

ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«Харківський Політехнічний Інститут»

Збірник наукових праць

Тематичний випуск

«Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів»

10'2012

Видання засновано Національним технічним університетом
«Харківський політехнічний інститут» у 2001 році

Державне видання
Свідоцтво Держкомітету
з інформаційної політики України
КВ № 5256 від 2 липня 2001 года

КООРДИНАЦІЙНА РАДА:

Голова:

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

Секретар:

К.О. Горбунов, канд. техн. наук, доц.

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.
Є.І. Сокол, д-р техн. наук, проф.
Є.Є. Александров, д-р техн. наук, проф.
А.В. Бойко, д-р техн. наук, проф.
М.Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.
А.І. Грабченко, д-р техн. наук, проф.
В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.
В.Д. Дмитриєнко, д-р техн. наук, проф.
І.Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.
В.В. Епифанов, канд. техн. наук, проф.
Ю.І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.
П.О. Качанов, д-р техн. наук, проф.
В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.
С.І. Кондрашев, д-р техн. наук, проф.
В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.
В.І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.
Г.В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.
В.С. Лупіков, д-р техн. наук, проф.
О.К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.
В.І. Николаєнко, канд. іст. наук, проф.
П.Г. Перерва, д-р екон. 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. Тимофієв, д-р техн. наук, проф.
М.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Відповідальний редактор:

Л.М. Ульєв, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар:

С.І. Бухкало, канд. техн. наук, проф.

Ф.Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.
О.В. Горелий, канд. техн. наук, проф.
О.В. Григоров, д-р техн. наук, проф.
А.Г. Гурін, д-р техн. наук, проф.
І.Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.
О.В. Єфімов, д-р техн. наук, проф.
П.О. Капустенко, канд. техн. наук, проф.
С.І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.
О.С. Куценко, д-р техн. наук, проф.
В.І. Мілих, д-р техн. наук, проф.
М.І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.
В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.
М.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.
В.І. Тошинський, д-р техн. наук, проф.

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків,
вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХП»

Кафедра інтегрованих технологій,
процесів та апаратів
Тел. (057) 707-63-04
E-mail: bis.khr@gmail.com

Харків 2012

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». – 2012. – № 10. – 183 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 № 3 від 02. 03. 2012 р.**

ISSN 2220-4784

© Національний технічний університет «ХПІ», 2012

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

ДІЯЛЬНІСТЬ ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ ПО ПІДВИЩЕННЮ ЯКОСТІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ

У статті наведені основні методичні положення концепції підвищення якості підготовки спеціалістів ВНЗ та 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 повышения качества подготовки специалистов ВУЗов и внедрения системы компетенций в учебный процесс студентов для комплексной деловой игры нового поколения с поддержкой ключевых элементов полного жизненного цикла создания конкурентоспособной наукоемкой 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 competitable scientific filled production is discussed

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науково-практичними завданнями. Процес підвищення якості діяльності вищого навчального закладу (ВНЗ) реально зв'язаний з метою його функціонування: підвищення якості навчання; спрямованості на підготовку фахівців, які є конкурентоздатними на вітчизняному, європейському та світовому ринках праці; продумана та обґрунтована політика щодо підготовки науково-педагогічних кадрів.

Упровадження науково-обґрунтованої системи компетентностей у навчальний процес передбачає підвищення якості підготовки фахівців за рахунок упровадження нових методик, систем, що позитивно змінюють якість освіти, ефективність усього навчально-виховного процесу, характеризують творчі досягнення педагогічних колективів в інноваційній модернізації освіти, а також методи, форми, засоби формування у майбутніх фахівців здатності до інноваційної науково-обґрунтованої діяльності у професії. Необхідно скористатись можливостями, що їх дає експеримент, для суттєвого поліпшення якості підготовки фахівців й реального

наближення сутнісного змісту освіти до рівня провідних європейських ВНЗ. Вводячи новації, бажано у максимальній мірі, наскільки це можливо, дотримуватись тих засад, на яких вітчизняна освіта базувалась досі, оскільки багато з них вдаються не тільки звичними, але й досить зручними з огляду на планування навчального процесу.

Головним завданням університету, факультетів та кафедр є забезпечення високої якості підготовки випускників на основі покращення контингенту студентів, якісного складу викладацьких кадрів, впровадження нових методів і технологій навчання, підсилення фундаментальної та практичної підготовки, глибокої інтеграції навчального, наукового та інноваційного процесів, що відповідають вимогам дослідницького університету.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спираються автори. Про підготовку вищими навчальними закладами спеціалістів, які повинні мати значно вищий рівень і відповідати потребам ринкових відносин в останній час все частіше говорять у суспільстві і уряді України [1, 2].

Випускники повинні не тільки мати знання, вони мають бути конкурентоздатними у реаліях сучасного підприємства і життя, що потребує дуже серйозного покращення рівня підготовки спеціалістів. Головна ціль повинна бути спрямована на перехід від індустріальної моделі економіки до сучасної моделі.

Комплексна система контролю якості підготовки фахівців у вищих навчальних закладах включає незалежний моніторинг залишкових знань студентів старших курсів з фундаментальних, професійно-орієнтованих і фахових дисциплін, а також рівня володіння ними інформаційними технологіями та іноземною мовою; контроль якості дипломних проектів і робіт випускників; оцінку якості випускників роботодавцями.

Університети намагаються відстоювати свої позиції як на ринку освітніх послуг, проводячи профорієнтаційну роботу, так і на ринку праці – активно співпрацюючи з підприємствами й організаціями.

Якість підготовки фахівців безпосередньо залежить від якості навчальних програм, наукового і методичного забезпечення навчального процесу. Серед факторів, що впливають на цей процес, є наявність навчально-методичних розробок, впровадження нових технологій навчання,

систем незалежного моніторингу та оцінювання знань і умінь студентів (включаючи роботодавців) та державної атестації випускників усіх рівнів [3]. У педагогічній теорії і практиці вищої школи проблема організації навчального процесу є однією із найактуальніших.

Важливе значення для її розв'язання мали наукові праці С.І. Архангельського, С.Я. Батишева, А.А. Вербицького, В.М. Вергасова, В.М. Галузинського, Б.С. Гершунського, О.Г. Гохмана, М.Б. Євтуха, Л.П. Леонтьєва, Н.Ф. Тализіної, І.І. Тихонова та інших. Система неперервної професійної освіти, на думку С.О. Сисоевої, повинна стати гарантом і засобом розвитку особистості, відтворення інтелектуального та духовного потенціалу нації, визначальним фактором науково-технічного та соціально-економічного прогресу в Україні [4–8].

Формулювання цілей статті. Характеристика інноваційної розробки включає поняття компетенція для викладачів і студентів виконавців інноваційних об'єктів, метою діяльності, яких є впровадження у промисловість результатів наукових розробок, її можна характеризувати як готовність суб'єкта, ефективно організувати внутрішні й зовнішні ресурси для науково-обґрунтованої постановки задачі проекту й досягнення цієї мети. При цьому головну роль має особистісна здатність суб'єкта вирішувати певний клас професійних завдань, а сукупність компетенцій, яку називають компетентністю – це, перш за все, наявність знань і досвіду, необхідних для ефективної діяльності в заданій предметній області інноваційного комплексного проекту.

Мета розробки – впровадження в навчальний процес запропонованої концепції комплексного проектування на інноваційних технічних об'єктах з урахуванням їх функціональної структури, фізичного принципу дії, технічних рішень, критеріїв розвитку та інших показників.

Оптимальний шлях підготовки науково-технічної еліти і розвитку науково-технічної творчості студентів – безперервне формування у студентів як бази фундаментальних та професійних знань, так і організаційних навиків, які набуваються в процесі ділових ігор та проектування різних рівнів. Безперервність впровадження в навчальний процес комплексної ділової гри нового покоління можна розглядати як нову інноваційну технологію в навчанні.

Викладання основного матеріалу дослідження з повним обґрунтування отриманих наукових результатів. Особлива роль освіти в сучасному світі, перетворення її в найважливішу сферу людської діяльності, робить проблему підготовки майбутніх фахівців однією із пріоритетних для вищих навчальних закладів.

Вища школа орієнтується у своєму розвитку на якісну підготовку фахівця, що відповідає змінам, які відбуваються на ринку праці. У сфері освіти якість – це той нормативний рівень, якій повинен відповідати як «продукт» галузі утворення. В умовах модернізації якість освіти виступає найважливішим показником конкурентних переваг того або іншого навчального закладу.

У наш час одним із завдань сучасної вищої школи є не тільки завдання підготовки компетентного, гнучкого, конкурентоспроможного фахівця, але й виховання гармонічно розвиненої особистості, здатної бути органічно вписаною в сучасне суспільство. Якість освіти – це не тільки якість знань, умінь і навичок майбутнього фахівця, але і якість його вихованості й освіченості.

Сьогодні освіта є одним з найважливіших факторів стійкого розвитку суспільства, конкурентоспроможності й національної безпеки держави. Виникла необхідність у фахівцях якісно нового типу: ініціативних, комунікабельних, що мають навички ділового спілкування, володіють іноземними мовами, легко адаптуються до змін і т.д.

У Болонському процесі, спрямованому на створення загальноєвропейської системи вищої освіти, проблеми її якості займають найважливіше місце [9–11]. Істотні зміни, що відбулися на ринку освітніх послуг, поставили перед вузами проблему кардинальної зміни моделі розвитку ВНЗ з акцентом на керування якістю процесу освіти і якість випускників.

Процес формування інженерних кадрів у ВНЗ зв'язаний з розвитком самостійних навичок технічної творчості у студентів, системним аналізом техніко-економічних проблем, вміння знаходити ефективні рішення. В 2009 – 2011 навчальних роках з метою впровадження нової інноваційної технології навчання і практичної реалізації положень Болонського процесу щодо інтеграції освіти і науки, підвищення ролі самостійної роботи студентів, їх творчої активності та розвитку вмінь працювати в команді, а в цілому – для підвищення затребуваності та конкурентоспро-

можності випускників на ринку праці, в НТУ «ХПІ» на кафедрі інтегрованих технологій, процесів і апаратів була розроблена концепція безперервного впровадження в навчальний процес комплексної ділової гри нового покоління у вигляді інноваційного проекту (рис. 1) з підтримки ключових елементів повного життєвого циклу створення конкурентоспроможної наукоємної продукції.

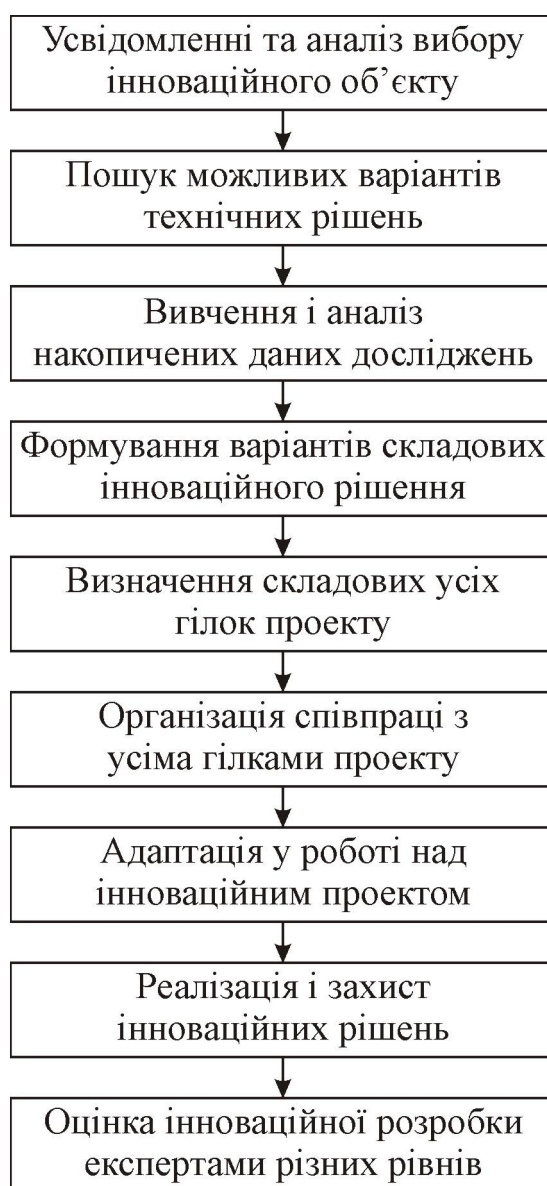


Рис. 1. Функціональна схема підготовки комплексного інноваційного проекту з точки зору ключових компетенцій

Наукова актуальність проблеми згідно з освітньо-кваліфікаційною характеристикою випускника вищого навчального закладу зв'язана з ос-

новними складовими його освіти: виховання, професійна підготовка та розвиток його особистості. У сучасних умовах розвиток особистості, особливо з боку науково-технічної творчості, цілковито покладається на методи активного навчання, заснованих на принципах посилення мотивації тих, хто навчається, та їх стимулювання. Досвід цієї діяльності довів, що у сучасних умовах необхідно застосувати такий підхід, який забезпечував би поєднання індивідуального, комплексного проектування та проектування в умовах змагання та конкуренції, а також технологій інноваційного навчання та інших продуктивних технологій (рис. 2).



Рис. 2. Схема організації внутривузівського комплексного інноваційного проекту

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 міжкурскових, міжкафедральних та міжфакультетських комплексних з'єднань при вирішенні різновидів інноваційних проектів та ін.

Зміст і структура інноваційного нововведення з активізації технічної творчості студентів, особливо якщо оцінювати цю роботу за такими взаємозв'язаними критеріями як компетенції та креативність, це розвиток творчих, організаційних та комунікативних спроможностей також і на рівні міжвузівських зв'язків – сприяє розвитку креативної вищої освіти, як невід'ємної складової підвищення науково-технічного прогресу, що потребує підсилення індивідуальної роботи зі студентами (рис. 3).



Рис. 3. Схема організації міжвузівського комплексного інноваційного проекту

Ця концепція складається з наступних етапів. Підготовчий етап базується на ознайомленні студентів з: основами спеціальності, з напрямками розвитку галузі, вибір групою студентів першого курсу об'єкта інформаційного дослідження; методиками пошуку інформації і початкового формування навиків роботи з базою інформаційних джерел бібліотеки НТУ ХПІ та Інтернету.

Студент на першому етапі оволодіння методами інженерної творчості повинен навчитися вільно користуватися невеликою їх кількістю з метою отримання свого власного досвіду і подальшого розширення методів вирішення творчих інженерних задач. На цьому етапі студенти першого курсу здобувають навички користування методиками пошуку інформації доступними електронними ресурсами та складання бібліо-

графічного опису джерел інформації згідно ДСТУ, написання рефератів за індивідуальними темами і участь у конкурсі рефератів. Кращі роботи заносяться в базу інформаційних документів кафедри і можуть бути використані в ігровому проектуванні.

Початковий етап включає: використання та накопичення навиків пошуку та аналізу джерел інформації; розробка принципів систематизації вибраних джерел інформації з позицій системного підходу; аналіз зв'язку фундаментальних законів фізики і хімії з технологічними процесами, які відбуваються в конкретних об'єктах (2 – 5 семестри). На цьому етапі виробляється вміння вибрати потрібні знання, оволодіти термінологією зі спеціальності, виділити причинно-наслідковий зв'язок між факторами і процесами.

Проаналізувавши необхідність зміни технічних властивостей об'єкту та виявивши шляхи їх поліпшення для кожного виду науково-дослідних робіт (НДР), студент може підготувати реферат, аналітичний огляд або доклад. Кращі роботи можуть бути рекомендовані до друку та вносяться в базу даних кафедри.

Заключний етап комплексного проектування представляє таку послідовність для усіх гілок учасників:

1) вивчення технологічних процесів в об'єкті проектування і його допоміжних системах, апаратурне оформлення процесів і технології виготовлення пристроїв;

2) формування навиків та вміння роботи з патентною інформацією на основі спеціально розроблених навчально-методичних вказівок – патентна інформація дає студенту знання сучасного науково-технічного рівня і перспектив розвитку техніки, активізує його творче мислення, сприяє пошуку сучасних перспективних технічних рішень та розробці нових;

3) розробку інноваційної комплексної наукової роботи або проекту студентами в процесі ігрового проектування, яка включає розробку об'єкта проектування та його допоміжних систем, аналіз і оцінку якості представлених розробок, їх патентоспроможності та патентної чистоти;

4) оформлення отриманих інноваційних результатів науково-дослідних робіт у вигляді патентів, заявок на корисну модель та ін.;

5) публікація отриманих результатів проведення інноваційних робіт у спеціальній секції Вісника НТУ «ХПІ» за напрямом «Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів». На цьому етапі формуються професійні знання та вміння студентів 2 – 6 курсів, удосконалюються організаційні здібності особистості та навички роботи в колективі.

Підсумком роботи можуть бути доклади, публікації та оформлення заявки на корисну модель або винахід. Комплексне проектування або ділову гру можливо виконувати трьома шляхами: в об'ємі однієї дисципліни, яка викладається на одній кафедрі (на базі курсового проекту або роботи); в об'ємі кількох спеціальних дисциплін, які викладаються на одній кафедрі (на базі дипломних робіт і проектів бакалаврів, спеціалістів, магістрів); в об'ємі кількох спеціальних дисциплін, які викладаються на різних кафедрах (на базі дипломних робіт і проектів бакалаврів, спеціалістів, магістрів).

Резерви співпраці з розвитку комплексного інноваційного проектування зв'язані з втіленням у навчальний процес партнерських міжвузівських відносин, що дозволить отримати позитивні результати:

1) зростання долі студентів які працюють самостійно і з захопленням, набувають активної позиції та підвищеного творчого потенціалу;

2) підвищення показника втілення творчих інженерних рішень, практично до 100 %, при проектування усіх рівнів інноваційних проектів;

3) зростання видів та кількості інтелектуальної продукції у ВНЗ;

4) зростання видів та кількості розроблених та реалізованих на практиці інновацій за новими конструкторсько-технологічними рішеннями.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. Отримані практичні результати – сприяння розвитку інтелектуальних та організаційних здібностей студентів, що формує навички самостійної, організаційної та колективної діяльності, компетентність, комунікаційність, креативність та особистість керівника і загалом сприяє інтенсивному розвитку науково-технічної творчості випускників. Виконаний весь обсяг досліджень і отримані практичні результати на даному етапі інноваційної розробки мають перспективи подальшого поширення і можливість масової реалізації.

Отримані позитивні відгуки науково-методичних установ вищих навчальних закладів про актуальність інновації. Невід'ємною складовою якості освіти є якість кадрового складу викладачів. Необхідно активізувати роботу професорсько-викладацького складу та підсилити відповідальність науково-педагогічних працівників за результати своєї навчальної та наукової діяльності відповідно до критеріїв дослідницького університету.

Важливим фактором підвищення якості і «осучаснення» вищої освіти є забезпечення подальшого розвитку системи підвищення кваліфікації та стажування викладачів університету. Показниками якісної підготовки фахівця можна прийняти два основних інтегральних критерії:

- кількість часу, необхідна випускникові ВНЗ для адаптації на робочому місці у відповідності зі своєю спеціальністю;
- кількість «споріднених» (суміжних) спеціальностей, по яких випускник може працювати без значних витрат часу й сил на їхнє освоєння.

Підбиваючи підсумок вище сказаному, можна відзначити, що ВНЗ буде успішно розвиватися тільки в тому випадку, якщо він буде готувати конкурентоспроможних фахівців і підвищення якості освіти стане справою всього колективу навчального закладу.

Список літератури: 1.http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=244957942. 2.<http://ru.osvita.ua/vnz/news/26721/>. 3. Матеріали доповіді першого проректора Ю.І.Якименка на засіданні Вченої ради НТУУ «КПІ» 03.04.09. <http://kpi.ua/910-3>. 4. Головка С.Г., Головка М.В. Вдосконалення нормативно-правового та методичного забезпечення підготовки фахівців у контексті загальноєвропейського освітнього простору // Правові засади державотворення України: Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції „ABIA – 2004”. – Т. 6. – К.: НАУ, 2004. – С. 6,1-6,4. 5. Основні засади розвитку вищої освіти України в контексті Болонського процесу / Упоряд. М.Ф. Степко та ін. – Тернопіль: ТДПУ, 2003. 6. Неперервна професійна освіта: проблеми, пошуки, перспективи: монографія (За ред. І.А. Зязюна). – Київ: „Віпол”, 2000. – 636 с. 7. Вербицкий А.А. Активное обучение в высшей школе: контекстный подход: Метод пособие. – М.: Высш. шк., 1991. – 207 с. 8. Гончаренко С. Методика як наука // Шлях освіти. – 2000. - № 2. – С.5-11. 9. Васильев В., Тягунова Т. Новая парадигма оценки качества образования. // Высшее образование в России.- 2007.- № 2. – с. 19–23. 10. Воскобойникова М., Пугачева Н., Чепурышкин И. Качество образования как фактор конкурентоспособности вуза.// Высшее образование в России.- 2008.- № 5. – С. 139–143. 11. Чупандина Е. Обеспечение качества образования в классическом университете. // Высшее образование в России.- 2008.- № 1. – С. 70–74.

Надійшла до редколегії 08.02.12

О.П. АРСЕНЬЕВА, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»

УМЕНЬШЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ СО СТОРОНЫ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ В ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В роботі досліджуються процеси утворення відкладень по стороні охолоджувальної води у пластинчастих теплообмінних апаратах. Розглянуті різні механізми утворення відкладень. Проаналізований вплив параметрів процесів у каналах пластинчастих теплообмінних апаратів зі складною геометричною формою на рівень утворення відкладень. Запропонована математична модель для прогнозування термічного опору забруднень для механізмів утворення накипу та осідання бруду при різних швидкостях потоку

В работе исследуются процессы образования отложений со стороны охлаждающей воды в пластинчатых теплообменных аппаратах. Рассмотрены различные механизмы образования отложений. Проанализировано влияние параметров процессов в каналах пластинчатых теплообменных аппаратов со сложной геометрической формой на уровень образования отложений. Предложена математическая модель для прогнозирования термического сопротивления загрязнений механизмов образования накипи и осаждения загрязнений при разных скоростях потока

The processes of fouling formation for cooling water side in plate heat exchangers are investigated. The different types of fouling formation mechanisms are discussed. The influence of process parameters in plate heat exchangers' channels with complex geometry on the fouling level is analyzed. The mathematical model is proposed for fouling thermal resistance prediction for precipitation and particulate fouling under the different stream velocities

Введение. При применении возобновляемых источников энергии, тепловых насосов, установок когенерации и полигенерации совместно с традиционными источниками тепла в промышленности и коммунальном секторе возникают новые задачи эффективной рекуперации тепла [1]. Пластинчатые теплообменные аппараты (ПТА) являются одним из наиболее эффективных видов теплообменного оборудования, которое удовлетворяет этим новым задачам. Схема и принцип работы пластинчатых теплообменных аппаратов хорошо описаны в литературе [2, 3, 4]. В этих теплообменных аппаратах процессы теплообмена протекают в каналах сложной геометрической формы, сформированных гофрированными пластинами изготавливаемыми штамповкой из тонкого листового металла. Форма гофрировки пластин определяет тепловые и гидравлические характеристики межпластинных каналов.

