3; C_4$  – эмпирические коэффициенты;  $RH1; RH2; RH3; RH4$  – содержание жирных кислот в исследуемом жире насыщенных, мононенасыщенных, диненасыщенных и триненасыщенных соответственно. Эта зависимость была получена при одной температуре и при практически одинаковых значениях  $[InH]$  и  $[ROOH]$  для всех образцов исследованных жиров.

**Выводы.** Таким образом, полная формула для расчёта периода индукции по данным состава жира при различных температурах должна включать в себя ещё и зависимость от  $[InH]$ ,  $[ROOH]$  и  $t^{\circ}C$ . Однако полученная нами зависимость периода индукции от жирнокислотного состава даёт все основания утверждать, что теоретический расчёт периода индукции с приемлемой точностью возможен.

**Список литературы:** 1. Денисов Е.Т. Механизм жидкофазного окисления кислородсодержащих соединений / Денисов Е.Т., Мицкевич В.И., Агабеков В.Е. – Минск.: Наука, 1975. – 336 с. 2. Денисов Е.Т., Окисление и стабилизация реактивных топлив / Е. Денисов, Г. Ковалев - М.: Химия, 1983. – 272 с. 3. Денисов Е.Т. Константы скорости гомолитических жидкофазных реакций / Денисов Е.Т. - М.: Наука, 1971. – 711 с. 4. Демидов И.Н. Образование карбонилсодержащих соединений на начальных стадиях окисления подсолнечного масла / Демидов И.Н. Олійно-жировий комплекс. - 2003, № 3, с. 49–50.

Поступила в редакцию 23.06.11

УДК 665.35

**C.В. ВОЛОШЕНКО**, студентка, НТУ «ХПІ»,  
**A.С. ЗАКОЛОНДНА**, студентка, НТУ «ХПІ»,  
**Є.В. НИЧИПОРЧУК**, студентка, НТУ «ХПІ»,  
**I.С. ШЕПЕЛЕНКО**, студентка, НТУ «ХПІ»,  
**O.М. РУДЬКО**, студентка, НТУ «ХПІ»

### **Елементи олійно-жирового виробництва майбутнього**

В статье приведена разработка вариантов технологических схем переработки семян подсолнечника с элементами инновационных технологических решений. Показаны основные возможности безотходных технологий – снижение количества стадий и материалоемкости; технология является ресурсосберегающей, экологически чистой и безопасной для человека

У статті приведена розробка варіантів технологічних схем по переробці насіння соняшника з елементами інноваційних технологічних рішень. Показані основні підходи щодо безвідходності технологій – зменшення кількості стадій та матеріалоємності; технологія є ресурсозберігаючою, екологічно чистою і безпечною для людини

The variant design of flowsheets for processing sunflower seeds with elements of new technological solutions is presented in the paper. The main possibilities of wasteless technology – number steps and material consumption diminution were shown in the paper: the technology is resource-saving, environmentally appropriate technology and safe practice

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Народження нових технологій завжди носило революційний характер, але з іншого боку, технологічні революції не знищували класичні традиції. Кожна попередня технологія створювала певну матеріальну й культурну базу, необхідну для появи наступної. Кожна зміна поколінь засобів інформативної техніки й технології потребує перенавчання й радикальної перебудови інженерного мислення спеціалістів, зміни надзвичайно дорогого технологічного обладнання і створення все більш масової обчислювальної техніки. Ця стаття складена за результатами творчої роботи групи студентів О-42а, які виконували проект в ігровій формі під керівництвом доцента кафедри технології жирів Попсуйшапки Алли Валентинівни і ця стаття є наше бачення новітніх технологій в олієвидобуванні. Будь-які технології, в тому числі і харчові, базуються на фундаментальних дослідженнях. В