При анализе различных методик уменьшения загрязнений со стороны охлаждающей воды Панчал и Кнудсен [5] охарактеризовали использование интенсифицированных теплообменных поверхностей как один из наиболее перспективных методов. Интенсификация теплообмена является основной характеристикой пластинчатых теплообменных аппаратов, и уменьшение отложений представляет больше преимуществ при использовании этого типа теплообменного оборудования для различных случаев применения в промышленности. Для определения границ применения ПТА и оптимизации их конструкций с целью минимизации загрязнений их поверхности, необходимо установить влияние параметров процессов в каналах ПТА сложной геометрической формы на уровень образования отложений.

При подборе теплообменного аппарата для охлаждения технологической жидкости нужно в точности соблюсти температурные и гидравлические условия по стороне этой жидкости. Начальная температура охлаждающей воды, также как и ее свойства, не могут быть изменены при проектировании. В общем случае можно немного поменять расход и вследствие этого изменить температуру охлаждающей воды на выходе, с учетом ограничений всей охлаждающей системы предприятия. Могут быть изменены только внутренние параметры конструкции ПТА, такие как число, размер и форма гофрировки теплопередающих пластин, количество ходов потоков. Это влечет за собой изменения геометрии каналов, скоростей потоков и температуры стенки внутри теплообменного аппарата. Поэтому влияние этих параметров имеет очень важное значение для определения уровня образования отложений и его контроля.

Как указано для кожухотрубчатых теплообменных аппаратов в стандартах ТЕМА [6], различают пять различных типов механизмов образования отложений: накипеобразование, осаждение взвешенных частиц, химические реакции, коррозионные отложения, биологические отложения. Снижение уровня коррозионных отложений в ПТА возможно путем применения достаточно коррозионно устойчивой стали, что может быть значительно экономнее, чем для кожухотрубчатых аппаратов из-за меньшей площади поверхности для одинаковых условий и более тонкой стенки пластин, вплоть до 0.5–0.3 мм. Большинство моделей, описывающих другие механизмы образования отложений [5], основаны на пред-

сказании уровня образования отложений как разницы между интенсивностью осаждения отложений φ_d и интенсивностью удаления отложений φ_r :

$$\frac{d\delta}{dt} = \varphi_d - \varphi_r, \quad (1)$$

где δ – толщина отложений, мм; t – время, с.

При φ_d равном φ_r слой осадка не увеличивается. Это возможно в двух случаях: а) удаление больше чем прилипание отложений к поверхности стенки и только после некоторого порогового условия может начаться процесс накопления отложений; б) уровень удаления прямо пропорционален толщине отложений δ , или же уровень осадений обратно пропорционален δ . В этом случае после некоторого времени t^* толщина осадений стабилизируется и приближается к некоторому асимптотическому значению δ^* .

Асимптотические значения термического сопротивления загрязнений. Асимптотическое поведение водных отложений на теплопередающей поверхности наблюдалось многими исследователями [5,7,8,9,10]. Это обычно происходит после того, как скорость потока достигнет достаточно высоких значений, которые обеспечивают определенный уровень касательного напряжения τ_w на стенке. Предположим, что в условиях асимптотического характера отложений все воздействия направленные на рост отложений учитываются интенсивностью осаждения φ_d^* , а все воздействия по их уменьшению учитываются интенсивностью удаления отложений φ_r^* . Сделаем еще одно допущение о том, что φ_r^* пропорционально касательному напряжению на стенке, возведенному в некоторую степень m и толщине отложений δ^* :

$$\varphi_r^* = b \cdot \tau_w^m \cdot \delta^*, \quad (2)$$

где b – коэффициент пропорциональности, $[1/(\text{Па} \cdot \text{с})]$.

Когда толщина отложений достигает асимптотического значения, ее производная по времени равна нулю, и из уравнений (1) и (2) следует:

$$\delta^* = \varphi_d^* / (b \cdot \tau_w^m) \quad (3)$$

Тогда, зная теплопроводность осажженных загрязнений λ_f^* , можно выразить асимптотическое значение термического сопротивления отложений следующим образом:

$$R_f^* = B^* \cdot \tau_w^{-m}, \quad (4)$$

где $B^* = \varphi_d^* / (b^* \cdot \lambda_f^*)$.

Всестороннее исследование дисперсных отложений для воды в каналах ПТА было изложено в работе Карабеласа [7]. Эксперименты были проведены для каналов ПТА образованных коммерческими пластинами с углами наклона гофр 60° и 30° . Обнаружено асимптотическое поведение термического сопротивления отложений с течением времени, а также значительное влияние скорости потока.

Определить касательное напряжение на стенке основного гофрированного поля межпластинных каналов можно согласно выражению:

$$\tau_w = \zeta_s \cdot \psi \cdot \rho \cdot w^2 / 8, \quad (5)$$

где ζ_s – суммарный коэффициент гидравлического сопротивления единицы относительной длины канала (учитывающий потери от трения на стенке и от гидродинамического сопротивления формы). Для каналов сетчато-поточного типа пластинчатых теплообменников этот коэффициент определялся согласно формуле, представленной в работе [11]. Доля потерь на трение ψ можно определить по выражению, представленному в работе [12]:

$$A = 380 / [tg(\beta)]^{1.75}; \text{ при } Re > A \quad \psi = \left(Re / A \right)^{-0.15 \sin(\beta)}; \text{ при } Re \leq A \quad \psi = 1. \quad (6)$$

где β – угол наклона гофр к продольной оси пластины. Число Рейнольдса Re рассчитано для скоростей, представленных в работе [7] при эквивалентном диаметре $De = 0.005$ мм, теплофизические свойства воды взяты при температуре 40°C . Отношение высоты гофр к половине шага гофр равно $\gamma = 0.581$.

На Рис. 1 представлены экспериментальные данные по загрязнениям из работы [7] для различных значений касательного напряжения на стенке. Отчетливо видно, что касательное напряжение на стенке оказывает влияние на асимптотическое значение термического сопротивления загрязнений. Данные, коррелированные по формуле (4) при $m=1$ и $B^* = 3.5 \cdot 10^{-4}$ К·с/м представлены на Рис. 1 сплошной линией. Для касательного напряжения на стенке более чем 40 Па термическое сопротивление загрязнений становится очень малым (менее 10^{-5} м²К/Вт) и данные нестабильны.

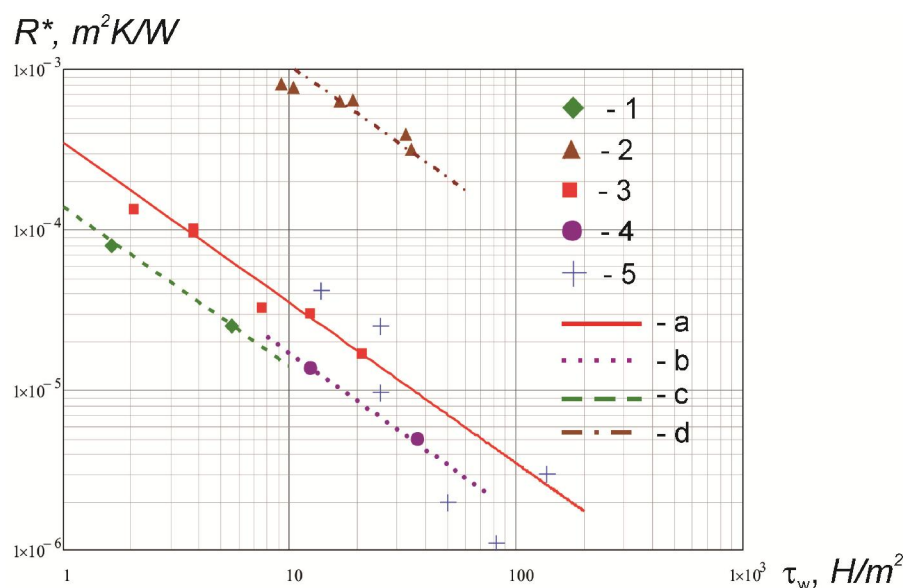


Рис. 1. Влияние касательного напряжения на стенке на асимптотическое значение термического сопротивления отложений: 1 и линия с – кольцевой канал [10]; 2 и линия d – канал ПТА с $\beta=60^\circ$ [13]; 4 и линия b – канал ПТА с $\beta=60^\circ$ [9]; 3 и линия a – канал ПТА с $\beta=30^\circ$ [7]; 5 – канал ПТА с $\beta=60^\circ$ [7]

Процесс отложения сульфатов кальция в каналах ПТА исследовали Банзал и др. [8] на образцах ПТА изготовленных из коммерческих пластин с шевронной гофрировкой. Угол наклона гофр $\beta = 60^\circ$. Для исследования влияния скорости были проведены и серии экспериментов со скоростями 0.183 м/с, 0.352 м/с и 0.667 м/с. Все остальные условия проведения экспериментов оставались неизменными. Касательное напряжение на стенке канала мы определили согласно выражениям (5) и (6), представленным выше. Расчеты проводились для температуры воды 61 °С, $De=0.005$ мм и $\gamma = 0.581$. Две точки на Рис. 1 соответствуют термическим сопротивлениям отложений в конце экспериментов (после 7,000 минут), при скоростях 0.352 м/с и 0.667 м/с. Серия испытаний при наименьшей скорости закончилась только после 2,000 минут и не позволила определить R_f^* . Данные коррелированы по формуле (4) при $m=1$ и $B^*=2.05 \cdot 10^{-4}$ К·с/м. Процесс образования отложений карбоната кальция на внутритрубной поверхности в кольцевом канале был экспериментально изучен Женхуа и др. [10]. Проведено две серии экспериментов для скоростей 0.6 и 1.2 м/с при одинаковых остальных условиях. На Рис. 1 представлены данные, определяющие касательное напряжение на стенке для гладкого кольцевого канала. Данные коррелированы по формуле (4)

при $m=1$ и $B^*=1.45 \cdot 10^{-4}$ К·с/м. Все указанные исследования были проведены в лабораторных условиях на малых пластинчатых теплообменных аппаратах или же на экспериментальных моделях каналов. Данные экспериментальных исследований загрязнений вследствие накипеобразования в промышленных ПТА, используемых для нагрева водопроводной воды для системы коммунального телоснабжения, представлены в работе Чернышева [13].

Теплообменный аппарат типа M10B производства компании AlfaLaval, состоящий из 78 пластин, был установлен в системе централизованного теплоснабжения города Тула в России. Особенностью этой системы является то, что в ней используется устаревшая на сегодняшний день «открытая» схема, когда горячая вода просто отбирается из контура отопления. Для этого необходимо сначала нагреть свежую водопроводную воду до температуры контура отопления, которая значительно выше, чем в схемах с «закрытым контуром отопления». Из-за высокого содержания солей жесткости в исследованной водопроводной воде (780 мг/л) и необходимости нагревать ее до температуры 60–63 °С и выше, теплообменный аппарат очень загрязнялся. Загрязнения зависят от температуры нагреваемой пресной воды и, следовательно, от расположения по длине пластины. Характерное распределение осаждения загрязнений после достижения асимптотической толщины осадений, представлены на Рис. 2. Данные по среднему значению асимптотического термического сопротивления отложений, приведенные в работе [13] при трех различных скоростях потока (от 0.26 до 0.57 м/с) представлены на Рис. 1. Термическое сопротивление отложений рассчитывалось по данным для толщины загрязнений и для значения теплопроводности загрязнений 1.03 мК/Вт, приведенным в работе [13]. Согласно выражениям (5) и (6), описанным выше, мы определили касательное напряжение стенки. Температура воды принималась 61 °С, $De=0.005$ мм, $\gamma = 0.581$. Данные коррелированы уравнением (4) при $m=1$ и $B^*=115 \cdot 10^{-4}$ К·с/м. Понижение значений для наименьших скоростей вызваны относительно большой толщиной загрязнений (до 0.8 мм) по сравнению с расстоянием между пластинами (2.5 мм). Это приводит к более низким значениям действительной площади поперечного сечения для протока воды, более высоким значе-

ниям скорости и касательного напряжения, по сравнению с вычисленными значениями для чистого поперечного сечения канала.

Представленные выше данные получены для четырех различных условий образования загрязнений при движении воды в различных каналах. Для одинакового значения касательного напряжения на стенке асимптотические значения термического сопротивления загрязнений существенно отличаются. Они зависят от множества факторов: концентрации, природы и гранулометрического состава взвешенных частиц [7]; концентрации растворимых солей [8, 10] и состава смеси различных солей [14]; температуры воды и стенок канала [8, 10]. Однако для одинакового качества воды и температурных условий зависимость асимптотического значения термического сопротивления загрязнений от касательного напряжения на стенке описывается одинаковыми соотношениями. Оно обратно пропорционально касательному напряжению на стенке. Учитывая допущения, сделанные при выводе выражения (4), можно сделать вывод, что интенсивность удаления загрязнений φ_r^* в уравнении (1) пропорциональна касательному напряжению на стенке в степени $m=1$.

Определение интенсивности осаждения φ_d^* при условии, когда достигнуто асимптотическое значение загрязнений, является сложной задачей. Очень много параметров влияет на это значение. Но для большого предприятия с централизованным контуром охлаждающей воды качество воды одинаково для всех охладителей. В этом случае, при определении асимптотического загрязнения для воды в одном из теплообменных аппаратов, можно вычислить значение коэффициента B^* в выражении (4) и использовать это значение для определения загрязнений охлаждающей воды для расчета ПТА для этого предприятия на всех других позициях охлаждения водой основного контура.

Особое внимание необходимо уделить условиям, когда основным механизмом формирования загрязнений является образование накипи. На Рис. 2 представлены фотографии двух сторон пластины теплообменного аппарата, который проработал примерно год в системе централизованного теплоснабжения города Киева (Украина) для нагрева водопроводной воды. Сторона а) контактировала с водой из системы теплоснабжения. Здесь происходило загрязнение за счет осаждения взвешенных в воде твердых частиц. На пластине заметны слабые отложения, равнове-

рно распределенные по длине пластины, с некоторым увеличением в области входа горячего теплоносителя.



а) греющий теплоноситель

б) водопроводная вода

Рис. 2. Две стороны пластины после года эксплуатации для нагрева водопроводной воды в системе централизованного теплоснабжения (водопроводная вода подается снизу, греющая вода из системы отопления – сверху)

Сторона пластины б) контактировала с пресной водой нагретой от $5 \div 10$ °С до 57 °С для горячего водоснабжения. На этой стороне поверхность пластины рядом со входом холодной водопроводной воды чистая, отложения начинаются и продолжают значительно расти по мере приближения к выходу из канала, с увеличением температуры воды и стенки. Это можно оценить при изучении Рис.3, на котором представлены фрагменты распределения загрязнений по длине пластины.

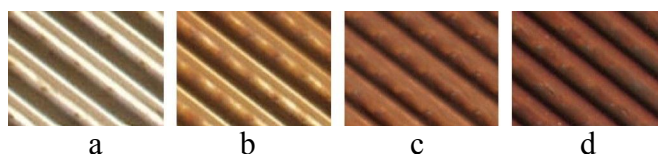


Рис. 3. Фотографии четырех частей поверхности пластины *a, b, c, d* – от входа нагреваемой воды до ее выхода из каналов ПТА

Можно сделать вывод, что для загрязнений при накипеобразовании существуют некоторые критические условия по температуре воды и содержанию солей, после которых начинается образование накипи. Таким образом, когда в контуре охлаждающей воды предприятия возможно образование накипи, температура на выходе из ПТА должна оставаться ме-

нее определенного уровня, который зависит от качества охлаждающей воды этого предприятия.

Зависимость отложения загрязнений от времени. Предположим, что интенсивность удаления отложений φ_r в течение всего времени образования загрязнений определяется согласно формуле (2) при $m=1$:

$$\varphi_r = b \cdot \tau_w \cdot \delta \quad (7)$$

Изменение термического сопротивления отложений во времени, при теплопроводности отложений λ_f , можно описать выражением, выведенным из соотношения (1):

$$\frac{dR_f}{dt} = \frac{\varphi_d}{\lambda_f} - b \cdot \tau_w \cdot R_f \quad (8)$$

При φ_d , b , λ_f и τ_w не зависящих от времени образования отложений t и толщине отложений δ , задача интегрирования дифференциального линейного уравнения (8) не представляет сложности. Для приближенного решения в некоторый момент времени t можно использовать значения этих параметров, усредненные по времени за период времени $0 \div t$. Тогда термическое сопротивление отложений в некоторый момент времени t после интегрирования выражения (8):

$$R_f(t) = \frac{B}{\tau_w} \cdot \left[1 - \exp \left(1 - \frac{\varphi_d}{B} \cdot \tau_w \cdot t \right) \right] , \quad (9)$$

где $B = \varphi_d / (b \cdot \lambda_f)$.

Для определения коэффициента B возьмем его значение для случая асимптотических условий загрязнения $B=B^*$. Как показано при изучении распределения образования отложений вдоль длины пластины, процесс загрязнений для воды в ПТА демонстрирует пороговое поведение. В последнее десятилетие концепция «пороговых загрязнений» была в значительной степени разработана для загрязнений образуемых на поверхностях теплопередачи при нагреве сырой нефти. После того, как эта концепция была впервые представлена Эбертом и Панчалом [15], она получила развитие в работах Полли и др. [16], Епа и др. [17] и Янга и др. [18]. Янг и Критенден [19] предложили применение их модели для труб с интенсификаторами теплоотдачи. Интенсивность осаждения согласно их модели можно выразить следующим образом:

$$\varphi_d = \frac{A_m \cdot C_f \cdot u \cdot T_s^{2/3} \cdot \rho^{2/3} \cdot \mu^{-4/3}}{1 - B_m \cdot u^3 \cdot C_f^2 \cdot \rho^{-1/3} \cdot \mu^{-1/3} \cdot T_s^{2/3} \cdot \exp(E / (R \cdot T_s))} \quad (10)$$

где T_s – температура поверхности, К; ρ – плотность жидкости, кг/м³; μ – динамическая вязкость жидкости, Па·с; $R=8.314$ Дж/(Моль·К) – универсальная газовая постоянная; C_f – коэффициент трения Фаннинга; u – средняя скорость потока, м/с. Значения параметров, которые дают наилучшее согласование с экспериментальными данными для исследованной в работе [19] нефти, следующие:

$$\begin{aligned} E &= 52100 \text{ Дж/Моль}; \\ A_m &= 7.93 \cdot 10^{-10} \text{ кг}^{2/3} \text{ К}^{1/3} \text{ м}^{5/3} (\text{КВт})^{-1} \text{ с}^{-1/3} \text{ ч}^{-1}; \\ B_m &= 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{13/3} \text{ кг}^{2/3} \text{ с}^{8/3} \text{ К}^{-2/3}. \end{aligned} \quad (11)$$

Для случая интенсификации теплоотдачи скорость u определяется как эквивалентная скорость, которая является скоростью в гладкой трубе имеющей такое же касательное напряжение на стенке как и в трубе с интенсифицированной теплоотдачей того же внутреннего диаметра. Предположим, что вышесказанное справедливо также для каналов ПТА и гладкой трубы такого же эквивалентного диаметра de .

Для развитого турбулентного потока в прямой гладкой трубе с внутренним диаметром de коэффициент трения Фаннинга можно рассчитать согласно уравнения Блазиуса:

$$C_f = 0.0791 \cdot (u \cdot \rho \cdot de / \mu)^{-0.25} \quad (12)$$

Касательное напряжение на стенке в прямой гладкой трубе:

$$\tau_w = C_f \cdot \rho \cdot u^2 / 2 \quad (13)$$

Для известного значения касательного напряжения на стенке в канале с улучшенной теплоотдачей эквивалентная скорость в гладкой трубе может быть вычислена согласно уравнению (13), используя выражение (10) для C_f :

$$u = \left(\frac{\tau_w \cdot de^{0.25} \cdot 2}{\mu^{0.25} \cdot \rho^{0.75} \cdot 0.0791} \right)^{\frac{1}{2-0.25}} \quad (14)$$

Произведение C_f и u из выражения (13):

$$P_{cu} = C_f \cdot u = \frac{2 \cdot \tau_w^{1-\frac{1}{1.75}}}{\rho} \left(\frac{de^{0.25} \cdot 2}{\mu^{0.25} \cdot \rho^{0.75} \cdot 0.0791} \right)^{-\frac{1}{1.75}} \quad (15)$$

Исключая C_f и u из выражения (10), и используя выражения (13) и (15) получим соотношение для интенсивности осаждения, выраженное через касательное напряжение на стенке:

$$\varphi_d = \frac{A_m \cdot P_{cu} \cdot T_s^{2/3} \cdot \rho^{2/3} \cdot \mu^{-4/3}}{1 - B_m \cdot P_{cu} \cdot 2 \cdot \tau_w \cdot \rho^{-4/3} \cdot \mu^{-1/3} \cdot T_s^{2/3} \cdot \exp(E / (R \cdot T_s))} \quad (16)$$

Используя соотношение (16) и значение величины B^* , полученное в предыдущем разделе путем анализа данных по асимптотическому термическому сопротивлению отложений, можно по выражению (9) рассчитать термическое сопротивление отложений в некоторый момент времени t . Так как свойства нефти и воды значительно отличаются, эмпирические параметры A_m , B_m , E для случая воды необходимо скорректировать. Для удовлетворения экспериментальным данным по осаждению сульфата кальция в каналах ПТА, представленных Банзалом и др. [8], мы скорректировали только один параметр A_m . Для значения $A_m = 6.5 \cdot 10^{-12} \text{ кг}^{2/3} \text{ К}^{1/3} \text{ м}^{5/3} (\text{Вт})^{-1} \text{ с}^{-1/3} \text{ ч}^{-1}$ вычисленные значения термических сопротивлений загрязнений при различных скоростях потока представлены кривыми на Рис. 4.1.

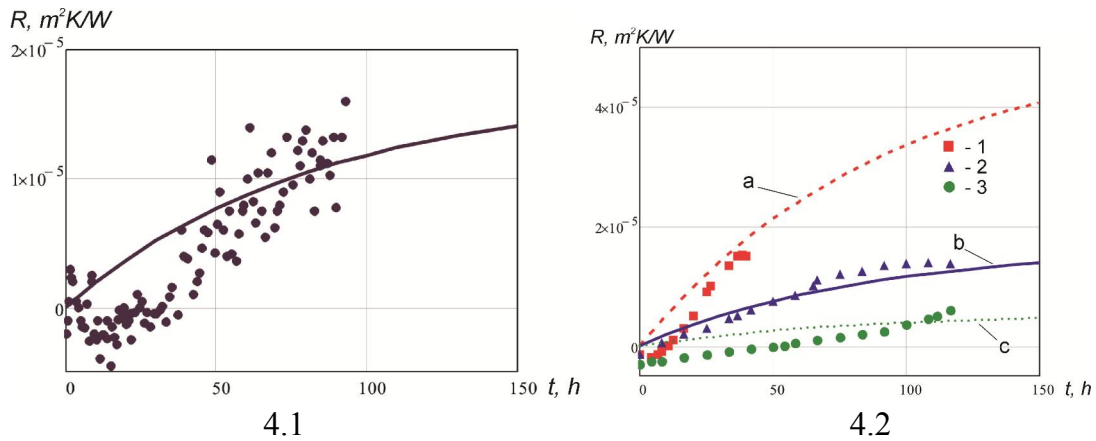


Рис. 4. Термическое сопротивление загрязнений в канале ПТА: 4.1 – для $\beta=60^\circ$ при осаждении сульфата кальция [8]: 1 и линия а – $w=0.183$ м/с; 2 и линия б – $w=0.352$ м/с; 3 и линия с – $w=0.667$ м/с; 4.2 – при осаждении сульфата кальция [9] – $w=0.352$ м/с и $\beta=60^\circ$

Эти данные сравниваются с экспериментальными данными, взятыми из рисунка в работе [8]. В работе Бензала и др. [9] представлены данные для загрязнений сульфатом кальция в ПТА при одной скорости потока. Данные, приведенные на графике в этой работе представлены на Рис. 4.2. Учитывая разброс данных, согласование с вычислениями согласно представленной модели (сплошные линии на Рис. 4.2) достаточно хорошее. Малые значения в начальный период можно объяснить так же, как это сделали авторы работы [8]. Для образования отложений на теплопередающей поверхности может быть необходимо некоторое начальное время задержки. Накипеобразование карбоната кальция в кольцевом гладком канале между трубой с внутренним диаметром 22 мм и расположенной внутри нее трубой с наружным диаметром 16 мм было исследовано в работе Женхуа и др. [10]. Данные этой работы для двух различных скоростей были коррелированы для модели (16) параметром $A_m = 1.5 \cdot 10^{10} \text{ кг}^{2/3} \text{ K}^{1/3} \text{ м}^{5/3} (\text{Вт})^{-1} \text{ с}^{-1/3} \text{ ч}^{-1}$ (см. Рис. 5). Остальные параметры модели Bm и E неизменны.