олієвидобувній галузі фундаментальними дослідженнями з використанням електронної мікроскопії розширені знання о клітинній будові олійного насіння, отримані нові дані про клітинну будову, капілярно-шпаристу структуру, її зміни в процесі обробки, встановлені закономірності, що відбуваються в насінні у процесі дозрівання, зберігання та ін. Були поставлені певні задачі перед селекціонерами по технологічним властивостям насіння. І на сьогоднішній момент постало питання о необхідності перегляду існуючих теорій олієвидобування, та на її основі розробити ряд технологій, які дозволять отримувати більш високоякісну олію та харчовий рослинний білок.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Олію та рослинний білок, у силу їх хімічної будови, можна розглядати як одні із головних джерел функціональних інгредієнтів, таких як ПНЖК, фосфоліпіди, фітостерини, амінокислоти, токофероли та ін, які грають важливу фізіологічну роль в обмінних процесах в організмі. Концепція здорового харчування висуває певні вимоги до якості харчових продуктів, їх функціональним властивостям, в певній мірі залежить від рівня вибраної технології переробки. Тому технологічний процес вилучення олії та наступної її переробки повинні бути побудовані таким чином, щоб по можливості зберегти природні властивості продукту[1].

Таким чином, у відповідності до завдання нашою групою виконано комплексний курсовий проект, метою якого було розробка варіантів технологічних схем по переробці насіння соняшника з елементами нових прогресивних технологічних рішень. Вибір цих технологічних рішень обґрутовано та є результатом глибокого опрацювання літератури по питанню, що вивчається.

В проекті технологічний процес виробництва рослинної олії представлено двома варіантами схем, одна з яких згідно за традиційною технологією пресування-екстракція, але з елементами новизни щодо підготовчих процесів. Другий варіант – є технологія отримання олії без стадії пресування та екстракції, а з використанням гідролітичних ферментів. Обидві схеми передбачують отримання білкових продуктів. А схема вилучення олії за допомогою ферментів – харчового рослинного білка. В цих двох схемах є одне, дуже важливе технологічне рішення, що їх

об'єднує – це технологія отримання безлушпинного ядра, на якій базуються всі новітні технології по отриманню харчового білка соняшника.

В олієвидобувній галузі на сьогоднішній день існує проблема отримання низьколушпинного ядра, оскільки сучасні методи не дозволяють повністю обрушити насіння, завдяки тому, що при селекції насіння соняшника на високий вміст олії змінені їх технологічні характеристики. В ігровому проекті було поставлено за мету виконати деякі наукові дослідження, які стосуються питань щодо процесів руйнування оболонки насіння високоолійного соняшника для одержання низьколушпинного ядра.

В спеціальній літературі [7] існує достатньо інформації про способи руйнування оболонки насіння соняшника, та її відокремлення від ядра, але на практиці задовільних результатів по якості обрушування гібридного насіння не отримано. На початку 70-х років минулого століття з'явилася публікація про застосування методу обрушенння за допомогою високовольтного розряду в рідині – електро-гіdraulічний ефект (ЕГЕ) [3]. Суть методу полягає в наступному: при протіканні електричного розряду високої напруги в рідині виникають імпульси високого гіdraulічного тиску, здатні проводити роботу руйнування і пластичної деформації. Фізична суть методу полягає у виникненні ударної хвилі (що досягає високого тиску в 1000 атмосфер і рухомої з постійною швидкістю). ЕГЕ супроводжується комплексними явищами такими як: могутні ударні хвилі, переміщення потоку в рідині з великими швидкостями та ін. Цей спосіб використовували при обрушуванні високоолійного соняшника «мокрим» методом.

Завдяки тому, що технологія видалення олії за допомогою ферментів здійснюється у водному середовищі, то доцільно було б визначити чи буде досягнута необхідна ступінь руйнування клітин ядра у воді. Тому нами було прийнято рішення щодо застосування ЕГЕ в цих технологічних операціях.

**Наш експеримент проводили таким чином:** наважку масою 300 г поміщали в електро-гіdraulічну камеру до рівня вище за електроди. Обробку проводили у водному середовищі (з температурою води 16 – 18 °C) при наступних режимах: напруга варіювалася в інтервалі 31 – 29 кВ, число розрядів складало від 21 до 96. Оскільки, у нас була можливість про-

вести дослідження в одному зразку і при перерахованих режимах, то коефіцієнт обрушенння, за нашими розрахунками склав – 0,29 %, що є незадовільним з точки зору апаратурного оформлення процесу обрушування. Результати експерименту не задовольняють нас, оскільки більше 50 % складає січка і олійний пил. Лушпиння хоч і дробилося по волокну уздовж довгої осі, але на безліч дрібних частин, що зумовило високий ступінь поглинання лушпинням вологи.

Поки що немає можливості судити про доцільність застосування цього методу через невелику кількість експериментальних даних. Застосування методу ЕГЕ стримується також тим, що за нашими дослідженнями ядро дуже швидко поглинає вологу і вологість може збільшитися від 8,0% до 35 % за 5 хвилин. Все це негативно позначається на якості ядра.

В літературі також відомі спроби отримання безлушпинного ядра при виробництві ядра кондитерського так, наприклад, це технологія Іхно, яка дозволяє отримати ядро з вмістом лузги від 0,5% до 3,0 [5]. Технологія базується на трьох принципах:

- 1) калібрування насіння за розмірами на 4-6 фракцій, необхідне для зведення різноякості насіння до мінімуму;
- 2) сушка фракцій каліброваного насіння - для отримання насіння однакової вологості, оскільки сила удару насіння о деку в полі від центральних сил залежить від коефіцієнта тертя, а він від вологості;
- 3) подвійне обрушування на насіннярушці IXHO. Для кожної фракції підбирають свої параметри обрушування: швидкість обертання ротора, величина зазору каналів, та ін.

За такою технологією можна одержувати вихід ядра цілого зожної фракції в середньому 65-70% до маси рушанки без лушпиння і пилу. Тому цю технологію було запропоновано як базову, тому що вона має переваги і дає кращі показники у порівнянні з іншими. Наступною стадією з запропонованій нами технології одержання олії за першим варіантом схем є технологія пресування. Представлена схема відрізняється від загальноприйнятих уведенням нових елементів технології. Основною методою рішення даної технології є одержання олії з високими технологічними цінностями, із збереженням її біологічно-активних компонентів. Створюються такі режими, при яких одержання олії можливо без зміни

ядра, його жаріння і пресування на шнекових пресах. Друга гілка нашої технології включає отримання безлушпинного ядра, подрібнення ядра насіння соняшника та вилучення олії за допомогою ферментів, що є перспективним напрямком.

В класичній технології для зрушення структур рослинної клітини використовують механічну та вологотеплову обробку, після чого шляхом пресування видаляють сиру харчову олію. Залишкову кількість олії вилучають з макухи екстракцією за допомогою вуглеводневих розчинників, що робить виробництво пожежовибухонебезпечним. Технологія очистки олії від розчинника багатостадійна. Ферментативна обробка рослинної сировини дозволяє вилучати олію у м'яких умовах, зберігаючи фізіологічну та поживну цінність олії. Відпадає необхідність використання вуглеводневих розчинників, істотно збільшується екологічна безпека виробництва. В основі ферментативних способів вилучення рослинної олії – є гідролітичне розщеплення не ліпідних компонентів сировини у водневих середовищах з наступним виділенням олії з емульсії.

Під час підготовки сировини для гідролізу необхідно по можливості повно вивільнити насіння від покровних тканин, в яких міститься велика кількість важкогідролізуємих полімерів – целюлози та геміцелюлози. Якщо для вилучення соняшникової олії по класичній технології використовується сировина з лушпинністю біля 10 %, то для ферментної обробки підходить лише партія з лушпинністю нижче 1 %. Фактор, що лімітує процес ферментації рослинної сировини є швидкість дифузії продуктів гідролізу. Тому ефективне використання ферментів можливо лише при високому степені подрібнення сировини [3].

Оскільки метод ЕГЕ дає можливість створювати у середовищі, що випробовується, імпульси високого гіdraulічного тиску, які здатні здійснювати роботу руйнування та пластичної деформації та вивчивши літературні дані, ми вирішили провести наукові досліди та запропонувати в якості стадії подрібнення використати метод ЕГЕ з метою подальшого вилучення олії з рослинної клітини за допомогою ферментів (ендопротеаз, пектиназ) [2].