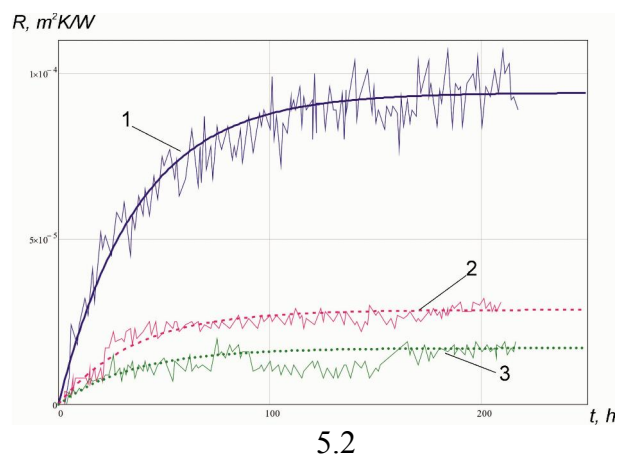
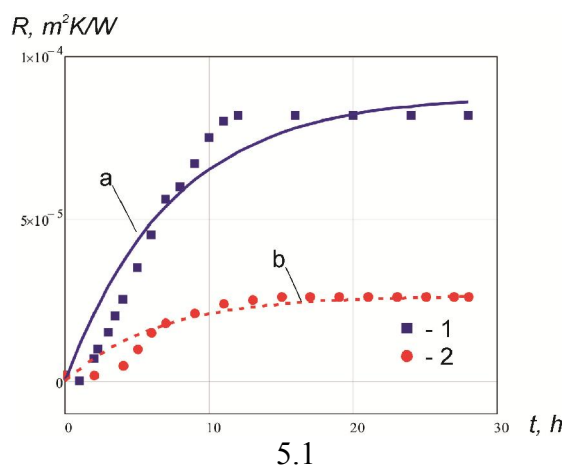


Рис. 5. Термическое сопротивление загрязнений: 5.1 – накипи карбоната кальция в круглом канале [10]: 1 и линия а – $w=0.6$ м/с; 2 и линия б – $w=1.2$ м/с; 5.2 – в канале ПТА при $\beta=30$ [8]: 1 и линия а – $w=0.5$ м/с; 2 и линия б – $w=1.0$ м/с; 3 и линия с – $w=1.35$ м/с

Загрязнение путем осаждения частиц в каналах ПТА, работающих на воде содержащей взвешенные частицы карбоната кальция, исследовалось Карабеласом и др. в работе [7]. На Рис. 5.2 представлено сравнение данных этой работы с прогнозами согласно предложенной модели

(сплошные линии рассчитаны для $T_s = 37^\circ\text{C}$). Все параметры в выражении (16) такие же, как и для вычислений для Рис. 6. Это позволяет сделать вывод, что значения параметров выражения (16) для тех же солей и их примесей имеют близкие численные значения.

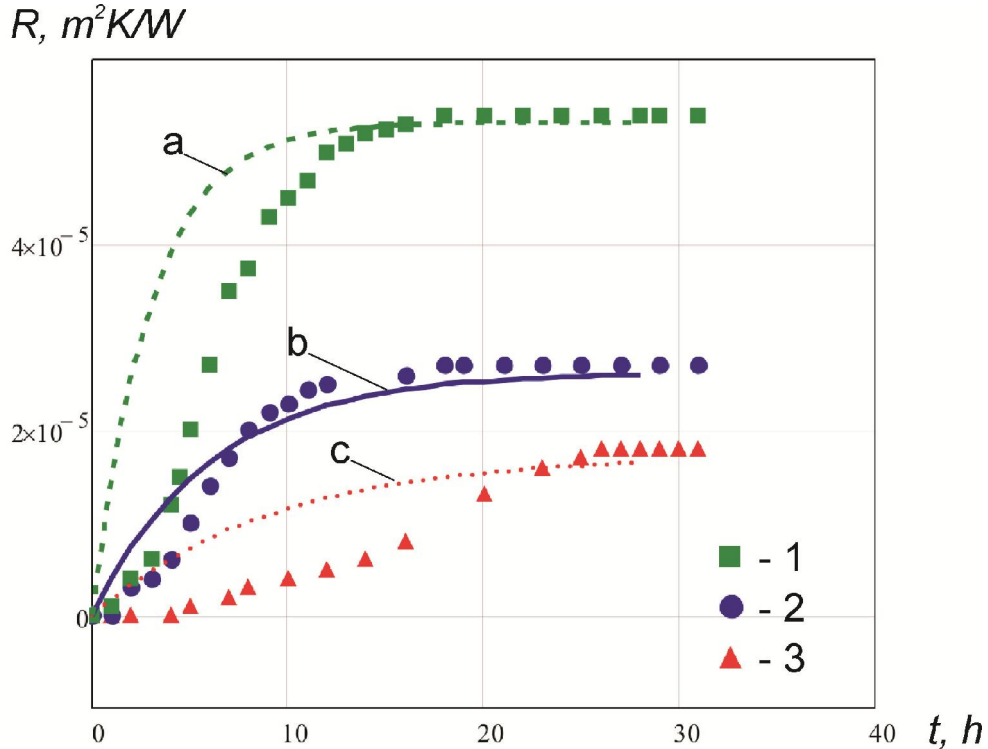


Рис. 6. Термическое сопротивление отложений при накипеобразовании карбоната кальция в круглом канале [10], $w=1.2$ м/с: 1 и линия а – $T_s=64^\circ\text{C}$; 2 и линия б – $T_s=51^\circ\text{C}$; 3 и линия с – $T_s=44^\circ\text{C}$

Выражение (16), помимо касательного напряжения стенки и физических свойств жидкости, учитывает и влияние температуры поверхности T_s . Для двух температур поверхностей T_{s1} и T_{s2} при одинаковых прочих условиях, предположим что:

$$B(T_{s1})/B(T_{s2}) = \varphi_d(T_{s1}) / \varphi_d(T_{s2}). \quad (17)$$

Данные по накипи карбоната кальция при трех различных температурах, когда скорость и концентрация солей не меняются, представлены в работе [11]. Эти данные представлены на Рис. 6. Линии на графике рассчитаны согласно выражению (9) с использованием соотношения (16) и зависимости (17). Значение коэффициента $B(T_{s1})$ было принято из пре-

дыдущего определения данных этой работы для $T_{sl}=51$ °С. Прогноз асимптотического термического сопротивления загрязнений удовлетворительный. Можно заключить, что расчет с помощью предложенной модели зависимости термического сопротивления загрязнений от времени дает достаточно точные для практики результаты, причем с некоторым завышением термического сопротивления загрязнений.

Обсуждение результатов. Проанализировав полученные результаты можно сделать вывод, что представленная математическая модель дает возможность прогнозировать термическое сопротивление загрязнений для механизмов накипеобразования и осаждения взвешенных частиц при различных скоростях потока и температурах поверхности стенки. Данная модель может использоваться для ПТА с интенсификацией теплоотдачи, а также для прямых гладких каналов без интенсификации. Для правильных прогнозов согласно модели, необходимы достоверные данные о ее параметрах. Эти данные, полученные для прямых труб или каналов, могут быть использованы для прогнозирования термического сопротивления отложений в ПТА работающих с такой же охлаждающей водой и наоборот. Крупные промышленные предприятия обычно применяют большое количество теплообменных аппаратов, которые используют воду из централизованного контура охлаждающей воды предприятия. Содержание солей и твердых частиц в этой воде является одинаковым для всех теплообменных аппаратов. Поэтому, исследуя образование загрязнений по стороне воды в одном теплообменном аппарате (в ПТА или внутри труб кожухотрубного теплообменника), можно определить параметры B и Am , используемые в предложенной математической модели. Это позволит рассчитать загрязнения по охлаждающей воде для всех ПТА этого предприятия. Также можно вычислить и пороговые значения касательного напряжения стенки и температуры поверхности. После этого при проектировании и расчете ПТА для этого предприятия касательное напряжение на стенке следует подбирать выше, чем пороговое значение, или же максимально близким к пороговому, если достичь порогового значения невозможно. Температура поверхности стенки должна быть ниже порогового значения, или же минимальной. Если же условия по предотвращению образования загрязнений невозможно выполнить, необходимо вычислить асимптотическое термическое сопротивление загрязнений по

модели и использовать это значение при расчете ПТА. Для потоков внутри труб и прямых каналов расчет касательного напряжения на стенке не является проблемой. Его можно произвести по формулам, доступным в литературных источниках. Для ПТА корреляции по коэффициенту трения обычно являются собственностью производителей ПТА. Важной особенностью предсказания загрязнений, предложенного выше, является то, что касательное напряжение стенки вычисляется на основе формул для коэффициента трения на основном гофрированном поле канала ПТА, предложенных в статьях [11] и [12]. Для использования этого выражения инженеру необходимо знать только геометрические параметры основного гофрированного поля пластины – угол наклона гофра к продольной оси пластины β и соотношение геометрических размеров гофрировки γ , которые можно измерить на реальных пластинах.

Выводы. Загрязнения по стороне охлаждающей воды в каналах ПТА обладают асимптотическим характером во времени. При неизменных условиях протекания процесса образования загрязнений, асимптотические значения термического сопротивления загрязнений обратно пропорциональны касательному напряжению на стенке. Эта особенность для каналов ПТА одинакова по своей природе и может быть описана теми же соотношениями, как и для прямых каналов и труб.

На начальных стадиях процесс формирования загрязнений может быть описан с помощью «пороговой модели» для гладких труб с интенсификацией теплоотдачи, предложенной Янгом и Критенденом [19]. Для достоверного прогнозирования термического сопротивления отложений по этой модели необходимо экспериментально определить один параметр модели для данной охлаждающей воды. Для конкретного контура охлаждающей воды большого промышленного предприятия этот параметр можно определить по данным о загрязнениях одного теплообменного аппарата. После этого модель может быть использована для расчетов загрязнений по охлаждающей воде во всех теплообменных аппаратах этого контура. Для определения термического сопротивления загрязнений только по данным о чистоте воды и ее химическому составу, необходимы дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования в этом направлении. При применении предложенного подхода, данные по-

лученные для гладких труб могут непосредственно применяться для ПТА и наоборот.

Автор благодарит АО «Содружество-Т», г. Харьков за поддержку в рамках проекта ЕС INTHEAT (contract № FP7-SME-2010-1-262205).

Список литературы: 1. Sustainability in the Process Industry. Integration and Optimization / *Klemes, J., Friedler, F., Bulatov, I., Varbanov, P.* – The McGraw-Hill Co-s. Inc., New York, USA, 2010. – 532 p. 2. *Wang L.* PHEs. Design, Applications and Performance / *Wang L., Sunden B., Manglik R.M.* – WIT Press, Southhampton, UK, 2007. – 340 p. 3. *Shah R.K. and Seculic D.P.* Fundamentals of Heat Exchanger Design. – New York: Wiley and sons, 2003. 4. Пластинчатые теплообменники в промышленности: Учебное пособие / [Товажнянский Л. Л., Канустенко П.А., Хавин Г.Л., Арсеньева О.П.]. – Харьков: НТУ „ХПИ”, 2004. – 232 с. 5. *Panchal C.B., Knudsen J.G.* Mitigation of Water Fouling: Technology Status and Challenges // *Advances in Heat Transfer*. – 1998. – № 31. – С. 431 – 474. 6. Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association, 9th edn., TEMA Inc. – New York, 2007. 7. *Karabelas A.J., Yiantsios S.G., Thonon B., and Grillot J.M.* Liquid side fouling of Heat Exchangers. An Integrated R&D Approach for Conventional and Novel Designs // *Applied Thermal Engineering*. – 1997. – № 7 (8-10). – С. 727 – 737. 8. *Bansal B, Muller-Steinhagen H, Xiao Dong Chen.* Performance of plate heat exchangers during calcium sulphate fouling — investigation with an in-line filter // *Chemical Engineering and Process-ing*. – 2000. – № 39. – С. 507–519. 9. *Bansal B, Xiao Dong Chena, Muller-Steinhagen H.* Analysis of ‘classical’ deposition rate law for crystallisation fouling // *Chemical Engineering and Processing*. – 2008. – № 47. – С. 1201–1210. 10. *Zhenhua Quan, Yongchang Chen and Chongfang Ma.* Experimental Study of Fouling on Heat Transfer Surface During Forced Convective Heat Transfer // *Chinese Journal of Chemical Engineering*. – 2008. – № 16(4). – С. 535–540. 11. *Арсеньева О.П.* Обобщенное уравнение для расчета гидравлического сопротивления каналов пластинчатых теплообменников // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2010. – №4. – С. 112–117. 12. *Арсеньева О.П.* Взаимосвязь переноса тепла и импульса в каналах пластинчатых теплообменных аппаратов // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – №1. – с. 3–9. 13. *Чернышев Д.В.* Прогнозирование накипеобразования в пластинчатых водонагревателях для повышения надежности их работы: Дис. канд. техн. наук. – Тула, 2002. – 182 с. 14. *Halalizadeh A, Muller-Steinhagen H, Jamialahmadi M.* Mixed salt crystallization fouling // *Chemical Engineering and Processing*. – 2000. – № 39. – С. 29–43. 15. *Ebert W.A., and Panchal C.B.,* Analysis of Exxon crude-oil slip stream coking data, in *Fouling Mitigation of Industrial Heat Exchange Equipment* / [*Panchal C.B., Bott T.R., Somerscales E.F.C. and Toyama S.* (eds)]. – Begell House, New York, USA, 1997. – p. 451–460. 16. *Polley G.T., Wilson D.I., Yeap B.L. and Pugh S.J.,* Use of crude oil threshold data in heat ex-changer design. – *Appl Therm Eng.* – 2002a. – Vol. 22. – p. 763–776. 17. *Yeap B.L., Wilson D.I., Polley G.T. and Pugh S.J.* Mitigation of crude oil refinery heat ex-changer fouling through retrofits based on thermo-hydraulic fouling models. – *Trans IChemE, Part A, Chemical Engineering Research and Design*. – 2004. – Vol. 82(A1). – p. 53–71. 18. *Young A., Venditti S., Berruenco C., Yang M., Waters A., Davies H., Hill S., Millan M. & Crittenden B.* Characterization of Crude Oils and Their Fouling Deposits Using a Batch Stirred Cell System. – *Heat Transfer Engineering*. – 2011. – Vol. 32 (3-4). – p. 216–227. 19. *Yang M., Crittenden B.* Fouling thresholds in bare tubes and tubes fitted with inserts. – *Applied Energy*. – 2011. – doi:10.1016/j.apenergy.2011.01.038.

Поступила в редколлегию 22.01.12

Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
Л.М. УЛЬЕВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
К.И. СТАВРОВА, студентка, НТУ «ХПИ»

ЭКСТРАКЦИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ ПЯТИКОЛОННОГО АГРЕГАТА ПРОИЗВОДСТВА СПИРТА

В даній роботі розглядається п'ятиколонний агрегат виробництва спирту, який є типовим для підприємств харчової промисловості. Визначені всі технологічні потоки та їх основні характеристики, які необхідні для початку проектування енергоефективної теплообмінної системи. Побудовано сіткову діаграму та складові криві, за якими визначені цільові значення гарячих та холодних утиліт необхідних для процесу. Також побудовано модель установки у середі пакету UniSim Design для уточнення технологічних даних

В данной работе рассматривается пятиколонная установка спирта на типичных предприятиях пищевой промышленности. Определены все технологические потоки, которые необходимы для начала проектирования энергоэффективной теплообменной системы, приведены их основные характеристики. Построена сеточная диаграмма и составные кривые, по которым определены целевые значения горячих и холодных утилит, необходимых для процесса. Также построена модель установки в среде пакета UniSim Design для уточнения технологических данных

In this work five column alcohol distillation sections at typical food industry enterprises is considered. Identified all technological flows, which are necessary for the initial design of energy efficient heat exchange system, shown their main characteristics. The grid diagram and composite curves were built, on which were defined targets of hot and cold utilities, needed to process. Also the UniSim Design model of installation was built to clarification of technological data

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями. Целью написания статьи является освещение этапа сбора и уточнения технологических данных для начала проектирования энергоэффективной установки производства спирта с помощью методов пинч-анализа. Сокращение потребления топливно-энергетических ресурсов в промышленности сопряжено с широкомасштабной реализацией современных энергосберегающих технологий, созданием высокоэффективных энерготехнологических комплексов. Применение пинч-анализа при проектировании и реконструкции теплообменных сетей промышленных процессов позволяет получить значения

мощности энергии, потребляемых от внешних энергоносителей на уровне термодинамически обусловленных минимальных величин. Применение методов пинч-анализа дает возможность оптимизировать энергопотребление в пределах территориальных производственных комплексов, состоящих из большого числа производственных процессов и потребление энергии от общей утилитной системы. Широкое распространение и применение пинч-технологий в последние два десятилетия позволило значительно улучшить энергетическую и эксплуатационную эффективность промышленных установок во всем мире. Ни один из применяемых на сегодняшний день методов энерготехнологического аудита и проектирования тепломассообменных сетей не позволяет достичь тех результатов, получение которых возможно с использованием пинч-метода [1].

Анализ исследований и публикаций. Экономический кризис, усугубляющийся в Украине постоянным подорожанием энергоносителей, заставляет представителей все большего количества отраслей пищевой промышленности задуматься о внедрении энергосберегающих технологий и использовании альтернативных видов топлива. В производстве спирта, потребление пара и охлаждающей воды в процессе ректификации составляет 60-70 % от общего потребления процесса. Большая часть тепла теряется и забирается охлаждающей водой, а часть сточных вод сливается. Именно поэтому уменьшение потребления энергии и охлаждающей воды обеспечивает развитие наиболее эффективного производства [2]. Уменьшение удельных энергозатрат при производстве этанола позитивно влияет не только на конкурентоспособность производителя, но и на окружающую среду, вследствие уменьшения выбросов вредных веществ и эмиссии парниковых газов [3–5].

Начальная технологическая схема. Пятиколонный агрегат производства спирта является типичным для производств пищевой промышленности. Установка состоит из 5 колонн: бражная, эспирационная, ректификационная, колонна конечной очистки и колонны концентрирования смесей. Колонны обогреваются непосредственно острым паром, который подается в низ колонн. Исходное сырье (брага), проходя последовательно через колонны, очищается от примесей, таких как барда, метанол, сивушные масла, альдегиды и т.д., и из последней колонны выходит непосредственно 96% этиловый спирт (рис. 1). В системе присутствует также один теплообменный аппарат – E1.

Определение технологических потоков и построение модели в UniSim Design.

Во время исследования установки было определено 16 горячих и 7 холодных потоков и их основные параметры.

Характеристика потоков приведена в следующем порядке:

1. Спиртовой 96% пар после конденсации. Выходит из ректификационной колонны КЗ, проходит через теплообменный аппарат Е1, конденсируется в С1 и С2 и направляется в С3. $T_{\text{нач}}=78.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кон}}=77.9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2. Спиртовой пар ректификационной колонны после конденсации. Выходит из конденсаторов С3 и С4 и поступает на С5. $T_{\text{нач}}=78.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кон}}=78\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. Спиртовой пар ректификационной колонны после конденсации. Выходит из конденсатора С5 и поступает на С6. $T_{\text{нач}}=78\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кон}}=77\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4. Спиртовой пар ректификационной колонны после конденсации. Выходит из конденсаторов С6 и С7 и возвращается в колонну. $T_{\text{нач}}=77\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кон}}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. Спиртовой 96% пар после конденсации. Выходит из колонны концентрирования смесей и конденсируется в С8 и С9, после чего направляется в С10. $T_{\text{нач}}=79.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кон}}=78\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6. Спиртовой пар колонны концентрирования смесей после конденсации. Выходит из конденсатора С10 и направляется в С11. $T_{\text{нач}}=78\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кон}}=64\text{ }^{\circ}\text{C}$.

7. Спиртовой пар колонны конечной очистки после конденсации. Выходит из конденсаторов С14 и С15 и возвращается в колонну. $T_{\text{нач}}=87\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кон}}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$.

8. Спиртовой 96% пар после конденсации. Выходит из элюационной колонны и конденсируется в С16, С17 и С18, после чего направляется на С19. $T_{\text{нач}}=78.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кон}}=77.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

9. Спиртовой пар элюационной колонны. Выходит из конденсаторов С19 и С20 и направляется на С21. $T_{\text{нач}}=78.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кон}}=77\text{ }^{\circ}\text{C}$.

10. Спиртовой пар элюационной колонны. Выходит из конденсаторов С21 и С22, после чего направляется к С23. $T_{\text{нач}}=77\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кон}}=65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

11. Спиртовой пар элюационной колонны. Выходит из конденсатора С23 и возвращается в колонну. $T_{\text{нач}}=65\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кон}}=36\text{ }^{\circ}\text{C}$.

12. Конечный 95.5 % спирт. Выходит из колонны концентрирования смесей, охлаждается в С24 и поступает в емкость для хранения конечного продукта. $t_{нач}=78.3^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=20^{\circ}\text{C}$.

13. Сточные воды. Выходит из колонны конечной очистки, охлаждается в С25 и сливается. $T_{нач}=111,2^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=29^{\circ}\text{C}$.

14. Сточные воды. Выходит из колонны конечной очистки, охлаждается в С26 и сливается. $T_{нач}=110,7^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=29^{\circ}\text{C}$.

15. Брага 11.35%. Поступает в теплообменный аппарат Е1, и после очистки через сепаратор S1 входит в смесительную колонну. $T_{нач}=29^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=87,4^{\circ}\text{C}$.

16. Подогрев барды. Барда из бражной колонны очищается в сепараторе S2 и собирается в специальные емкости. $T_{нач}=80^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=98^{\circ}\text{C}$.

17. Подогрев барды. Осуществляется в бражной колонне. $T_{нач}=109,1^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=110,1^{\circ}\text{C}$.

18. Подогрев смеси. Выходит из бражной колонны и поступает в эспурационную колонну, где и осуществляется подогрев. $T_{нач}=85,2^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=86,2^{\circ}\text{C}$.

19. Подогрев альдегидной жидкости. Выходит из эспурационной колонны и поступает в ректификационную колонну, где и осуществляется подогрев. $T_{нач}=95,4^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=96,4^{\circ}\text{C}$.

20. Подогрев жидкого спирта. Выходит из ректификационной колонны и поступает в колонну конечной очистки, где и осуществляется подогрев. $t_{нач}=111,2^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=112,2^{\circ}\text{C}$.

21. Подогрев разведенного спирта. Выходит из колонны конечной очистки и поступает в колонну концентрирования смесей, где и осуществляется подогрев. $T_{нач}=110,7^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=111,7^{\circ}\text{C}$.

Для дальнейшего анализа необходимо определить значение мощности рекуперации для существующего процесса.

На данный момент, есть только один теплообменный аппарат, который принимает участие в рекуперации – Е1.

В таблице 1 приведен перечень определенных параметров для данных потоков.

Таблица 1

Потоковые данные технологических потоков, включенных в интеграцию для пятиколонной установки производства спирта

№	Поток	Тип	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт}/^\circ\text{C}$	$\alpha, \text{кВт}/\text{м}^2$	$\Delta H, \text{кВт}$	$G, \text{кг}/\text{с}$
1	Спиртовой 96% пар ректиф. колонны после C1 и C2	гор	78.9	77.9	3819	8000	3819	1.66
2	Спиртовой пар ректиф. колонны после C3 и C4	гор	78.9	78.0	1140.40	8000	1026.4	0.44
3	Спиртовой пар рек-тиф. колонны после C5	гор	78.0	77.0	263.30	8000	263.30	0.11
4	Спиртовой пар ректиф. колонны после C6 и C7	гор	77.0	38.0	5.24	3000	204.5	0.002
5	Спиртовой 96% пар из колонны концентр. смесей после C8 и C9	гор	79.4	78.0	2988.29	7000	4183.6	1.80
6	Спиртовой пар из колонны концентрирования смесей после C10	гор	78.0	64.0	50.01	3000	826.1	0.36
7	Спиртовой пар из колонны концентрирования смесей после C11	гор	64.0	29.0	1.47	3000	51.53	0.02
8	Спиртовой 80.26% пар из колонны конечн. очистки после C12, C13	гор	94.3	87.0	291.26	3000	2126.2	0.92
9	Спиртовой пар из колонны конечн. очистки после C14, C15	гор	87.0	28.0	6.48	3000	382.2	0.16
10	Спиртовой пар из эдю-рац. колонны после C16, C17, C18	гор	78.5	77.5	3606.2	7000	3606.2	1.57
11	Спиртовой пар из эдю-рац. колонны после C19 и C20	гор	78.5	77.0	1331.1	7000	1996.7	0.87
12	Спиртовой пар из эдю-рац. колонны после C21 и C22	гор	77.0	66.0	62.79	3000	941.8	0.45
13	Спиртовой пар из эдю-рац. колонны после C23	гор	65.0	36.0	1.44	3000	41.90	0.02
14	Конечный спирт	гор	78.3	20.0	4.08	3000	238.1	1.45
15	Сточные воды из ректификац. колонны	гор	111.2	29.0	19.17	2600	1575.8	4.64
16	Сточные воды из колонны конечной очистки	гор	110.7	29.0	14.87	2600	1214.9	3.65

Продолжение таблицы 1								
17	Брага 11.35%	хол	29.0	87.4	44.08	2000	2574.4	11.20
18	Подогрев отходов	хол	80.0	98.0	26.64	2000	479.52	8.53
19	Подогрев браги в бражной колонне	хол	109	110.1	6112.8	2000	6112.8	2.65
20	Подогрев смеси в элю- рац. колонне	хол	85.2	86.2	747.0	2000	747.0	0.32
21	Подогрев альдег. жид- кости	хол	95.4	96.4	1853.7	2000	1853.7	0.8
22	Подогрев жидкого спирта в колонне ко- нечной очистки	хол	111. 2	112.2	6551.8	2000	6551.8	2.85
23	Подогрев разведенного спирта	хол	110. 7	111.7	6545.6	2000	6545.6	2.84

На основе таблицы была построена сеточная диаграмма, на которой располагаются горячие и холодные потоки, согласно с температурными интервалами (рис.2).

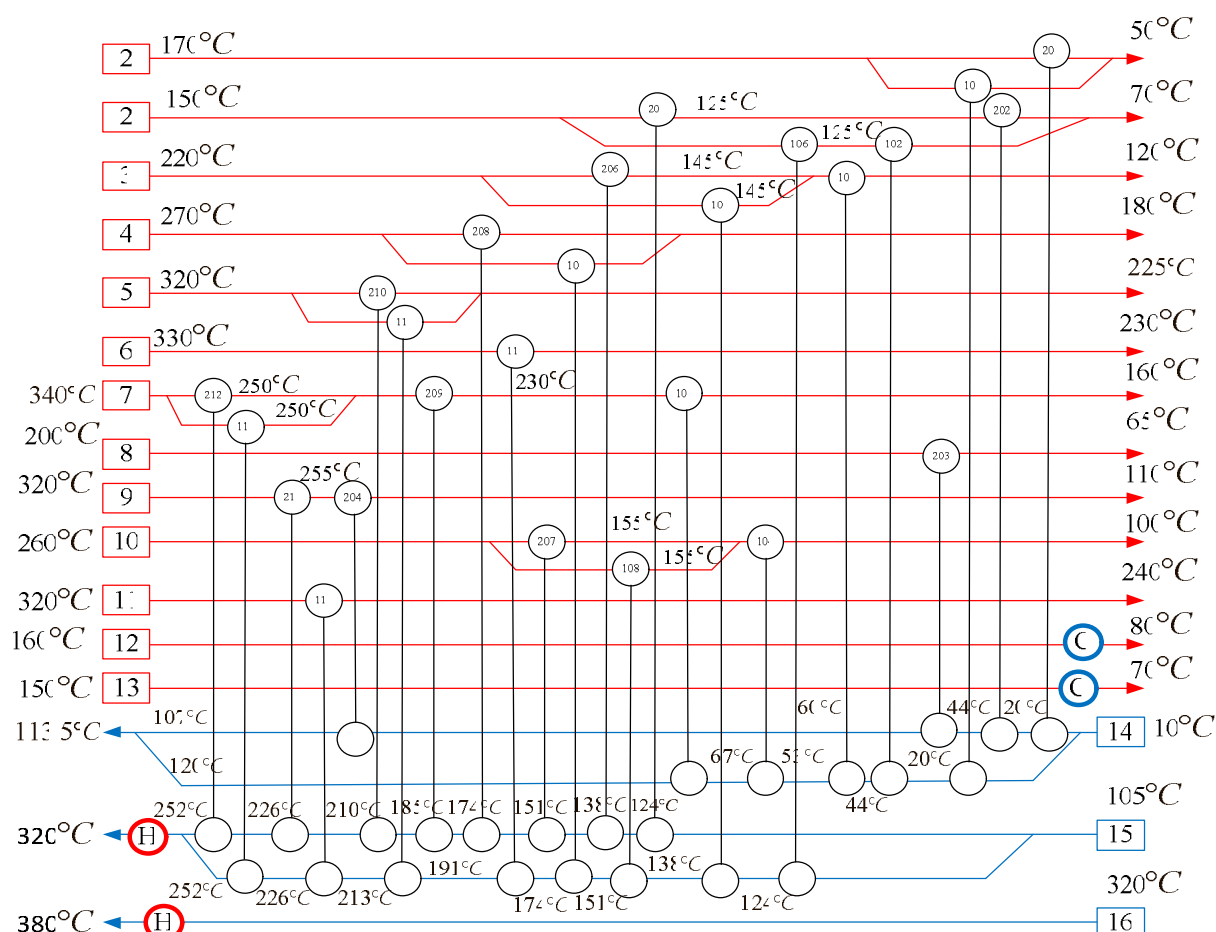


Рис. 2. Существующая система теплообмена на установке: 16 – горячие потоки; 17–23 – холодные потоки; CP – потоковая теплоемкость; ΔH – тепловые нагрузки для каждого потока

Как видно из диаграммы, система имеет большое количество горячих (пар) и холодных (охлаждающая вода) утилит, что обеспечивает системе не оптимальную рекуперации энергии. На основе имеющихся данных построим составные кривые процесса (рис. 3). Составные кривые содержат большой объем информации о системе технологических потоков, утилитной системе и эффективности использования тепловой энергии в процессе.

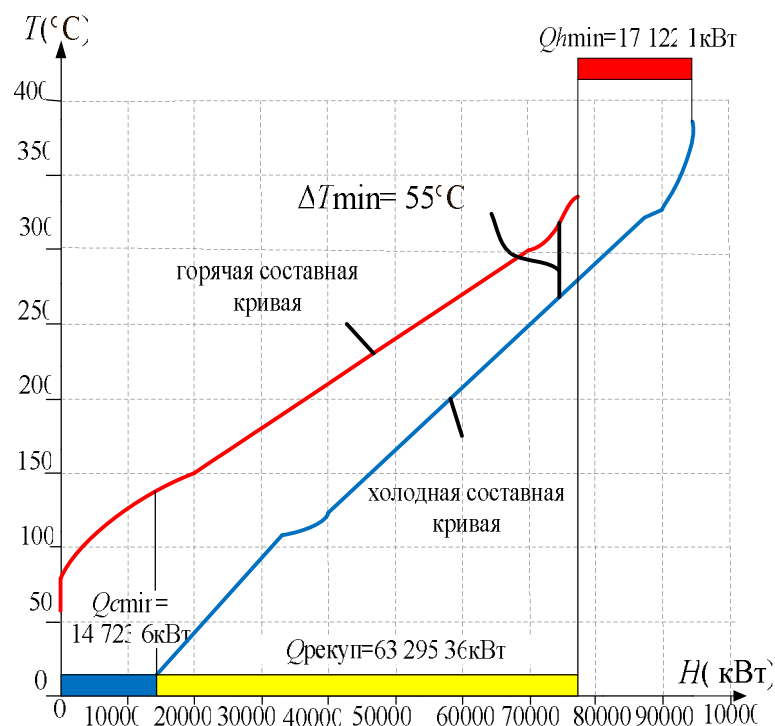


Рис. 3. Составные кривые существующего процесса: Q_{Hmin} – горячие утилиты; Q_{Cmin} – холодные утилиты, Q_{rec} – значение рекуперированной энергии

Проекция горячей кривой на энтальпийную ось 19 933 кВт – это не-рекуперированный участок, который требует охлаждения извне, то есть это величина мощности, необходимая для холодных утилит. Проекция холодной кривой на энтальпийную ось – 22 300 кВт, и эта часть потока также нуждается в подогреве извне, то есть равна мощности подводимого горячего пара. Участок, на котором горячая и холодная составные кривые совпадают, является той частью энергии процесса, который рекуперирован, и равен, соответственно, нагрузке на единственный установленный теплообменный аппарат Е1–2574 кВт. Минимальная разница температур при этом составляет $\Delta T_{min} = 20^\circ\text{C}$.

Для уточнения существующих данных было проведено моделирование схемы в среде пакета UniSim Design (рис. 4).

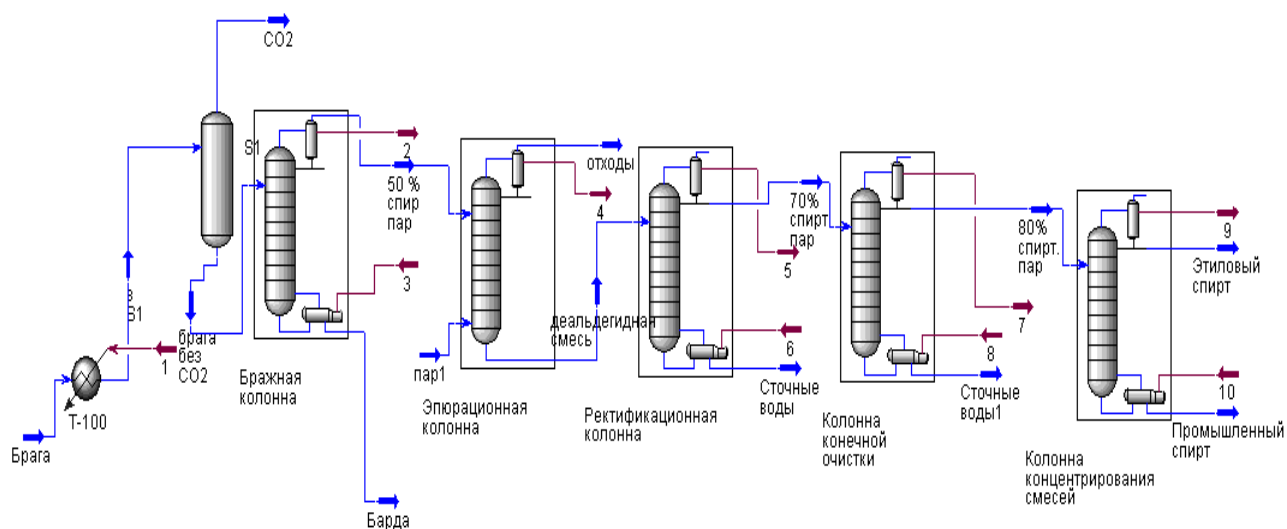


Рис. 4. Моделирование схемы в среде пакета UniSim Design

Программа Unisim Design, разработанная фирмой «Хайпротех», представляет собой пакет математического обеспечения, предназначенный для моделирования в стационарном режиме, проектирования химико-технологических производств, контроля продуктивности оборудования, оптимизации и бизнес-планирования [5].

Заключение. В результате проведенного обследования установки производства спирта были экстрагированы необходимые потоковые данные, на основе которых были построена сеточная диаграмма, составные кривые процесса и модель процесса в среде пакета UniSim Design.

Список литературы: 1. Сайт компании аудиторско-консалтинговой группы «СВ-Аудит»: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.sv-audit.ru> 2. ZhaolinGu. Retrofitting of a distillery based on process synthesis / ZhaolinGu, Zhonghua Tao, Nan Xu // Energy conversion and management. Xi'an, China.- 2006. – 9 с. 3. Яровенко В.Л. Справочник по производству спирта / Яровенко В.Л., Устинников Б.А. – М: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 57 с. 4. Основы интеграции тепловых процессов / [Смит Р., Клемеш Й., Тобажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульянов Л.М.]. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008 – 260 с. 5. Лисицын Н.В. Разработка моделей аппаратов химической технологии в системе компьютерного моделирования Hysys / Лисицын Н.В., Федоров В.И. – СПб: СПбГТИ, 2005. – 5 с.

Поступила в редколлегию 22.02.12

Л.М.УЛЬЕВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
Л.А. МЕЛЬНИКОВСКАЯ, аспирант, НТУ «ХПИ»

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ НА УСТАНОВКЕ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ АВТ А12/2 В РЕЖИМЕ РАБОТЫ БЕЗ ВАКУУМНОГО БЛОКА

Розрахунок теплових втрат на установці первинної переробки нафти АВТ А12/2 в режимі роботи без вакуумного блоку показав, що установка працює не в оптимальному режимі. Таким чином, на теплообмінному обладнанні та трубах, ще до системи розділення, втрачається близько 4 МВт теплової енергії

Расчет тепловых потерь на установке первичной переработки нефти АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока показал, что установка работает не в оптимальном режиме. Таким образом, на теплообменном оборудовании и трубах, еще до системы разделения, теряется около 4 МВт тепловой энергии

Calculation of heat losses for crude oil unit in operation without vacuum block showed that the plant is not operating optimally. Comparison of heat loss, calculated according to the hot and cold utilities, and losses directly to the heat exchangers and piping gives a value of about 4 MW. Thus, the heat transfer equipment before the system of division lost about 4 MW of thermal energy

Введение. Проблема обеспечения украинской экономики энергоносителями – одна из самых актуальных в наше время. Газ, нефть, уголь и даже электроэнергию приходится импортировать. Ежегодно на это затрачивается около 8 млрд. долл., на что идет 2/3 всего товарного экспорта [1]. Дефицит энергоносителей влечет за собой много последствий: недобор урожая, систематическое отключение населенных пунктов от электроснабжения и т.д. Научно-технический прогресс, улучшение качества продукции, улучшение условий труда, интенсификация всего общественного производства определяются развитием энергетики страны, основой которой является топливная база и предприятия по переработке топлива [2, 3]. Увеличение объемов производства, которое ожидается на протяжении ближайших десяти лет, обуславливает возрастание спроса на энергию и электроэнергию. Несмотря на то, что установленная мощность переработки предприятий Украины является высокой, реальная рабочая мощность снижается. Возникает потребность в реабилитации существующих установок и оборудования. Установки атмосферно-

вакуумной трубчатки (АВТ) являются основой всех нефтеперерабатывающих заводов, т.к. вся сырая нефть проходит через эти установки [4 – 8]. Поэтому особое внимание следует уделить повышению эффективности работы существующих АВТ, уменьшению удельных затрат на переработку нефти и снижению количества тепловых потерь на оборудовании установки.

В предыдущих работах была проведена экстракция данных, моделирование процесса в программе HYSYS (Unisim Design), определен энергосберегающий потенциал установки и предложен проект схемы реконструкции рассматриваемой установки, работоспособность которого подтверждена моделированием в программе (Unisim Design) [9, 10]. Программа HYSYS (Unisim Design) является программным пакетом, предназначенным для проектирования химико-технологических производств, контроля продуктивности оборудования, оптимизации в области добычи и переработки углеводородов и нефтехимии, моделирования оборудования в стационарном режиме, в том числе и моделирования установок первичной переработки нефти [11 – 13].

Цель данной работы – определить количество тепловых потерь на теплообменном оборудовании установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока. Технологическая схема установки АВТ А12/2 приведена на рис. 1.

Определение мощности рекуперации теплоты в системе теплообмена по горячим и холодным потокам. В одной из предыдущих работ была определена общая мощность рекуперации в сети теплообменников установки первичной переработки нефти АВТ А12/2 величиной 33 МВт. Поскольку измерения температур теплоносителей проводились для горячих и для холодных потоков независимо, мы рассчитаем мощность рекуперации тепловой энергии в сети теплообменников отдельно для горячих и для холодных потоков. Сначала определим мощность рекуперации теплоты, используя данные, собранные для горячих потоков (табл. 1). Потоки дизельного топлива и мазута сегментированы, т.к. они отводятся с различного оборудования установки несколькими потоками. Итак, мощность рекуперации теплоты, рассчитанная по измеренным изменениям температуры горячих потоков, составляет величину около 39,4 МВт.

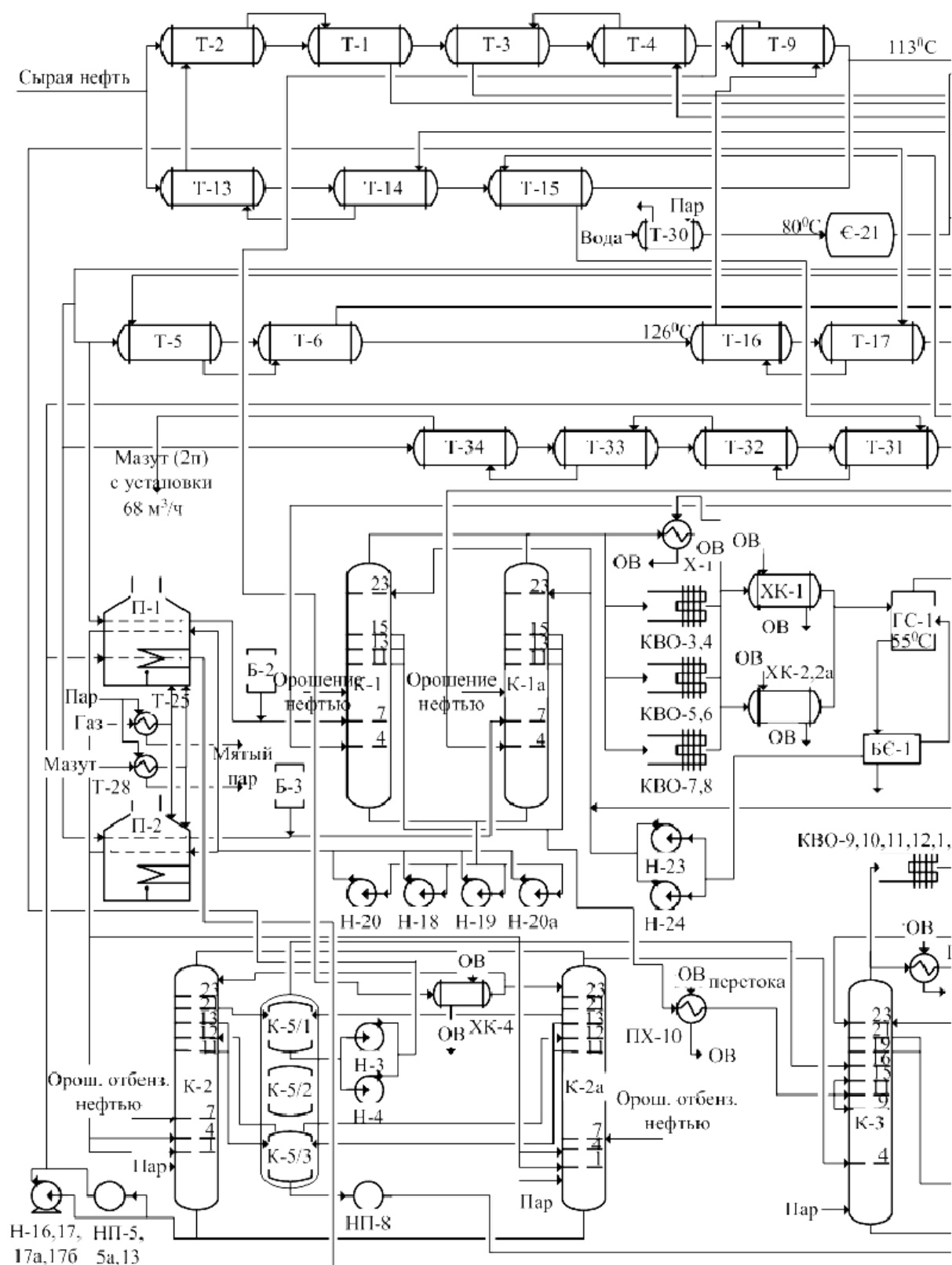
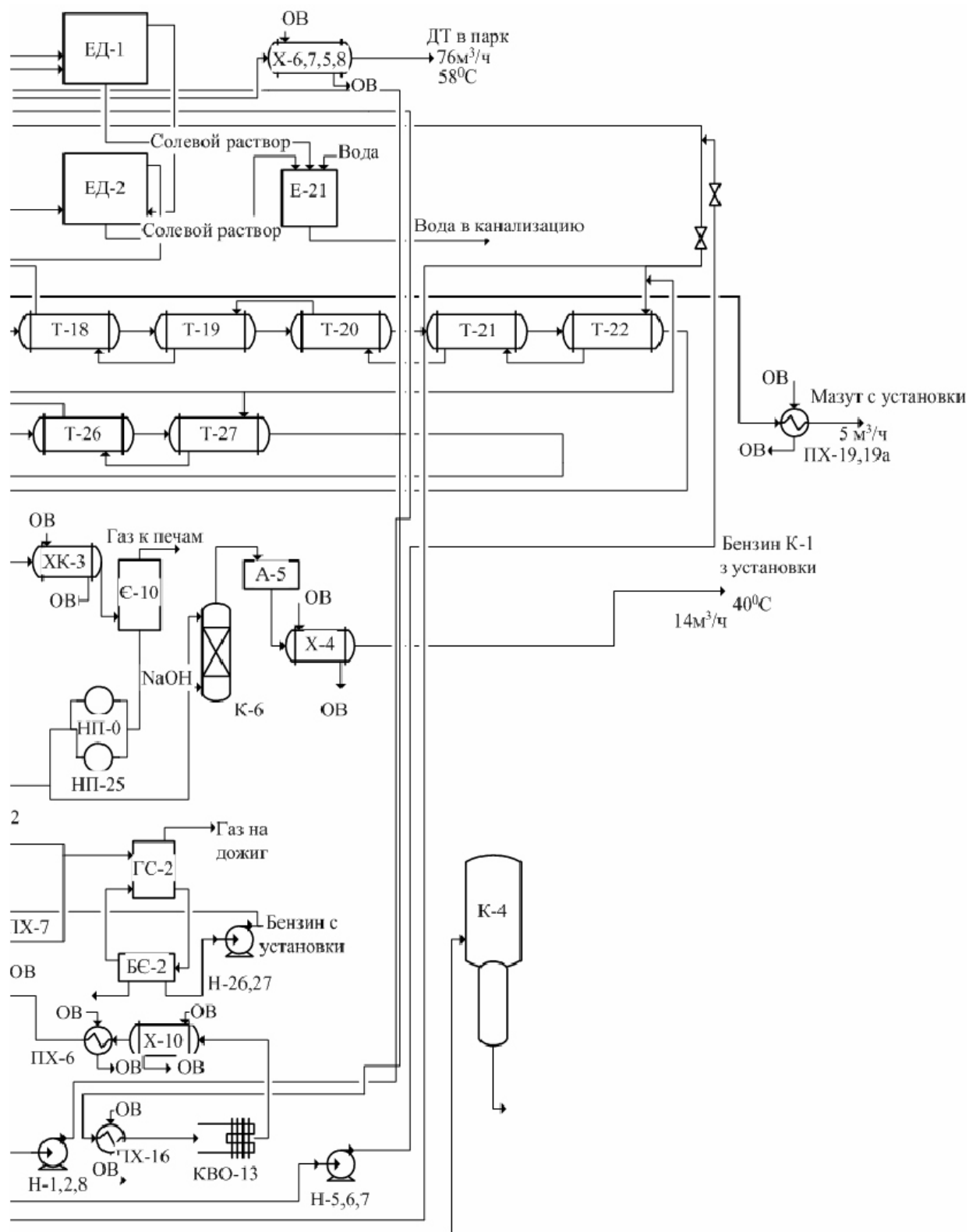