Для проведення дослідів було взято зразки ядра соняшника, які за якісними показниками відповідають ДСТУ «Ядро соняшника», в яких були визначені показники вологості та олійності. Зразок масою 450 г по-

міщали в комірку. Туди ж додавали воду при температурі 16-18 °C у кількості 980 мл таким чином, щоб були повністю вкриті електроди.. Були використані різні режими обробки. Змінювали напругу та кількість розрядів в одиницю часу (зі зменшенням напруги з 31 до 27 В збільшилося кількість розрядів з 9 до 51). При таких режимах обробки ядро подрібнювалося від грубого помолу до більш тонкого і кількість ядра тонкого помолу складало більш 50 % від маси ядра. Важливо в цьому експерименті визначити кількість олії, яка видаляється в розчин під час дезінтеграції клітини та руйнування її структур, а також ступінь переходу кількості білкового азоту в розчин за термін обробки. За відповідними методиками [8] проводили осадження фракцій рослинного білка з застосуванням буферних розчинів, що сприяло зниженню жироутримуючій здібності білка. Для вирішення задачі виділення олії з емульсії, що утворилася, у водній фазі використовувалися певні прийоми для зниження ступеню дисперсності емульсії та прийоми, що сприяють збільшенню розчинності білків. Експерименти проводили таким чином: після подрібнення ядра сояшника в водному середовищі за допомогою метода ЕГЕ, матеріал отримували у вигляді суміші часток з різним ступенем подрібнення ядра, яку потім розділяли на тверду та рідку фази в полі відцентрових сил. З об'єму водної фази екстрагували гексаном вільні ліпіди, а потім у водну фазу додавали певну кількість 0,1м HCl для осадження білкових речовин при значенні pH=4. Після фільтрації, промивки та висушуванні осаду, що утворився, визначали вміст вологи, а потім і вміст азоту [9]. Тверду фазу підсушували, визначали вміст вологи в середній пробі та вміст азоту (табл. 1).

Таблиця 1.

Баланс сухих речовин

Ядро насіння сояшника	Осад у водній фракції	Тверда фракція	Втрати
Вміст загального азоту у % на абсолютно суху речовину			
7,6*	0,37	7,15	0,08
Вміст олії у % на абсолютно суху речовину			
60,35	22,4	37,9	0,05

\*примітка: кількість азоту водорозчинного в ядрі сояшника за літературними даними складає 0,65%.

Експериментальні дані дали можливість зробити деякі висновки:

1. Метод електрогідрравлічного ефекту може бути застосовано для дезінтеграції рослинної клітини у водному середовищі.

2. При обробці ядра соняшника методом ЕГЕ при відповідних режимах можливо отримувати ядро тонкоподрібнене у вигляді м'ятки. Але за рахунок високої водопоглинаючої здібності м'ятки та набухання білків, об'єм твердої фази збільшується в 1,5-2 рази, що змінювало умови проведення експерименту. Тому треба додавати в електро-гідрравлічну камеру кількість води до наважки ядра у співвідношенні не менш 4:1.

3. За термін обробки ядра соняшника методом ЕГЕ при  $t=18$  °C у водний розчин переходить приблизно 65% водорозчинного білка та до 40% рослинної олії, від її загальної кількості, (без застосування ферментних препаратів).

Технологічний процес вилучення рослинної олії здійснюється за такою схемою. Подрібнене після ЕГЕ безлушпинне ядро направляється безпосередньо на ферментацію у трьохсекційний реактор колонного типу з мішалками. Сюди ж подається вода при гідромодулі 1:1 та комплексний фермент, що містить протеазу та целюлазу у кількості відповідно 0,1 – 0,5 од. на 1 г сировини. Процес відбувається на протязі 1 години при температурі 40 – 45 °C. В даній схемі по закінченні гідролізу в реакційну середу додають гарячий розчин повареної солі (температура 85 – 85 °C). І направляють систему на центрифугування, де виділяється фракція твердого осаду, що подається на повторну екстракцію розчином солі та фракція олійно-водно-білкова, яка направляється на сепарацію.