Рис. 1. Существующая схема установки переработки нефти АВТ А12/2 без атмосферные ректификационные колонны; К2, К2а – ректификационные дизельного топлива; К4 – вакуумная колонна; К5 – отпарная колонна; КВО – теплообменные аппараты; Х, ПХ – холодильники; ХК – конденсаторы; ЭД –



вакуумного блока. БУ, БЕ, Е – емкости; БК – барометрический конденсатор; К1, К1а – колонны разгона отбензиненной нефти; К3 – ректификационная колонна для получения конденсатор воздушного охлаждения; Н, НП – насосы; П – трубчатая печь; Т – электродегидратор; ОВ – охлаждающая вода

Таблица 1

Мощность рекуперации, рассчитанная для горячих потоков установки

Горячие потоки	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$G, \text{т/ч}$	$CP, \text{кВт/К}$	$\Delta H, \text{кВт}$
Дизельное топливо	229	200	71,11	68,29	1980,41
	200	100	71,11	58,81	5881
	100	65	71,11	51,76	1811,6
Циркуляционное орошение К-3	133	100	75,79	55,87	1843,71
Циркуляционное орошение К-2,2а	240	144	30,73	29,85	2865,6
Мазут	312	300	133,08	150,01	1800,12
	300	250	133,1	135,78	6789
	250	200	133,1	122,99	6149,5
	200	150	133,1	109,87	5493,5
	150	100	133,1	95,69	4784,5

Аналогично, с помощью вычисления увеличения потокового тепло-содержания холодных потоков, участвующих в теплообмене, определяем мощность рекуперации в системе теплообмена (табл. 2).

Таблица 2

Мощность рекуперации, рассчитанная для холодных потоков установки

Холодные потоки	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$G, \text{т/ч}$	$CP, \text{кВт/К}$	$\Delta H, \text{кВт}$
Сырая нефть	10	50	250,9	142,55	5702
	50	118	250,9	170,22	11574,96
Обессоленная нефть	112	150	248,3	192,17	7302,46
	150	200	248,3	214,4	10720

Здесь сегментируются потоки сырой нефти, т.к. она поступает в теплообменную сеть двумя потоками, и обессоленной нефти, т.к. она циркулирует на установке также двумя потоками. Мощность рекуперации теплоты, рассчитанная по измеренным изменениям температуры холодных потоков, составляет величину 35,3 МВт, что почти на 4 МВт меньше, чем по горячим потокам. Такая разница в значениях обусловлена тем, что в процессе первичной переработки нефти на установке АВТ А12/2 теплообмен не является вертикальным, поэтому утилитный нагрев может происходить на большей части холодной составной кривой, также как и рекуперативный теплообмен.

В то же время полезная нагрузка на утилитную систему включает в себя не только горячие утилиты, но и тепловые потери в окружающую среду. Эти потери происходят в системе теплообмена как непосредственно на теплообменном оборудовании, так и на транспортных трубопроводах. Проведенные измерения и расчеты показывают, что потери тепловой энергии, происходящие на теплообменных аппаратах, состав-

ляют величину, равную приблизительно половине всех тепловых потерь в окружающую среду системой теплообмена.

Определение количества тепловых потерь на теплообменном оборудовании. Имея данные для расчета тепловых потерь на теплообменном оборудовании (табл. 3), можно вычислить количество тепловых потерь на каждом теплообменном аппарате [14, 15].

Таблица 3

Данные для расчета тепловых потерь на теплообменном оборудовании

Тепло- обм. аппарат	Температура открытой наружной поверхности теплообменника, °C			Размеры открытой части наружной поверхности теплообменника, м	
	1 крышка	2 крышка	Корпус	Ø 1, 2 крышки	L корпуса, от крышки
T-1	23	50	23	0,6	2
T-2	38	50	38	0,6	2
T-27	260	155	260	1,2	3
T-26	227	116	227	1,2	3
T-15	67	260	40	1,2	3
T-14	28	118	28	1	3
T-13	16	144	16	1	3
T-31	75	100	75	0,6	2
T-32	80	80	80	0,6	2
T-33	67	80	80	1	10
T-34	90	70	70	1	10
T-9	80	130	130	1	10
T-3	75	75	75	0,6	2
T-4	70	70	70	0,6	2
T-8	104	100	104	1	2
T-7	112	100	112	1	2
T-6	120	100	120	1	2
T-5	102	120	102	1	2
T-16	100	200	100	0,6	2
T-17	90	200	90	0,6	2
T-18	70	160	70	0,6	2
T-19	100	185	100	0,6	2
T-20	157	157	157	1,2	2
T-21	170	220	170	0,6	2
T-22	195	240	195	0,6	2
T-28	65	123	65	1	2
T-25	25	90	25	1	2
T-24	260	260	260	1	8
T-11,12	220	220	220	0,4	11

Для расчета конвективной и лучистой составляющей тепловых потерь теплообменных аппаратов необходимо знать площади открытых поверхностей, их температуру и габариты аппаратов. Если у теплообменного аппарата не теплоизолирована боковая крышка, то для вычисления площади ее поверхности воспользуемся выражением:

$$S_k = \pi \cdot (h^2 + r^2),$$

где h – высота к основанию цилиндра с радиусом, равным $r = d/2$; d – внешний диаметр кожуха теплообменника.

Если у теплообменного аппарата имеется открытый участок длиной l , то площадь открытой поверхности определится выражением:

$$S_{oy} = \pi \cdot (d \cdot l + r^2 + h^2).$$

Конвективный тепловой поток будем рассчитывать при средней скорости ветра 3 м/с. Мощность конвективного теплового потока определится выражением:

$$Q_c = \alpha \cdot S \cdot (T_s - T_0),$$

где T_s – температура поверхности, °C; T_0 – температура воздуха, °C; α – коэффициент теплоотдачи от поверхности с температурой T_s к воздуху с температурой T_0 .

Коэффициент теплоотдачи найдем из формулы для определения числа Нуссельта:

$$\text{Nu} = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda},$$

где λ – теплопроводность воздуха, Вт/м·°C.

Далее используем зависимость между числом Нуссельта и числом Рейнольдса, полученную для воздуха (или двухатомных газов) на основе теории обобщения: $\text{Nu} = 0.018 \cdot \text{Re}^{0.8}$,

Число Рейнольдса найдем по формуле:

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot d}{\nu},$$

где ω – скорость ветра, м/с; ν – динамический коэффициент вязкости воздуха, Па·с.

Тогда:

$$\alpha = \frac{0.018 \cdot \lambda \cdot \omega^{0.8} \cdot d^{0.8}}{\nu^{0.8} \cdot d}.$$

Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Количество тепловых потерь на теплообменном оборудовании

Оборудование и трубы	Площадь открытых участков, м ²	Тепловые потери, Вт
T-1	4.587	4864
T-2	4.587	6174
T-27	13.823	103900
T-26	13.823	83000
T-15	13.823	48930
T-14	11.247	18860
T-13	11.247	19070
T-31	4.587	11920
T-32	4.587	11440
T-33	36.380	79300
T-34	36.380	80360
T-9	36.380	121400
T-3	4.587	10720
T-4	4.587	10010
T-8	8.105	24290
T-7	8.105	25660
T-6	8.105	27050
T-5	8.105	25660
T-16	4.587	19760
T-17	4.587	18650
T-18	4.587	14420
T-19	4.587	18920
T-20	6.283	29750
T-21	4.587	29470
T-22	4.587	34260
T-28	8.105	19740
T-25	8.105	11070
T-24	26.955	253800
T-11,12	14.326	119800
Трубы	469.601	3247000
Всего тепловых потерь		4529248

Принимая среднюю температуру между поверхностью оборудования и окружающей средой 125 °С, подставляем значения теплопроводности воздуха $\lambda = 12.9 \cdot 10^{-3}$ Вт/м и динамического коэффициента вязкости воздуха $\nu = 2.79 \cdot 10^{-5}$ Па·с. Отсюда имеем:

$$\alpha = \frac{20}{d^{0.2}}.$$

Мощность лучистых потерь определим из выражения:

$$Q_l = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot \left[(T + 273)^4 - (T_0 + 273)^4 \right],$$

где ε – степень черноты, равная 0.95; σ – постоянная Стефана – Больцмана.

Выводы. Расчет тепловых потерь на установке первичной переработки нефти показал, что установка работает не в оптимальном режиме. Сравнение количества тепловых потерь, рассчитанного по горячим и холодным утилитам, и потерь непосредственно на теплообменном оборудовании и трубах дает величину около 4 МВт.

Список литературы: 1. Бурлак Г.Г. Нефтеперерабатывающая отрасль экономики: состояние и перспективы / Г.Г. Бурлак // Экономика Украины. – 2000. – № 7. – С. 19–24. 2. Степанов А.В. Рациональное использование сырьевых и энергетических ресурсов при переработке углеводородов / Степанов А.В., Сульжик Н.И., Горюнов В.С. – К.: Техника, 1989. – 170 с. 3. Клименко В.Л. Энергоресурсы нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / В.Л. Клименко, Ю.В. Костерин. – Л.: Химия, 1985. – 256 с. 4. Гуревич И.Л. Технология переработки нефти и газа. Общие свойства и первичные методы переработки нефти и газа / Гуревич И.Л. – М.: Химия, 1972. – 460 с. 5. Леффлер Уильям Д. Переработка нефти / Леффлер Уильям Д. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2004. – 223 с. 6. Рудин М.Г. Карманный справочник нефтепереработчика / Рудин М.Г. – Л.: Химия, 1989. – 464 с. 7. Багиров И.Т. Современные установки первичной переработки нефти / Багиров И.Т. – М.: Химия, 1974. – 240 с. 8. Эмирджанов Р.Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии / Р.Т. Эмирджанов, Р.А. Лемберанский. – М.: Химия, 1989. – 191 с. 9. Товажнянский Л.Л. Экстракция данных для теплоэнергетического интегрирования процесса первичной переработки нефти на установке АВТ А12/2 / Л.Л. Товажнянский, Л.М. Ульев, Л.А. Мельниковская, Б.Д. Зулин // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2010. – № 1. – С. 53–64. 10. Товажнянский Л.Л. Проектирование схемы реконструкции установки первичной переработки нефти АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока в зимнее время / Л.Л. Товажнянский, Л.М. Ульев, Л.А. Мельниковская, Б.Д. Зулин // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2010. – № 3. – С. 64–73. 11. Plesu V. Retrofit solutions in crude distillation plant using process simulation and process integration / Plesu V., Bumbac G., Tacu-Marcov C., Ivanescu I., Popescu D.C. // Chemical engineering transactions. – 2005. – Vol. 7. – P. 169–174. 12. Plesu V. HEN retrofit for a crude distillation unit-part 1 / Plesu V., Bumbac G., Nan O. // Chemical engineering transactions. – 2001. – Vol. 2. – P. 95–98. 13. Plesu V. Catalytic, reforming plant simulation for energy saving and rational use of hydrogen / Plesu V., Baetens D., Bumbac G. // Chemical engineering transactions. – 2001. – Vol. 2. – P. 489–492. 14. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 336 с. 15. Григорьев Б.А. Теплофизические свойства нефти, нефтепродуктов, газовых конденсатов и их фракций / Григорьев Б.А., Богатов Г.Ф., Герасимов А.А. – М.: Издательство МЭИ, 1999. – 370 с.

Поступила в редколлегию 22.02.12

В.Б. ТРОШЕНЬКИН, канд. техн. наук, ИПМаш НАНУ, Харьков,
Н.Н. ЗИПУННИКОВ, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»,
Б.А. ТРОШЕНЬКИН, докт. техн. наук, ИПМаш НАНУ, Харьков

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА ИЗ ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЛАВОВ

Досліджено хімічну активність ряду залізокремнійалюмінієвих та алюмінієвих сплавів при взаємодії із розчинами лугу. Розглянуто сплави на основі алюмінію і кремнію з добавками кальцію та барію. Розроблено процес призначений для виробництва водню з води в автономних об'єктах. Запропонована модель процесу враховує термодинамічні та кінетичні характеристики системи

Исследована химическая активность ряда железокремнийалюминиевых и алюминиевых сплавов при взаимодействии с растворами щелочей. Рассмотрены сплавы на основе алюминия и кремния с добавками кальция и бария. Разработан процесс производства водорода из воды в автономных объектах. Предложенная модель процесса учитывает термодинамические и кинетические характеристики системы

Chemical activity of series of ferro-silicic-aluminium and aluminium alloys is investigated at interaction with alkaline solutions. Alloys on the basis of aluminium and silicium with additives of barium and calcium are considered also. Developed process is intended for production of hydrogen from water at autonomous objects. The model of the process takes into account the thermodynamic and kinetic characteristics of the system are offered

Постановка и актуальность проблемы. Производство водорода в автономных условиях получило наиболее широкое распространение в системе гидрометеослужбы и аэростатных организаций. Вполне возможно, что применяемая в настоящее время технология является прообразом тех многотоннажных производств водорода, которые в недалеком будущем, по мере увеличения стоимости углеводородов, займут свое достойное место в промышленности высокоразвитых стран. Известно, что для автономных потребителей наиболее экономичным является силиколевый способ производства водорода, основанный на способности ряда сплавов вытеснять водород из воды. На метеостанциях применяют выпускаемый промышленностью сплав ФС 75 (масс. доля, % : Si – 75, Fe – 25). Водород получают в стандартных баллонных газогенераторах АВГ-45 (объем баллона 45 л). Норма закладки реагентов составляет: едкий натр – 0,8 кг; сплав – 1,25 кг; вода – 6 л. Объем получаемого водорода - 1,5 м³. Давление, развиваемое в аппарате 8,0 МПа [1].

Изложение основного материала исследований. Нами проведены исследования по совершенствованию данного способа производства водорода [2]. Результаты анализа сплава ФС 75 показали, что железо в кремниевых сплавах в свободном состоянии не встречается, а только в виде соединений – Fe_3Si , Fe_2Si , FeSi_2 . Наиболее прочным среди них является дисилицид железа, обнаруживаемый в продуктах реакции. В связи с этим при температурах ниже 300°C не достигается 100 % использование сплава. Одновременно было установлено, что размеры частиц сплава должны находиться в пределах $0,5 \dots 1$ мм. При проведении процесса в оптимальных условиях обводненность твердых продуктов реакции находится в пределах $8 \dots 8,5$ % [3]. В холодное время для нормального развития реакции добавляют алюминиевый порошок. Добавка алюминия к реакционной смеси не обеспечивает достаточно надежную безопасность процесса. Алюминий бурно взаимодействует со щелочью, что зачастую приводит к выбросам пульпы из реактора в момент его герметизации. Процесс проходит гораздо спокойнее, если алюминий входит непосредственно в состав сплава. Поэтому основное усилие было направлено на разработку оптимального состава сплава ферросиликоалюминия (ФСА). Сплавы ФСА более активно взаимодействуют с раствором щелочи чем ФС 75, но при этом требуют повышенного расхода воды и щелочи. Данное обстоятельство объясняется тем, что твердые продукты реакции алюминия интенсивно поглощают воду. В гидроксиде алюминия сосредотачивается более 20 % воды от его массы [4 – 6].

Для интенсификации процесса сплав ФСА был подвергнут сверхбыстрой закалке (спинингованию), это позволило поднять величины скорости реакции на $30 \dots 40$ % [7]. Данное обстоятельство говорит о возможности сокращения объема аппарата. Сплавы ФСА, полученные из неорганической части угля, имеют более высокую скорость взаимодействия с водой, чем ФСА, сплавляемые из индивидуальных компонентов [8]. К тому же, первые значительно дешевле последних. Проблема расширения круга сплавов, используемых для производства водорода из воды, по-прежнему остается крайне важной. До недавнего времени были отработаны режимы получения водорода из воды с применением сплавов систем $\text{Fe} - \text{Si} - \text{Al}$, $\text{Fe} - \text{Si}$, $\text{Al} - \text{Si} - \text{Ni}$, $\text{Al} - \text{Si} - \text{Cu} - \text{Zn} - \text{Mg}$. Кроме того, определена химическая активность алюминиевых сплавов марок АПВ и САС-1, а также чистого кремния [9, 10]. Ферросплавные производства продолжают

осваивать новые типы ферросплавов и, в частности, с добавками щелочноземельных металлов, например, таких как кальций, стронций и барий. Проверена возможность применения этих сплавов в производстве водорода. Выявленные закономерности процессов подтвердили высокую эффективность вновь разработанных сплавов [11].

На данный момент появилась необходимость в обобщении результатов ранее проведенных исследований с целью установления оптимальных концентрационных пределов алюминия в составе ФСА, а также объяснении причин изменения режимов реакций, наблюдаемых при использовании сплавов со щелочноземельными металлами.

Кроме того, необходимо подвести итог в разработке различных моделей изучаемого процесса. Для достижения поставленных целей проведен углубленный анализ экспериментальных данных, частично представленный в работе [11]. Была изучена активность сплавов следующего химического состава (массовая доля, %): ФС 90 (Si-92, Fe-4, Al-3, Ca-1); ФС 90 Ba4 (Si-88.6, Fe-5.9, Ba-4.0, Ca-1.5); ФС 75 Ba1 (Si-78.4, Fe-19.3, Al-1.3, Ba-1.0); ФСА 4 (Fe-5.8, Si-90.4, Al-3.8); ФСА 15 (Fe-7, Si-78, Al-15); ФСА 30 (Fe-10.3, Si-59.9, Al-29.8); ФСА 32 (Fe-5.5, Si-62.3, Al-32.2); А-98КаМг (Al-98.4, Ca-0.8, Mg-0.8); АВ - 86 (алюминий вторичный) (Si-5.0, Al-84, Cu-4.0, Sn-0.2, Mg-3.0, Zn-3.5, Pb-0.3). Дисперсный состав сплава А-98КаМг составляет 0,1 мм, остальных - 0,63...1 мм.

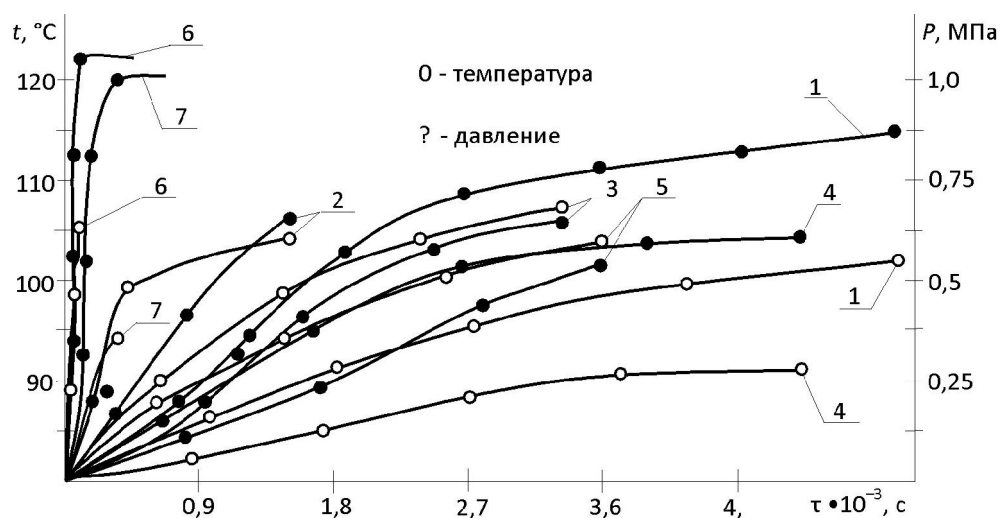


Рис. 1. Характер изменения давления и температуры в реакторе при взаимодействии сплавов с раствором щелочи (NaOH 13,3%), начальная температура $t_{нач} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$, $m = 1 \cdot 10^{-3}\text{ кг}$; 1 - ФС 90, 2 - ФС 75 Ba1, 3 - ФСА 4, 4 - ФСА 30, 5 - ФСА 32, 6 - А-98 КаМг, 7 - АВ 86

Методика проведения опытов изложена в работе [11]. Опыты проведены в кинетическом реакторе объемом $V_p = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Результаты опытов представлены на рисунках 1–3.

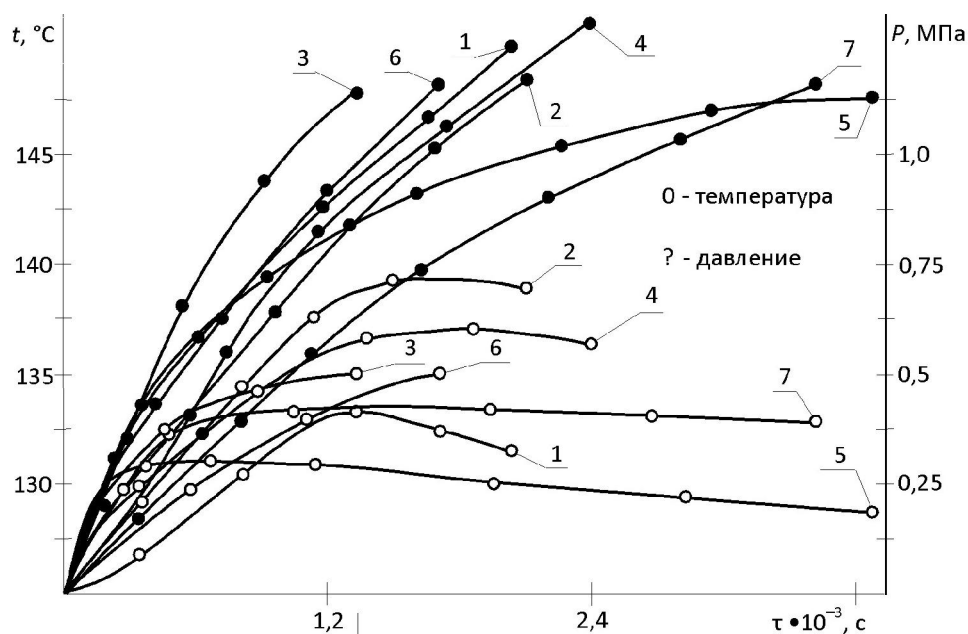


Рис. 2. Характер изменения давления и температуры в реакторе при взаимодействии сплавов с NaOH 13,3%, $t_{\text{нач}} = 130 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $m = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$; 1 - ФС 90, 2 - ФС 90 Ба4, 3 - ФС 75 Ба1, 4 - ФСА 4, 5 - ФСА 15, 6 - ФСА 30, 7 - ФСА 32

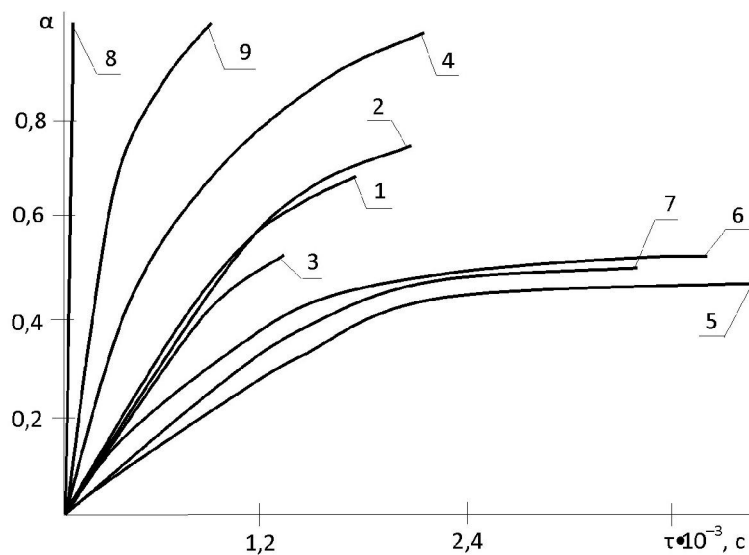


Рис. 3 Зависимость полноты реакции от времени τ при 10 %-ой концентрации щелочи и начальной температуре $t_{\text{нач}} = 130 \text{ }^{\circ}\text{C}$ для сплавов: 1 - ФС 90, 2 - ФС 90 Ба4, 3 - ФС 75 Ба1, 4 - ФСА 4, 5 - ФСА 15, 6 - ФСА 30, 7 - ФСА 32, 8 - А-98 КаМг, 9 - АВ 86

Сравнение данных показывает, что с повышением температуры от 90 до $130 \text{ }^{\circ}\text{C}$ полнота реакции (α) возрастает для большинства сплавов в 1,5...2

раза и одновременно значительно увеличивается скорость реакции. Дело в том, что железо, кальций, барий и другие примеси образуют с кремнием достаточно прочные соединения, среди них наиболее устойчивы дисилициды этих металлов. С повышением температуры дисилициды удается разрушить. При взаимодействии с водой на поверхности сплавов возникает слой гидроксидов алюминия, кальция и бария, что замедляет процесс [12, 13]. Это явление удастся устранить за счет увеличения температуры среды в аппарате. Кроме того, поскольку гидроксиды кальция и бария являются сильными основаниями, то становится возможным снижение расхода едкого натра примерно на 15 %.

Алюмокремниевые сплавы взаимодействуют со щелочью, как правило, мгновенно. Однако, с некоторого момента образующийся оксид начинает интенсивно поглощать воду, преобразуясь в гидроксид и реакция постепенно затухает. Поэтому рассматриваемые сплавы требуют повышенного расхода воды [11]. Исходя из этого, целесообразно ограничить максимальное содержание алюминия в сплаве на уровне 25 - 30 %. Методика обработки экспериментальных данных изложена в работе [4]. Скорость выделения водорода определяют по уравнениям

$$W = \Delta V / (m \cdot \Delta \tau)$$

или

$$W = \Delta V / (f_{\text{уд}} \cdot \Delta \tau)$$

где ΔV - приведенный к нормальным условиям объем выделившегося водорода, м³; m - масса сплава, кг; $\Delta \tau$ - время, с; $f_{\text{уд}}$ - удельная площадь поверхности порошка сплава, м².

Обобщение опытных данных проведено по уравнению Гиббса-Фольмера [5, 14]

$$W = L \cdot A,$$

где L - феноменологический коэффициент, определяемый экспериментально, м³/(м²·с·кДж), A - сродство химической реакции или термодинамический потенциал, Дж/моль.

$$A = \sum v_i \cdot \mu_i,$$

где v_i - стехиометрический коэффициент i -го компонента; μ_i - химический потенциал i -го компонента, Дж/кг.

Экспериментальное значение коэффициента L неизбежно включает в себя как сопротивление химической реакции, так и сопротивление диффузии – таблица.

Таблица.

Термодинамические и кинетические данные реакций взаимодействия различных сплавов с водой и водным раствором щелочи, $t_{\text{нач}} = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 0,1\text{ МПа}$

Тип сплава	Удельная энергия Гиббса, $-\Delta G$, кДж/кг	Максимальная скорость выделения водорода		Коэффициент $-L \cdot 10^8$, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кДж})$
		$W \cdot 10^3$, $\text{м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с})$	$W \cdot 10^5$, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	
ФС 90	17453,7	0,75	10,96*	0,6279
ФС 90	17453,7	2,4	17,32**	0,9929
ФС 90 Ba4	16141,2	0,68	11,5*	0,7124
ФС 90 Ba4	16141,2	0,7	12,8**	0,793
ФС 75 Ba1	10115,9	0,86	5,83*	0,5768
ФС 75 Ba1	10115,9	0,95	7,78**	0,7691
ФСА 4	13070,4	1,5	5,04**	0,3856
ФСА 15	13978,5	0,33	7,1**	0,509
ФСА 30	13156,3	2,1	6,53*	0,4969
ФСА 30	13156,3	3,72	6,58**	0,5009
ФСА 32	14274,3	0,53	4,45**	0,3117
A98KaMг	18597,8	13,5	33,47*	1,8
AB 86	15960,2	2,7	5,37*	0,336

*) – 10 % NaOH; **) – 20 % NaOH.

Как видно из рисунков 1, 2 рост температуры резко повышает скорость реакции. Однако, согласно уравнению Гиббса-Фольмера, повышение температуры сопровождается уменьшением химического потенциала, что должно снизить интенсивность процесса. Кажущееся противоречие устраняется, если принять во внимание, что коэффициент L учитывает как сопротивление передаче энергии и массы вещества самой химической реакции, так и сопротивление возникающего гидроксидного слоя. Известно, что сопротивление химической реакции алюминия с водой незначительно. Так, на воздухе при комнатной температуре на поверхности алюминия и его сплавов образуется пленка оксидов в течение 10^{-4} с. Следовательно, основное препятствие тепломассообмену создает оксидный слой. Согласно правилу Пиллинга и Бэдворса, отслоение образующейся пленки зависит от отношения объема оксида к объему сплава [10]. Варь-

ируя это соотношение путем изменения состава и технологии изготовления сплавов, достигают интенсификации процесса отслоения. Повышение температуры также способствует разрушению оксидного слоя.

Говоря об общих принципах построения теоретической модели процесса, можно отметить, что для формального описания скорости реакции, т. е. зависимости α от τ приемлемо уравнение Ерофеева [15, 16]. Как нами показано выше, в точках перегиба S – образных кривых, графически изображающих зависимость $\alpha - \tau$, возможно применение уравнения Гиббса-Фольмера. Это уравнение имеет термодинамический характер. Вместе с тем, практически невозможно учесть все особенности процесса одним кинетическим коэффициентом L . По-видимому, его следует представить зависящим от нескольких стадий процесса также как это делают с коэффициентом теплопередачи. Достаточно принять во внимание сопротивления на трех пространственных участках системы. На первом участке, непосредственно в поверхностном слое сплава, где идет реакция, сопротивление определяется химической стадией процесса. Далее, на втором участке, образующийся оксидный или гидроксидный слой оказывает диффузионное сопротивление. И наконец, взаимодействие каждой частицы сплава с внешней средой определяется той гидродинамической обстановкой, что складывается в аппарате.

Уравнение $L = f(Re)$, установленное ранее [2], как раз и показывает значительную зависимость скорости выделения водорода от скорости циркуляции потока и плотности сплавов.

Выводы. Исследована кинетика выделения водорода в реакциях взаимодействия сплавов с водой. Для этой цели варьировались составы более двадцати сплавов на основе железа, алюминия и кремния с добавками щелочноземельных металлов.

Установлено, что количество алюминия в сплаве, при получении водорода в баллонных реакторах, не должно превышать 25...30 %. При наличии щелочноземельных металлов расход щелочи, загружаемой в баллонный реактор высокого давления, может быть снижен на 10-15 %. При производстве водорода в реакторах, работающих при атмосферном давлении и температуре до 100 °С, присутствие щелочноземельных металлов в сплаве нежелательно.

Представление опытных данных в виде уравнений Ерофеева и Гиббса-Фольмера подтвердило необходимость дальнейшего совершенствования модели процесса, заключающегося в расшифровке сопротивлений отдельных

стадий реакции.

Список литературы: 1. Инструкция по безопасной эксплуатации баллонных газогенераторов АВГ-45 и баллонов для хранения водорода. М.: Гидрометеиздат, 1978. – 32 с. 2. Зипунников Н. Н. Совершенствование процесса получения водорода в баллонном реакторе /Н. Н. Зипунников, В. Б Трошенёкин/ Новые решения в современных технологиях: Сб. науч. тр.: НТУ "ХПИ". – Харьков, № 8. – 2009. – С. 22 –27. 3. Варшавский И. Л. Опыт эксплуатации реактора периодического действия для получения водорода из воды с помощью ферросилиция/ В. Л. Варшавский, Б. А. Трошенёкин, В. В. Редько // Пробл. Машиностроения, 1980. – Вып. 11. – С. 106 – 111. 4. Трошенёкин Б. А. Циркуляционные и пленочные испарители и водородные реакторы. – Киев: Наукова думка, 1985. – 174 с. 5. Трошенёкин Б. А. Теплообмен при выделении водорода в реакциях алюминиевых сплавов с водой//Тепломассообмен. ММФ-92. XI Минский международный форум. т. III Тепломассообмен в химически реагирующих системах. - Минск: ИТМО АНБ, 1992. – С. 89 – 92. 6. Трошенёкин В. Б. Теплообмен сплавов с водой при производстве водорода в баллонных реакторах /В. Б. Трошенёкин, Г. А. Ткач, Б. А. Трошенёкин // Тепломассообмен. ММФ-96. III Минский международный форум. т. XI Тепломассообмен в химико-технологических устройствах. – Минск: ИТМО АНБ, 1996. – С. 237 – 240. 7. Трошенёкин Б. А. Тепломассообмен при выделении водорода в реакциях аморфно- кристаллических сплавов с водой/ Б. А. Трошенёкин, В. Б. Трошенёкин// ИФЖ. – 1996. – 69. – № 6. – С. 1006 – 1008. 8. Трошенёкин В. Б. Влияние температуры на скорость вытеснения водорода из воды сплавами кремния и алюминия // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: Тр. междунар. науч.-техн. конф.: В 5-ти частях. - Харьков: Харьк. Гос. политех. университет, 1997. – ч. 4. – С. 430–432. 9. Трошенёкин В. Б. Исследование процесса получения водорода в газогенераторе АВГ-45/Тепломассообмен в технологических процессах и устройствах: Тез. докл. и сообщ. V Минск. междунар. форум по тепломассообмену. - ИТМО НАН Белоруси. – Минск, 2004, – т 2. – С. 451–452. (Режим доступа - <http://www.itmo.by/forum/mif5/S10/10-27.pdf>). 10. Трошенёкин Б. А. Возобновляемая энергия. В 2-х частях. Ч. 2. Термодинамика литосферы. Геотермические электростанции. – Х.: Изд-во «Форт», – 2004. – 156 с. 11. Зипунников Н. Н. Разработка процесса получения водорода из воды с использованием сплавов на основе кремния и алюминия / Н. Н. Зипунников, В. Б Трошенёкин / Інтегровані технології та енергозбереження // Щоквартальний науково-практичний ж-л. – Харків: НТУ „ХПІ”, – 2008. – № 3. – С. 51 – 55. 12. Основы металлургии. В 5-ти т. т III. Легкие металлы. – М.: Металлургиздат, – 1962. – 520 с. 13. Родякин В. В. Кальций, его соединения и сплавы. – М.: Изд-во «Металлургия», – 1967. – 186 с. 14. Фольмер М. Кинетика образования новой фазы. – М.: Наука, – 1986. – 208 с. 15. Ерофеев Б. В. Обобщенное уравнение химической кинетики и его применение к реакциям с участием твердых веществ / Б. В Ерофеев // Докл. АН УССР, – 1946. – 12. – № 6. – С. 515–518. 16. Лепинь Л. К. О взаимодействии алюминия с водой / Л. К. Лепинь, Л. Тетере, А. Шмидт // Докл. АН СССР. – 88. – № 5. – С. 871 – 874.

Поступила в редколлегию 15.02.12

С.В. ЕРЕМЕНКО, студент, НТУ “ХПИ”,
А.Г. ТРОШИН, канд. техн. наук, доц., НТУ “ХПИ”

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТРАНСПОРИРОВКУ ОСАДКА В КОНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РОТОРА ОСАДИТЕЛЬНОЙ ШНЕКОВОЙ ЦЕНТРИФУГИ

В статье рассматривается проблема транспортировки жидкотекучих осадков. Проанализировано влияние различных параметров центрифуги на выгружаемый осадок в конической ее части. Произведен расчет минимального значения динамической вязкости

В статті розглядається проблема транспортування рідко-плинних осадів. Проаналізовано вплив різних параметрів на осад у конічній частині ротора центрифуги. Зроблено розрахунок мінімального значення величини динамічної в'язкості

The article deals with problem of transportation of liquid-like sediments. The influence of various centrifuge's parameters on the paged sediments in the conical part of centrifuge's rotor is analyzed. The calculation of dynamic viscosity minimum value was made

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями. В настоящее время получили широкое распространение горизонтальные осадительные центрифуги непрерывного действия со шнековой выгрузкой осадка. Они успешно применяются для разделения суспензий в широком диапазоне крупности частиц твердой фазы (от 2 мм до 5 мкм при разности плотностей более 200 кг/м³) и концентрацией суспензии по объему от 5 до 40%. В современных условиях центрифуги целесообразно применять при размерах частиц в осадке 100 мкм и менее. Данные машины позволяют разделять суспензии с разными механо-реологическими характеристиками осадков. Однако, при работе с аморфными и гелеобразными гидроокисными осадками (образующимися при очистке: электролитов; буровых растворов; отходов горно-обогатительной отрасли; коммунальных сточных вод и др.) в связи с большой текучестью, наблюдается затруднение их выгрузки шнеком. Нарушение выгрузки осадка приводит к накоплению твердой фазы внутри ротора, повышению объемной доли твердой фазы в зоне осаждения центрифуги, загромождению шнекового канала осадком и, в итоге, срыву процесса разделения либо к существенному загрязнению фугата. В связи с этим нами была предпринята попытка проанализировать

зировать процессы, проходящие в конической части шнекового канала и получить приближенные числовые данные.

Целью данной работы является проведение оценки параметров оказывающих влияние на возможность выгрузки осадка. Конкретные задачи исследования таковы:

- определение конструктивных параметров ротора и свойств осадков, влияющих на возможность их выгрузки;
- оценка минимальной величины динамической вязкости осадка для существующих конструктивных параметров центрифуги ОГШ-461Л производства НТЦ «Экомаш».

Изложение основного материала исследований. В конусной части ротора, именуемой еще зоной отжима, вынесенная из зоны осаждения твердая фаза представляет собой валик, подобный изображенному на рис. 1.

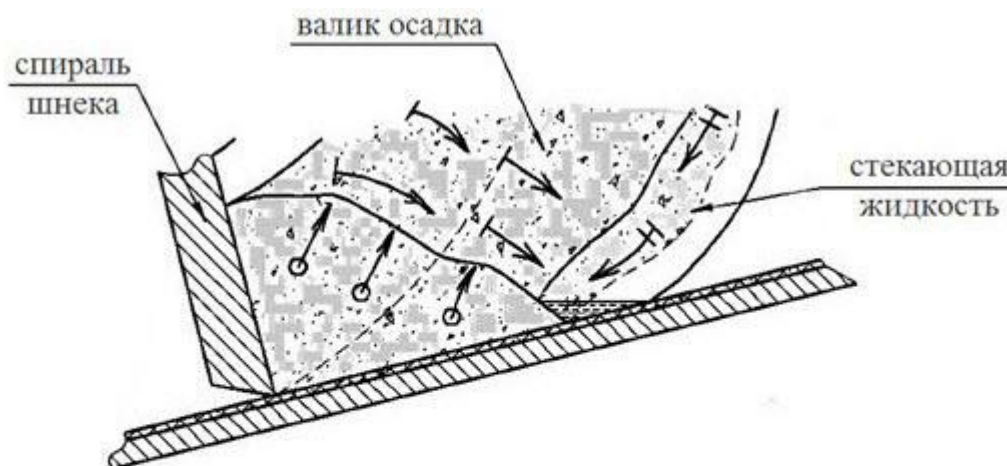


Рис. 1. Разрез участка винтового канала шнека показывающий движение влаги в осадке :

- движение жидкости в осадке
- └→ перемещение жидкости по поверхности осадка
- H→ унос жидкости в сторону большего диаметра

Его форма в нормальном сечении не остается постоянной, а угол естественного откоса валика увеличивается на протяжении транспортировки от основания конуса до окон выгрузки [1]. Это происходит вследствие удаления из него свободной влаги и уплотнения. Получается, что в поле больших по величине центробежных сил, находится более текучий осадок.

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее проблемной областью для транспортировки мелкодисперсной твердой фазы является зона перехода от цилиндрической части ротора к конической.

Последнее время имеет место тенденция снижения размеров частиц твердой фазы в суспензиях, разделяемых в осадительных центрифугах. Зачастую разделению подвергаются суспензии с содержанием частиц мельче 100 мкм более 70 %. Исследование свойств осадков таких суспензий показывает, что они более похожи на вязкую жидкость, чем на сыпучее тело [2]. Таким образом, модели движения осадка - сыпучего тела, в котором заложен кулоновский механизм внутреннего и внешнего трения не позволяют надежно предсказывать поведение осадка в шнековом канале или описать существующие факты.

Предлагается в качестве идеализированной модели движения осадка в шнековом канале использовать модель движения вязкой жидкости в проточной части винтового насоса.

Воспользуемся формулой для расчета объемного расхода вязкой жидкости, транспортируемой винтовым насосом [3]:

$$Q = \left(\frac{V_z WH}{2} \right) F_D - \frac{WH^3}{12\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right) F_P, \quad (1)$$

где Q – расход транспортируемой жидкости; V_z – проекция скорости относительного движения корпуса и шнека на ось Z винтового канала ($V_z = \pi D n \cos \theta$); W , H – геометрические параметры нормального сечения шнекового канала (ширина и высота); $\left(\frac{\partial P}{\partial z} \right)$ – градиент давления в винтовом канале; F_D , F_P – коэффициенты формы канала (определяются соотношением H/W).

В формуле (1) первый член уравнения представляет собой расход вынужденного потока в сторону выгрузки, а второй член уравнения – расход «потока под давлением», который направлен в противоположную сторону.

Определим приблизительную величину $\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)$ применительно к шнековому каналу в конической части ротора центрифуги. Градиент давления в этом случае обусловлен гидростатическим давлением жидкости в поле центробежных сил. Перепад давлений ΔP на одном витке шнекового канала в конической части определим как:

$$\Delta P = \rho_{oc} a_y W \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где: ρ_{oc} – плотность осадка; a_y – ускорение поля центробежных сил; α – угол наклона конической части ротора.

Длина шнекового канала на протяжении одного витка:

$$\Delta z = \pi D \cos \theta. \quad (3)$$

Таким образом:

$$\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right) = \frac{\rho_{oc} a_y \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \theta}{\cos \theta}. \quad (4)$$

Определим параметры влияющие на возможность транспортировки осадка по шнековому каналу и производительность по выгружаемому осадку. Для этого подставим уравнение (4) в (1) и получим:

$$Q = \left(\frac{\pi D n \cos \theta W H}{2} \right) F_D - \frac{W H^3 \rho_{oc} a_y \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \theta F_P}{12 \mu \cos \theta}. \quad (5)$$

Из данного уравнения видно, какие параметры оказывают влияние на выгрузку осадка. По сравнению с известными результатами, полученными на основе модели сыпучего тела, данное уравнение учитывает ускорение поля центробежных сил и динамический коэффициент вязкости выгружаемого осадка, кроме того влияние частоты вращения шнека выражается не прямопропорциональной зависимостью.

На основе уравнения (5) можно оценить вязкость осадка, который будет выгружаться шнеком в конической части ротора. Для этого при-

мом $Q = 0$ (нулевая производительность по осадку). Учитывая, что в диапазоне $\dot{I}/W$ от 0 до 1, $F_D \approx F_P$, после преобразования получим:

$$\mu = \frac{H^2 \rho_{oc} n^2 \operatorname{tg} \alpha W}{180 n_{ин} \cos \theta D}. \quad (6)$$

Зададимся параметрами серийно выпускаемой центрифуги ОГШ–461Л: диаметр ротора 460 мм; угол подъема спирали шнека (θ) 4°; скорость вращения ротора (n) 2000 об/мин, а шнека относительно ротора (n_{oi}) 25 об/мин. Плотность выгружаемого осадка (ρ_{oc}) 1350 кг/м³. Подставив значения вышеперечисленных параметров в формулу (6), определим величину динамического коэффициента вязкости в интервале $H = 0,01 - 0,03$ м. Полученная зависимость изображена на рис. 2.