Отримана олійна фракція піддається вакуум-сушці та може виступати в ролі готового продукту, так як є джерелом вітамінів, фітостеринів, токоферолів та ін., тобто є функціональним жировим продуктом. Водно-білкова фракція підлягає подальшій переробці, для отримання харчового білка соняшника, чистого, незабрудненого шкідливими для людини домішками. Отриманий білок може вирішити проблему недостачі його в раціоні харчування населення України. Тому що білок добре збалансований по амінокислотному складу.

Білки, вилучені з олійного насіння, відділені від речовин небілкового характеру, вони є цінними харчовими продуктами. Їх використання в м'ясній, молочній, хлібопекарській, консервній промисловості має вели-

ке значення [3]. При складанні технологічних схем виконувались відповідні розрахунки матеріальних і теплових балансів, розрахунки обладнання. Було виконано компоновку обладнання для технології вилучення олії за допомогою ферментів. Вона представлена двома цехами: цех по отриманню безлужпинного ядра та цех безпосередньо вилучення олії ферментацією. Компонування обладнання виконано враховуючи усі основні принципи: безпеки проведення процесу, зручності монтажу, де-монтажу та експлуатації.

### **Виводи.**

Таким чином, можна сказати, що ця технологія по праву може називатися технологією майбутнього, бо тут реалізовані всі основні підходи щодо безвідходності технологій: зменшення кількості стадій; зменшення матеріалоємності; технологія є ресурсозберігаюча, екологічно чиста і безпечна для людини.

За результатами підсумків ігрового проектування на кафедрі технології жирів наша група за кількістю отриманих балів в період проектування посіла 1 місце.

**Список джерел інформації:** 1. Лисицын А.Н., Григорьева В.Н. Масложировые технологии: теория, практика, перспективы // Масложировая промышленность, 2002, №3, с. 8 – 11. 2. Осейко М. I. Технология рослинных олії. – К.: Варта. – 2006. – 280 с. 3. Масликов В.А., Исаев-цев К.И. Применение высоковольтного разряда в жидкости для обрушивания семян высоко-масличного подсолнечника // Масложировая промышленность, 1971, № 5, с. 4 – 5. 4. Извлечение масла из растительного сырья с применением ферментов // Обзор. Информационная серия «Масложировая промышленность». / АгроНИИТЭИПП. – 1992. – Вып. 5. – с. 15 – 21. 5. Ихно Н.П. Теория и практика выделения масла и пищевых белков из безлузгового ядра подсолнечника // Масложировая промышленность, 2005, № 4, с. 5 – 7 . 6. Пат.2044034 С1 Россия С 11 Е 1/10. Способ извлечения растительного масла. 7. Совершенствование технологии и оборудования подготовительных процессов переработки подсолнечника // Обзорная информация. Сер. «Масложировая промышленность» / АгроНИИТЭИПП. – 1990. – вып.5. – С.1–32. 8. Щербаков В.Г. Получение белковых продуктов из растительного сырья. М.: Агропромиздат, – 1987, – 152 с. 9. Лабораторный практикум по технологии производства растительных масел / В.М. Копейковский, А.К. Мосян. – М.: Агропромиздат, 1990. – 191с.

*Надійшла до редколегії 20.05.11*

## **Содержание**

### **ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ Й НАУКОВІ РОЗРОБКИ**

1. <b>Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, С.И. БУХКАЛО, А.Ю. ПЕРЕВЕРТАЙЛЕНКО, О.П. АРСЕНЬЕВА</b> ЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ТЕПЛООБМЕННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ КОНВЕРСИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ	3
2. <b>Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, С.І. БУХКАЛО</b> МОЖЛИВОСТІ УПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМІ КОМПЕТЕНЦІЙ У СУЧASНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ	13
3. <b>Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, Л.М. УЛЬЕВ, И.Б. РЯБОВА, А.А. КОВАЛЬЧУК</b> ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ СМЕСИ МЕТАНОЛ-ЭТАНОЛ	20
4. <b>В.В. МАТВЕЕНКО, В.Т. ТУРЧИН, В.А. ПЫЛЁВ, В.Т. КОВАЛЕНКО, С.В. ОБОЗНЫЙ, И.А. НЕСТЕРЕНКО</b> ВЛИЯНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО СТРУЙНОГО МАСЛЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПОРШНЯ НА РЕСУРСНУЮ ПРОЧНОСТЬ КРОМКИ ЕГО КАМЕРЫ СГОРАНИЯ	29
5. <b>Л.М. УЛЬЕВ, К.О. СІЛЬЧЕНКО</b> ІНТЕГРАЦІЯ ПРОЦЕСУ РЕКТИФІКАЦІЇ ЧАСТКОВО РОЗЧИННОЇ АЗЕОТРОПНОЇ СУМІШІ ФУРФУРОЛ-ВОДА	33
6. <b>Е.А. ШУЛЬГИНА, С.В. ЕРЕМЕНКО, А.Г. ТРОШИН</b> МЕХАНО-РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСАДКОВ ШНЕКОВЫХ ЦЕНТРИФУГ	39
7. <b>С.И. БУХКАЛО, Н.Н. ЗИПУННИКОВ, О.А. БЫНДЫЧ</b> ВОЗМОЖНОСТИ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ИННОВАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	46
<b>МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ</b>	
8. <b>Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, Л.М. УЛЬЄВ, Д.Д. НЕЧИПОРЕНКО</b> МІНІМІЗАЦІЯ ПОВЕРХНІ ТЕПЛООБМІНУ У ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА ГІПОФОСФІту НАТРИЮ	54
9. <b>А.В. МАТЮХА, В.В. МАТВЕЕНКО, В.А. ПЫЛЁВ</b> ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕСИММЕТРИЧНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ПОРШНЯ ДИЗЕЛЯ	63
10. <b>М.Ф. КЛЕЩЕВ, Т.Д. КОСТИРКІНА, М.А. ФІЛІППОВА</b> ОПТИМАЛЬНІ УМОВИ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЕНІЛАЛАНІНУ	67
11. <b>С.И. БУХКАЛО, С.Е. ГАРДЕР, О.И. ОЛЬХОВСКАЯ, А.А. БОРХОВИЧ, О.И. ХИМИЧ, К.И. СТАВРОВА, О.Ю. ВАЛЕНОВА, А.А. ТАРЕЛИН</b> РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА КОМПЛЕКСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ	72
<b>ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ЯК ЗАДАЧІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ІННОВАЦІЙ</b>	
12. <b>Л.М. УЛЬЕВ, Л.А. МЕЛЬНИКОВСКАЯ, Р.А. РОБЛЕС КУДРИН</b>	81