Рис. 2. Зависимость высоты валиков от величины динамич. вязкости осадка

Результаты расчетов показывают, что для обеспечения выгрузки осадка величина динамического коэффициента вязкости должна быть больше 3,7 Па·с.

Основываясь на эксперименте, можно сказать, что центрифуга не обеспечивает выгрузку осадка при динамической вязкости менее 1,7 Па·с (гидроокись титана), осадок вязкостью 3,5 Па·с (высокодисперсный

угольный шлам с содержанием частиц мельче 63 мкм до 70 %) выгружается неустойчиво, с периодическими «шламованиями» [2].

Подставляя различные числовые значения параметров, таких как: W ; n_{oi} ; углы θ и α , несложно пронаблюдать степень влияния каждого параметра на возможность транспортировки и выгрузки осадка.

Законы пропорциональности в первом приближении следующие: например двукратная «нехватка» вязкости может быть компенсирована двукратным уменьшением шага шнека или двукратным уменьшением угла подъема конуса или соответствующим увеличением частоты вращения шнека, а также сочетанием изменений, указанных параметров.

Выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления.

1. Предложено рассматривать транспортировку осадка в конической части ротора осадительной шнековой центрифуги как движение вязкой жидкости в шнековом канале.

2. Определены параметры, влияющие на движение осадка в шнековом канале: величина динамической вязкости осадка; угол конусности ротора; шаг транспортирующего шнека и частота его вращения.

3. Расчетным путем установлено минимально допустимое значение динамического коэффициента вязкости выгружаемого осадка для центрифуги ОГШ-461Л, оно составляет 3,7 Па·с.

Список литературы: 1. Соколов В.И. Центрифугирование. – М.: Химия – 1976, 407 с. 2. Шульгина Е.А., Еременко С.В., Трошин А.Г. Механо-реологические характеристики осадков шнековых центрифуг // Вестник НТУ «ХПИ». – 2011. – №21. – С. 39. 3. Мак-Келви Д.М. Переработка полимеров. – М.: Химия – 1965, 445 с.

Поступила в редколлегию 21.03.12

Л.М. УЛЬЕВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
О.А. ЯЦЕНКО, студентка, НТУ «ХПИ»

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ СЕТЕЙ – HINT

В данной работе рассматривается образовательное программное обеспечение – Hint. Его возможности описаны на примере рекуперации тепловой энергии процесса ректификации смеси метанол – вода. В результате внедрения проекта реконструкции потребление тепловой энергии может быть сокращено на 86,5%, а охлаждающей воды и вовсе сократиться до нуля

У даній роботі розглядається освітнє програмне забезпечення – Hint. Його можливості описано на прикладі рекуперації теплової енергії процесу ректифікації суміші метанол – вода. В результаті впровадження проекту реконструкції споживання теплової енергії може бути скорочено на 86, 5%, а охолоджуючої води і зовсім скоротитися до нуля

In this work we consider the educational software – Hint. Her features were described by the example of heat recovery process of distillation of methanol - water. As a result of the reconstruction of thermal energy consumption can be reduced by 86. 5%, and the cooling water does reduce to zero

Введение. В связи с ограничением природных ресурсов стоимость энергии возросла, и эта тенденция будет продолжаться в будущем. Именно поэтому, возможность минимизировать использование ресурсов (в частности энергии) становится крайне важным навыком. Для того, чтобы свести к минимуму использование энергии в химических процессах, были предложены два метода. Первый, Синтез Теплообменных Сетей (СТС) – проблема формулируется как целочисленная нелинейная оптимизация задачи (MINLP) [1]. Основное преимущество этого метода заключается в его способности, найти оптимальное решение проблем для СТС. Однако этот метод обеспечивает очень ограниченную информацию как о факторах, которые определяют минимальное потребление энергии процессом, так и о возможности изменения рекуперативной теплообменной системы, для уменьшения удельного энергопотребления.

Вторым методом является так называемый пинч-метод, который основан на термодинамическом анализе процесса [2, 3]. Основными элементами этого метода являются расчет целевых значений энергии и стоимости процесса, которые показывают минимальное потребление энергии и минимальную стоимость теплообменных сетей (ТС). Проекти-

рование пинч-методом не дает гарантию нахождения оптимального решения. Тем не менее, позволяет разработать ТС, которая работает с минимальным потреблением энергии и в то же время является приближенной к оптимальной теплообменной сети. Кроме того, это позволяет инженеру осуществлять контроль над проектом, и помогает определить параметры процесса, которые ограничивают энергосбережение. По этим причинам пинч метод является популярным и устоявшимся инструментом для проектирования ТС.

Расчеты, необходимые для пинч-метода достаточно просты и могут быть сделаны вручную. Тем не менее, в реальности они могут быть утомительными и занимать много времени. Таким образом, наличие программного обеспечения, которое выполняет эти повторяющиеся задачи представляет интерес для изучения и применения метода пинча.

Несколько коммерческих симуляторов схемы включают инструменты пинч анализа. Основные недостатки использования этих программных пакетов, требуется обязательное знание пинч-метода и предыдущее умение пользоваться симулятором, а иногда реализация дизайна пинч концепции в этих пакетах не ясна и это делает обучение сложным.

Одним из таких программных обеспечений для проектирования теплообменных сетей на основе пинч-метода является Hint Heat-integration (тепло-интеграция). Особые меры были приняты к дизайну интерфейсу программы (рис. 1). Он разрабатывался целенаправленно для получения четкого представления о концепции проектирования пинч методом и позволяет студентам производить контроль проекта на всех его этапах. Кроме того, возможно несколько вариантов ввода данных, а результаты программы представляются в форме схожей со справочником (в форме графиков и таблиц), который является наиболее известным форматом для студентов. Программа доступна для скачивания как на испанском и английском языках, на следующей веб-странице: www.iq.uva.es/integ/Integracion.zip (испанский язык), www.iq.uva.es/integ/Hint.zip (на английском языке).

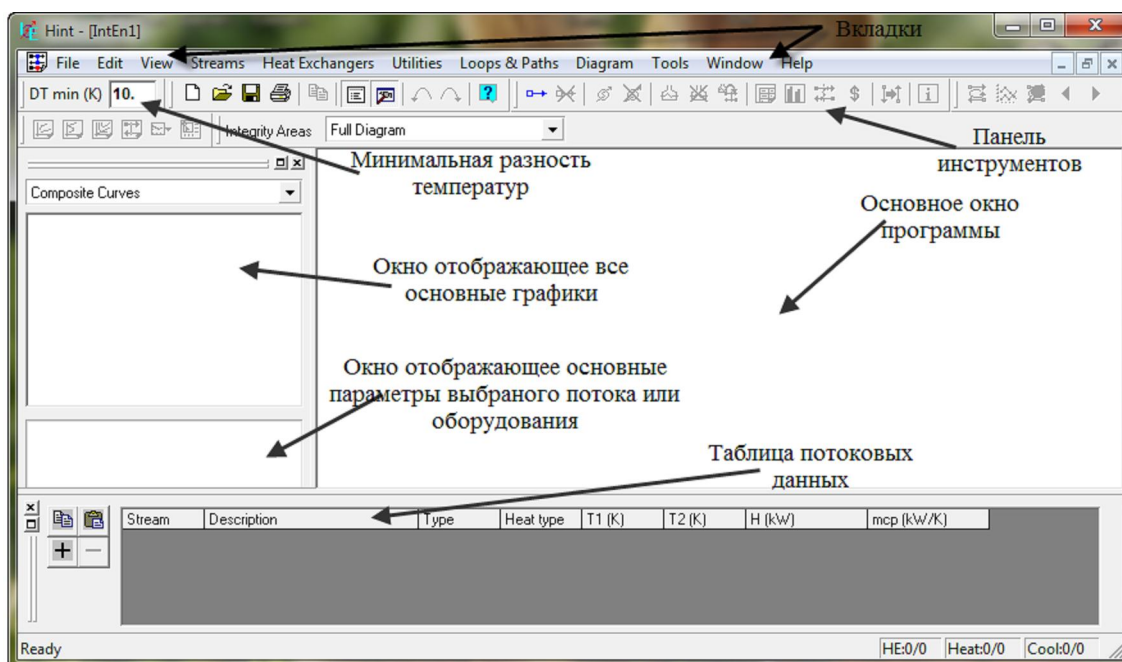


Рис. 1. Интерфейс программы Hint

Методологию использования программы Hint рассмотрим на примере экономически оптимальной системы рекуперации тепловой энергии в процессе ректификации смеси метанол – вода (рис. 2).

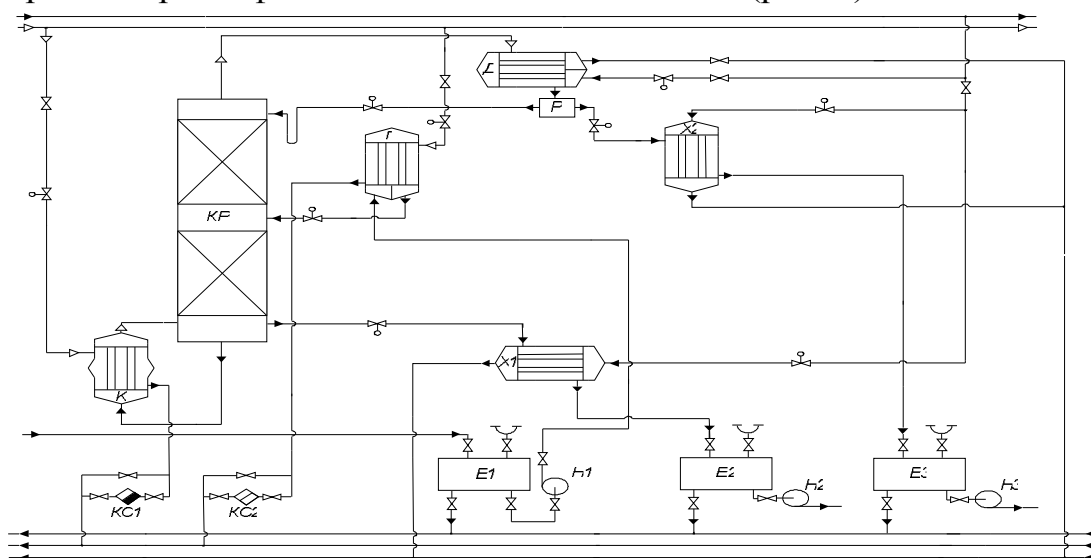


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема ректификации смеси метанол – этанол: КР – колонна ректификационная; Д – дефлегматор; К – кипятильник; П – подогреватель; Р – распределитель; Х1-2 – холодильник; Е1-3 – емкость; Н1-3 – насос; КО1-2 – конденсатоотводчик

Обследование технологической схемы процесса ректификации позволило рассчитать материальный и тепловой балансы, определены зна-

чения материальных потоков: исходной смеси, дистиллята и кубового остатка. Все эти данные приведены в табл. 1

Таблица 1

Потоковые данные технологической схемы

Stream	Description	Type	Heat type	T1 (K)	T2 (K)	H (kW)	mcp (kW/K)
1	F	Cold	Sensible	19.	84.2	213.5	3.27454
2	P	Hot	Sensible	65.7	25.	-21.1	0.5184275
3	W	Hot	Sensible	96.5	35.	-163.6	2.660163

Используя данные, полученные при обследовании установки (табл. 1), строим сеточную диаграмму процесса ректификации смеси метанол-вода (рис. 1).

Задание потоков. Для того чтобы задать поток воспользуемся панелью инструментов (рис. 1), для этого нажимаем иконку Add Stream.

Рис. 3. Данные потока исходной смеси

В появившемся окне вводим следующие данные (рис. 3):

- 1) Номер потока Stream number (первому потоку автоматически присваивается первый номер);
- 2) В строке Description присвойте потоку имя «F»;

3) В строках Supply Temperature и Target Temperature вводим 19 °C и 84.2 °C соответственно.

4) В строке Heat Transferred можно вводить потоковую теплоемкость или нагрузку на потоке. В нашем случае введите нагрузку 213.5 кВт, при этом теплоемкость будет рассчитана автоматически;

5) Нажмите ОК чтобы создать поток.

Аналогично создайте горячий поток номер 2 и 3 согласно данным из таблицы потоковых данных. Для того чтобы добавить следующий поток в строке Stream number введите номер и нажмите кнопку Add. Теперь можно вводить остальные данные. После того как все потоки будут созданы, главное окно должно иметь следующий вид (рис. 4).

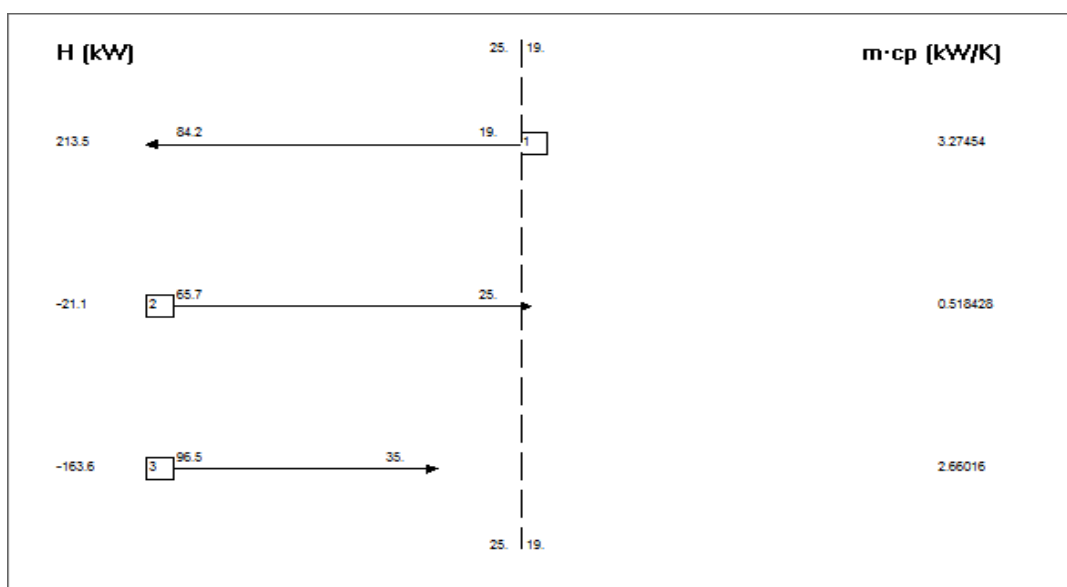


Рис. 4. Сеточная диаграмма технологических потоков построена в программном обеспечении HINT.

Составные кривые. Используя данные из табл. 1 и сеточной диаграммы рис. 3 строим на энтальпийно-температурной диаграмме горячую и холодную составные кривые выбранной системы технологических потоков для $\Delta T_{\min} = 6$ °C (рис. 5).

Для проектирования теплообменных аппаратов с применением пинч-анализа необходимо знать: какое максимальное количество энергии может быть рекуперировано, а также то минимальное количество утилит, которое должно быть подведено ($Q_{H\min}$, $Q_{C\min}$).

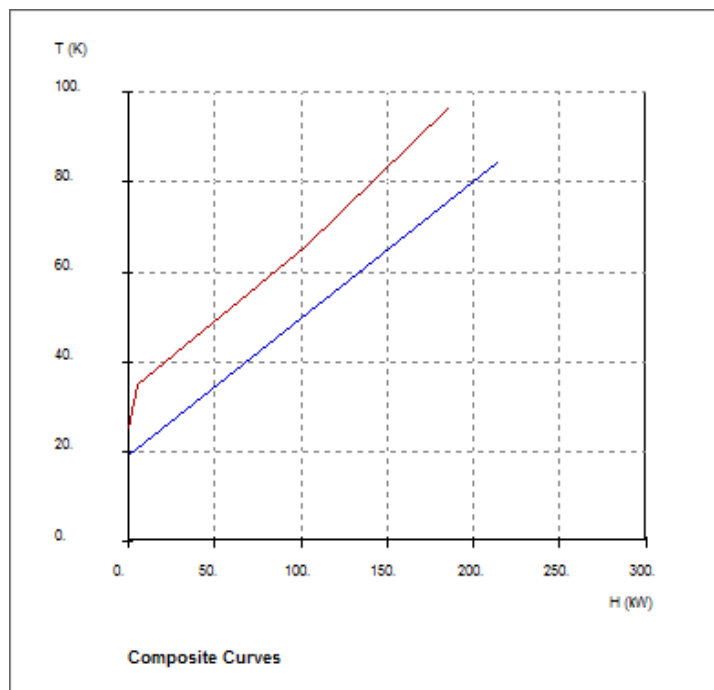


Рис. 5. Составные кривые интегрированного процесса

Проекция холодной составной кривой на энтальпийной оси показывает значение мощности, которую необходимо подвести к холодным потокам для выполнения процесса, Q_{Hmin} составляет 28,8 кВт.

«Метод табличного алгоритма» или метод теплового каскада. С помощью «метода теплового каскада» можно без построения графиков вычислять целевые энергетические значения. Чтобы осуществить полную рекуперацию теплоты в каждом температурном интервале, мы сдвигаем горячую составную кривую на значение $\Delta T_{min}/2$ вниз, а холодные потоки на $\Delta T_{min}/2$ вверх вдоль температурной оси на температурно – энтальпийной диаграмме [3].

При нажатии на иконку  на экране появится окошко с данными рассчитанными каскадным методом (рис. 6). В левой части находится непосредственно каскад, а в правой все основные показатели. Это минимальная разница температур ($\Delta T_{min} = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$), количество горячих и холодных энергоносителей ($Q_{Hmin} = 28,8$, $Q_{Cmin} = 0$), пинч температура ($22 \text{ }^{\circ}\text{C}$) и минимальное число теплообменников для проведения рекуперации процесса (3 шт). Также в этом окне можно посмотреть сдвинутые температурные интервалы и технологические потери в каждом температурном интервале.

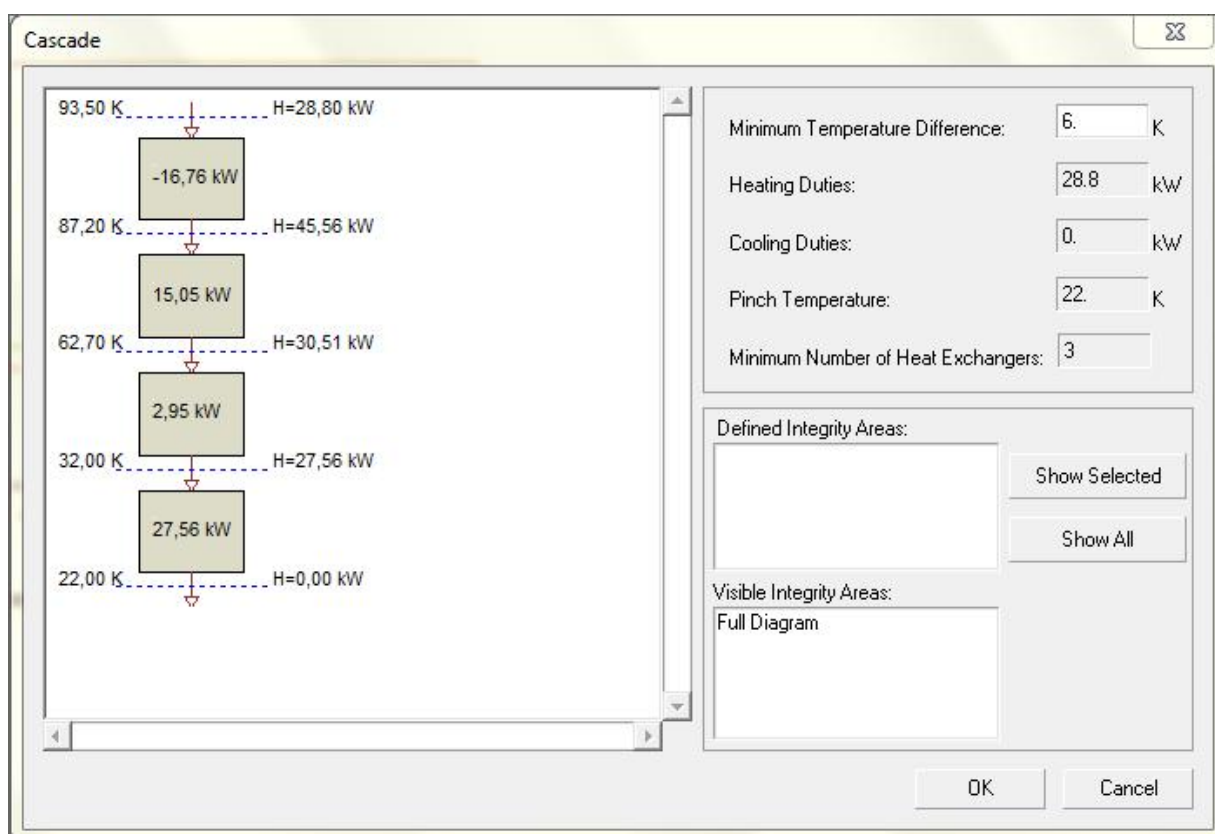


Рис. 6. Тепловой каскад для процесса ректификации смеси метанол-вода

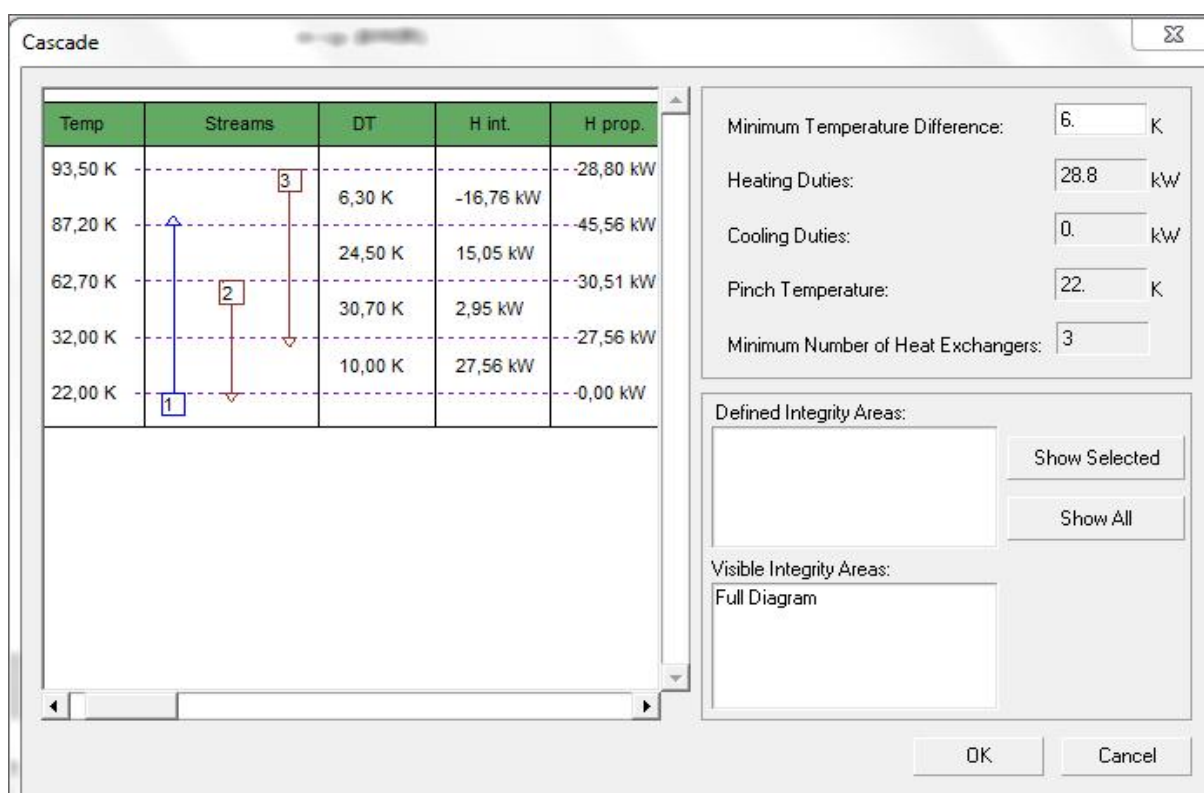


Рис. 7. Тепловой баланс в температурных интервалах

Наведите курсор на ту часть экрана, где расположен каскад и нажмите правую кнопку мыши. Теперь сделайте следующие действия Show As... → Table (рис.7).