ЭКСТРАКЦІЯ ДАННИХ ДЛЯ ТЕПЛОВОЇ ІНТЕГРАЦІИ ПРОЦЕССА АТМОСФЕРНОЇ ПЕРЕГОНКИ НЕФТИ НА УСТАНОВКЕ АВТ А12/6	
<b>13. Н.Е. ЗАГОРУЛЬКО, Л.М. УЛЬЄВ, А.О. ГАРЕВ, М.В. НЕХАЄНКО</b>	
ЕКСТРАКЦІЯ ДАНИХ ДЛЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГІДРОЛІЗНОЇ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ	90
<b>14. Л.М. УЛЬЄВ, Е.В. ПОЛИВОДА</b>	
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ГАЗОФРАКЦИОНИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ	97
<b>15. Л.М. УЛЬЄВ, А.О. ГАРЕВ, В.М. СОЛОВЕЙ, Ю.М. ЯРМОЛЕНКО</b>	
ІНТЕГРАЦІЯ АМІАЧНОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ЦИКЛУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	105
<b>16. А.В. ЕФИМОВ, А.Л. ГОНЧАРЕНКО, Т.А. ГАРКУША</b>	
АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ	113
<b>17. Л.М. УЛЬЄВ, А.П. ЮЗБАШЬЯН</b>	
ЭКСТРАКЦІЯ ПОТОКОВЫХ ДАННИХ НА УСТАНОВКЕ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ НА АВТ А12/2 ПРИ РЕЖИМЕ РАБОТЫ С ВАКУУМНЫМ БЛОКОМ	118
<b>ІННОВАЦІЙНІ ЗАХОДИ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНОГО СТАНУ ПІДПРИЄМСТВ</b>	
<b>18. Л.М. УЛЬЄВ, С.О. БОЛДИРЄВ, М.А. ВАСИЛЬЄВ</b>	
ЕКОНОМІЧНО ОБГРУНТОВАНА ТЕПЛОВА ІНТЕГРАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ КОКСОВОГО ГАЗУ ВІД БЕНЗОЛЬНИХ ВУГЛЕВОДНІВ	125
<b>19. С.И. БУХКАЛО, Р.Ф. СМОЛОВИК, О.И. ОЛЬХОВСКАЯ, Д.Ю. ЗАДНЕПРОВСКАЯ, Д.В. СЕВОСТЬЯНОВА, О.К. ПОЗДНЯКОВА</b>	
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЕКОНОМІЧЕСКОЇ ОЦЕНКИ КОМПЛЕКСНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ОТХОДОВ ПОЛІМЕРОВ	133
<b>20. С.И. БУХКАЛО С.И., Н.Н. ЗИПУННИКОВ, О.И. ОЛЬХОВСКАЯ, Н.Е. ТВЕРДОХЛЕБОВА, А.А. БОРХОВИЧ, А.И. НИКОЛАЕВА, Н.И. РИКУСОВА, А.В. ПЕТРОВА, О.А. БЕЗУГЛОВА</b>	
АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ КОМПЛЕКСНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ОТХОДОВ ПОЛІМЕРОВ	140
<b>21. М.М. МАСТЕРНА, Р.Ф. СМОЛОВИК</b>	
ПРОБЛЕМИ ЩОДО ЗАХОДІВ З ПДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОСНОВНИХ ЗАСОБІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ В СУЧАСНИХ УМОВАХ КРИЗОВОЇ СИТУАЦІЇ	146
<b>22. І.Ю. БЕРКО, Р.Ф. СМОЛОВИК</b>	
АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ ОПЛАТЫ ТРУДА В СОВРЕМЕННЫХ КРИЗИСНЫХ УСЛОВИЯХ	152
<b>23. В.И. СЕРИКОВ, Н.Е. СЕРГІЕНКО, Н.Г. МЕДВЕДЕВ, А.В. СЕРИКОВА</b>	
ИГРОВЫЕ ЗАНЯТИЯ КАК МЕТОД АКТИВИЗАЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ЗНАНИЙ	156
<b>24. И.Н. ДЕМИДОВ, Е.Н. ПИВЕНЬ, А.А. ДЕМИДОВА</b>	
ПОКАЗАТЕЛИ ОКИСЛЕННОСТИ ЖИРОВ, ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ	164
<b>25. С.В. ВОЛОШЕНКО, А.С. ЗАКОЛОДНА, Є.В. НИЧИПОРЧУК, І.С. ШЕПЕЛЕНКО, О.М. РУДЬКО</b>	
ЕЛЕМЕНТИ ОЛІЙНО-ЖИРОВОГО ВИРОБНИЦТВА МАЙБУТНЬОГО	170

Наукове видання

**ВІСНИК  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
«ХПІ»**

Збірник наукових праць

Тематичний випуск  
**«Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів»**

№ 21'2011

Відповідальний за випуск к.т.н. І.Б. Обухова  
Наукові редактори Л.М. Ульєв, С.І. Бухкало  
Технічний редактор О.І. Ольховська

Обл.-вид. № 101-11

Підп. до друку 12.07.2011 р. Формат 60x84 1/16. Папір офісний.  
RISO-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 10,4. Наклад 300 прим. 1-й з-д 1-100

---

Видавничий центр НТУ «ХПІ».  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.  
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

---

Друкарня НТУ «ХПІ», 61002, Харків, вул.. Фрунзе, 21