Большая составная кривая (БСК). БСК строится с помощью теплового каскада, получаемого в алгоритме табличной задачи. Отложив величину тепловых потоков на T - H диаграмме (при этом на оси температур откладываются сдвинутые температуры). Соединив линиями отложенные значения мы получим БСК. Точка, где тепловой поток равен нулю, показывает локализацию пинча [3]. Нажав икону  можно посмотреть полученные результаты (рис. 8).

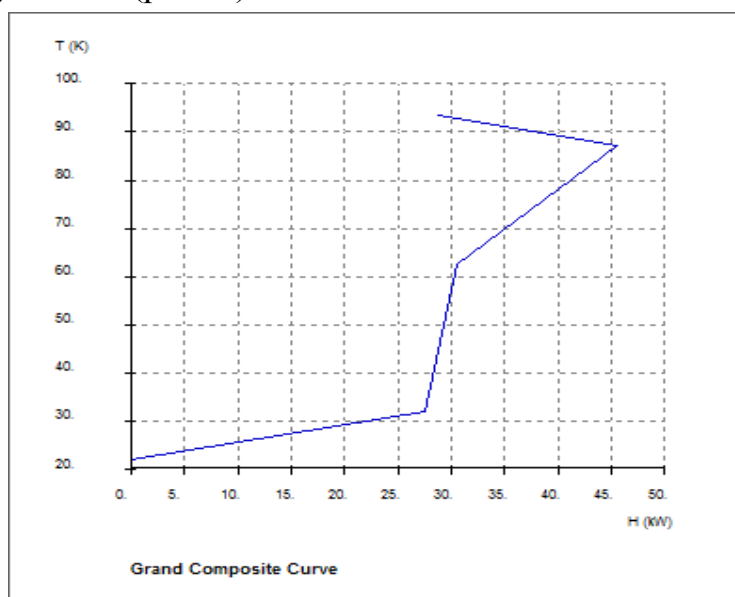


Рис.8. Большая составная кривая процесса ректификации смеси метанол-вода

Сеточная диаграмма. Для того, чтобы синтезировать интегрированную систему теплообмена, рассматриваемого процесса, необходимо построить сеточную диаграмму технологических потоков с указанной локализацией пинча. В результате расчетов было обнаружено, что мы столкнулись с пороговой задачей. В задачах, в которых присутствует порог, используется только горячие или только холодные теплоносители [3]. Так как у нас присутствуют только горячие утилиты, мы будем рассматривать только систему выше пинча. При проектировании технологической схемы, необходимо соблюдать CP и N правила, также необходимо запретить перенос тепла через пинч. Размещение теплообменников необходимо начинать с горячего потока №2, так как он входит в пинч.

Подбираем ему партнера для теплообмена среди холодных потоков, при этом чтобы соблюдалось правило: $CP_H \leq CP_C$. Для горячего потока №2 это холодный поток №1. Таким же образом подбираем партнера для горячего потока №3. Чтобы сократить количество теплообменных аппаратов будем использовать принцип максимальной нагрузки для каждого рекуперативного теплообменника. Чтобы установить теплообменник, в панели инструментов нажмите иконку . В появившемся окне (рис. 9) выполните следующие действия:

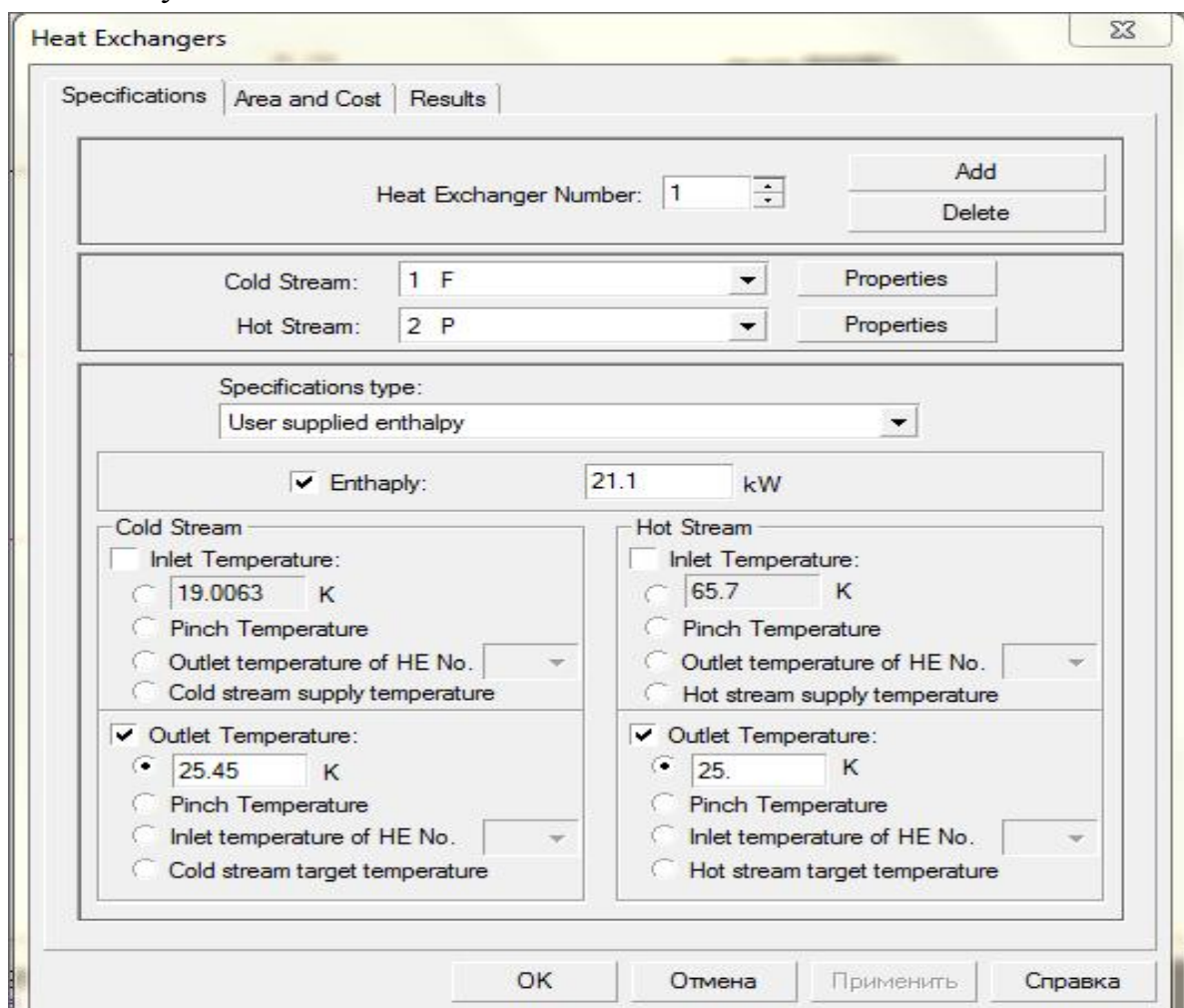


Рис. 9. Проектирование рекуперативного теплообменника T1.

- 1) В качестве холодного потока выберите *Cold Stream* №1 *F*, а горячего *Hot Stream* №2 *P*.
- 2) Тип спецификации *Specifications Type* «User supplied enthalpy» использовать значение энтальпии = 21,1.

3) Данные по горячему потоку: температура на выходе «Outlet temperature» температуре пинча 25°C .

4) Данные по холодному потоку: температура на выходе из теплообменника «Outlet temperature» равняется $25,45^{\circ}\text{C}$.

По аналогии с $T1$ проектируем и $T2$ (рис. 10).

Heat Exchangers

Specifications | Area and Cost | Results

Heat Exchanger Number: 2 [Add] [Delete]

Cold Stream: 1 F [Properties]
Hot Stream: 3 W [Properties]

Specifications type:
User supplied temperatures

☐ Enthalpy: 163.891 kW

Cold Stream
☒ Inlet Temperature:
○ 25.45 K
○ Pinch Temperature
● Outlet temperature of HE No. 1
○ Cold stream supply temperature

☒ Outlet Temperature:
● 75.5 K
○ Pinch Temperature
○ Inlet temperature of HE No.
○ Cold stream target temperature

Hot Stream
☐ Inlet Temperature:
○ 96.6093 K
○ Pinch Temperature
○ Outlet temperature of HE No.
○ Hot stream supply temperature

☒ Outlet Temperature:
● 35. K
○ Pinch Temperature
○ Inlet temperature of HE No.
○ Hot stream target temperature

[OK] [Отмена] [Применить] [Справка]

Рис. 10. Проектирование рекуперативного теплообменника T2

После установки теплообменников на потоке осталась неудовлетворенная нагрузка. Чтобы довести поток до целевой температуры установим нагреватель. В нагревателе в качестве греющего агента выступает перегретый пар с температурой 110°C . Нагреватель H рассчитывается по данным приведенным на рисунке 11:

Heat Exchangers

Specifications | Area and Cost | Results

Heat Exchanger Number: 3 [Add] [Delete]

Cold Stream: 1 F [Properties]

Hot Stream: Utilities [Properties]

Specifications type: User supplied temperatures

☐ Enthalpy: 28.4885 kW

Cold Stream

☒ Inlet Temperature: 75.5 K

☐ Pinch Temperature

☒ Outlet temperature of HE No. 2

☐ Cold stream supply temperature

☒ Outlet Temperature: 84.2 K

☐ Pinch Temperature

☐ Inlet temperature of HE No.

☒ Cold stream target temperature

Hot Stream

☐ Inlet Temperature: 0 K

☐ Pinch Temperature

☐ Outlet temperature of HE No.

☐ Hot stream supply temperature

☐ Outlet Temperature: 0 K

☐ Pinch Temperature

☐ Inlet temperature of HE No.

☐ Hot stream target temperature

[OK] [Отмена] [Применить] [Справка]

Рис. 11. Проектирование нагревателя

1) В качестве холодного потока выбираем *Cold Stream* №1 F, а горячего – *Hot Stream Utilities*.

2) Тип спецификации *Specifications Type* «User supplied temperatures» использовать значение температур.

3) Данные по холодному потоку: температура на входе в нагреватель «Inlet temperature» равняется температуре после теплообменника №2 «Outlet temperature of HE №2», а на выходе из нагревателя «Outlet temperature» равняется целевой температуре 84,2 °C «Cold stream target temperature».

По результатом проектирования теплообменных аппаратов была получена сеточная диаграмма, которая представлена на рис. 12.

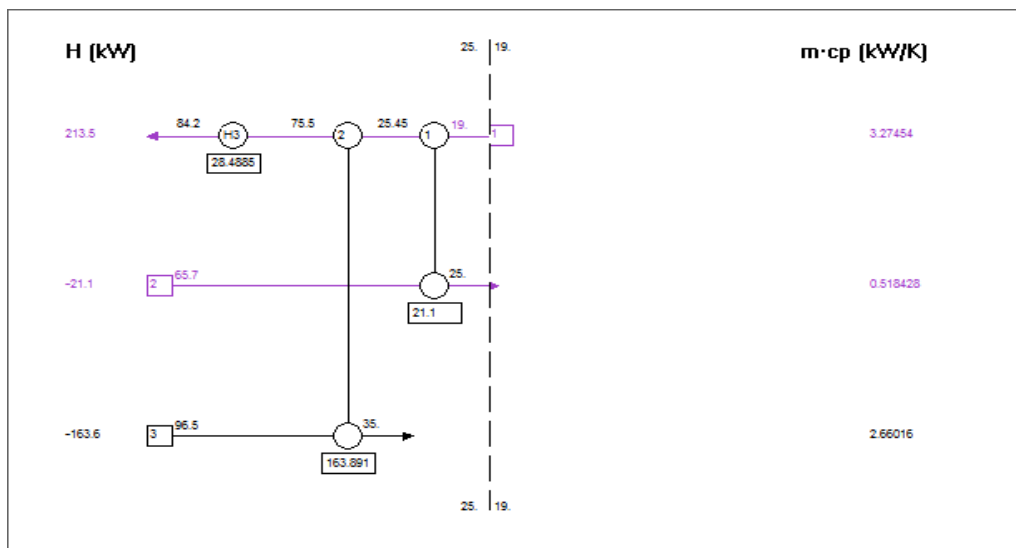


Рис. 12. Сеточная диаграмма технологических потоков

Энергопотенциал существующей схемы, а также экономию на энергоносителях можно посмотреть в табл. 2

Таблица 2

Энергопотребление и рекуперация системы теплообмена существующей и предполагаемой

	До реконструкции, кВт	После реконструкции, кВт
Горячие утилиты	213,5	28,8
Холодные утилиты	184,7	0

Таким образом, удалось уменьшить расход греющего пара в подогревателе в 7,4 раз и расход в холодильниках сократить до нуля. Это является немаловажным во времена увеличения цен на энергоносители.

Выводы. С помощью программного обеспечения Hint был проведен пинч-анализ процесса ректификации смеси метанол-вода. Был предложен проект реконструкции системы теплообмена данного процесса. В результате внедрения проекта реконструкции потребление тепловой энергии может быть сокращено на 86,5%, а холодной – до 0. Срок окупаемости составит около 7 месяцев.

Список литературы: 1. *Smith R.* Chemical process design and integration/Robin Smith – Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 2005 – 687 p. 2. *Linnhoff B.* The pinch design method for heat exchanger networks/ B. Linnhoff, E. Hindmarsh //Chemical Engineering Science.1983. Vol. 38. P.745-763 3. *Смит Р.* Основы интеграции тепловых процессов / [Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М.] – Харьков: ХГПУ. 2000. – 457 с.

Поступила в редколлегию 22.02.12

С.И. БУХКАЛО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
С.Е. ГАРДЕР, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»,
О.Ю. ХИМИЧ, студентка, НТУ «ХПИ»,
К.И. СТАВРОВА, студентка, НТУ «ХПИ»,
А.С. КАБАНЕЦ, студент, НТУ «ХПИ»,
А.Н. МИРОНОВ, студент, НТУ «ХПИ»,
А.А. БОРХОВИЧ, студент, НТУ «ХПИ»,
Д.И. ШУЛЬГА, аспирант, НАУ ХАИ

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ КОМПЛЕКСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ 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. проводится комплексное студенческое проектирование с целью создания инновационных энерго-сберегающих предприятий промышленности. Применения математического моделирования в технологиях ресурсо- и энергосбережения, в частности, утилизации полимерных отходов пригодных к повторному использованию, является одной из составляющих таких проектов. В условиях дефицита сырья и энергоносителей 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 или захоронения в почву, но такие методы являются технически сложными и экономически нецелесообразными.

Анализ последних исследований и публикаций. При разработке инновационных проектов химикам-технологам практически всех специальностей приходится применять компьютерное моделирование [1, 2]. Результат любого эксперимента и выводы, которые из него можно сделать, зависят в большой степени от того, каким образом собираются данные. Если мы хотим провести эксперимент наиболее эффективно, то необходим научный подход к его планированию. Под статистическим планированием эксперимента понимается такая организация экспериментального исследования, которая позволит собрать необходимые статистические данные для наиболее обширного изучения явления, применить для их анализа статистические методы, сделать правильные и объективные выводы об исследуемом процессе и построить его математическую модель [3]. При оперативном управлении инновационными предприятиями компьютерное моделирование позволяет решать задачи:

- АСУТП с целью определения оптимальных параметров составляющих всех уровней предприятия;
- АСУП с целью расчета технико-экономических показателей процессов, необходимых для принятия правильных управленческих решений;
- Организации эффективного обмена информацией между уровнями АСУТП и АСУП с целью организации оптимального управления всем предприятием в целом и др.

Развитие индустрии аппаратных средств и программного обеспечения требует постоянной модернизации методологии компьютерного моделирования химико-технологических объектов [1].

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Комплексные предприятия 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.

В дальнейшем при проведении экспериментальных исследований на инновационных объектах необходимо решить три основные задачи, а

именно: 1) как проводить эксперимент, чтобы количество опытов было минимальным, а результаты достаточно полно характеризовали изучаемый процесс; 2) как оценить точность и достоверность полученных экспериментальных данных; 3) как на основе полученных результатов построить математическую модель исследуемого явления.

Формулировка целей статьи. В решении вышеуказанных нерешенных задач помогает математическая дисциплина получившая название планирование эксперимента. Планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью. При этом существенно следующее: стремление к минимизации общего числа опытов; одновременное варьирование всеми переменными, определяющими процесс по специальным правилам, алгоритмам; использование математического аппарата, формализующего действия экспериментатора; выбор четкой стратегии, позволяющей принимать обоснованные решения после каждой серии опытов.

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. Разработка инновационного студенческого проекта была поручена нескольким подразделениям виртуального предприятия:

- технологическое – выбор инновационных технологий с учетом специфического направления завода и вида вторичных энергетических ресурсов, а также разработка метода оптимизации производства;
- информационно-аналитического обеспечения – обработка полученных результатов эксперимента, математическое моделирование технологических стадий проекта и их графическая интерпретация;
- организационно-экономическое – анализ рынка сырья и продукции с целью привлечения инвестирования в реализацию проекта, выбора типа производства и создания конкурентоспособного предприятия;
- экологически-правовое – обеспечение безопасности инновационного объекта в соответствии с нормативно-правовой базой.

Следует отметить, что объект исследования может иметь несколько переменных состояния, которые следует сократить до минимума (изменить формулировку цели исследования). Если переменных состояния несколько, то эксперимент проводится по каждой из них, а затем решается компромиссная задача. При выборе переменной состояния нужно учитывать следующие требования:

- 1) переменная состояния должна иметь количественную характеристику, т.е. измеряться;
- 2) переменная состояния должна однозначно измерять эффективность объекта исследования;
- 3) переменная состояния должна быть статистически эффективна, то есть иметь меньшую дисперсию при проведении опытов.

При выборе факторов, нужно выполнять требования:

- 1) фактор должен быть регулируемым;
- 2) точность измерения и управления должна быть известна и достаточно высока.

К факторам и переменным состояния одновременно предъявляют требования: 1) они должны иметь области определения, заданные технологическими ограничениями; 2) между факторами и переменными состояниями должно существовать однозначное соответствие. Значительный интерес, с точки зрения расширения ассортимента и областей применения вторичного полиэтилена, представляют исследования технологии получения вспененного вторичного полиэтилена (ППЭ) и изделий из него (рисунок).



Рис. Виды изделий из ППЭ: трубная изоляция и звукоизоляционные ленты

Вспенивание вторичного полиэтилена позволит расширить сферы его применения, так как в настоящее время это, в основном, изготовление различной внешней тары, некоторых видов кабелей и деталей строительных конструкций.

Для получения пенополиэтилена был выбран активирующий вспенивающий комплекс. В проекте были проведены исследования по оптимизации методами математического моделирования процесса вспенивания вторичного полиэтилена согласно полному факторному эксперименту линейного и степенного видов. Полученная нами линейная модель адекватно описывает процесс модификации свойств вторичного полиэтилена. После обработки результатов ПФЭ получено уравнение регрессии. Так как факторы X_1, X_2, X_3 входят в уравнение в кодированном виде, то, пользуясь формулами перевода величин в натуральный масштаб, преобразуем это выражение к следующему виду:

$$y = -6,93675 + 3,53425 \cdot x_1 + 0,0422 \cdot x_2 - 0,16535 \cdot x_3 - \\ - 0,0207 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,00155 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,001 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Тем не менее, для математического описания рассматриваемой модели процесса вспенивания вторичного полиэтилена целесообразно использовать именно степенную функцию, поскольку, согласно нашим вычислениям, она даёт погрешность в 2,5 раза меньшую, нежели линейная. Общий вид уравнения регрессии для степенной функции представляется следующим образом:

$$y = b_0 \cdot x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} \cdot x_3^{b_3}$$

Пользуясь известными значениями b_i , преобразуем выражение для степенной функции следующим образом:

$$y = -6,93675 \cdot X_1^{3,53425} \cdot X_2^{0,0422} \cdot X_3^{-0,16535}$$

Выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления. Таким образом, мы выбрали оптимальное число проведения опытов, необходимых и достаточных для ре-

шения поставленной задачи с требуемой точностью, учтя при этом следующее:

- обеспечили минимизацию общего числа опытов;
- использовали одновременное варьирование всеми переменными, определяющими процесс согласно специальным алгоритмам;
- максимально задействовали математический аппарат, по сути формализующий наши действия в качестве экспериментаторов;
- выбрали чёткую стратегию, позволяющую принимать обоснованные решения после каждой серии опытов.

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.

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. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы комп'ютерного моделирования химико-технологических процес сов : Учеб. Пособие для вузов / Т.Н. Гартман, Д.В. Клушин. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2008. – 416 с. 2. 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 направленной модификация вторичного полиэтилена: дис. канд. техн. наук : 25.01.88 / Бухкало Светлана Ивановна. – М., 1988. – 150 с.

Поступила в редколлегию 05.02.12

Л.М. УЛЬЕВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
Д.Д. НЕЧИПОРЕНКО, аспирантка, НТУ «ХПИ»,
О.А. ЯЦЕНКО, студентка, НТУ «ХПИ»

ЭКСТРАКЦИЯ ДАННЫХ ПРОЦЕССА ДЕЭТАНИЗАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ КАТАЛИЗАТА НА УСТАНОВКЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА

Цель данного проекта заключается в исследовании одного из блоков установки каталитического риформинга Л-35-11/600. Определены все технологические потоки, которые необходимы для интеграции процесса с помощью метода пинч-анализа

Метою даного проекту полягає в дослідженні одного з блоку установки каталітичного риформінгу Л-35-11/600. Визначенні всі технологічні потоки, які необхідні для інтеграції процесу з допомогою методу пінч-аналіз

The aim of this project is to study one of the units of the catalytic reforming L-35-11/600. Identified all the technological streams that are needed for the integration process by using the method of pinch analysis

Постановка проблемы. Одна из важнейших закономерностей развития мировой экономики заключается в непрерывном и максимально быстром росте производства при минимальном потребления энергии. Прежде всего, за счет невозобновляемых энергоресурсов – угля, нефти и газа. В начале XX в. доля потребления возобновляемых источников энергии, в основном энергии гидроэлектростанций, составила всего 0.4%, а 99.6% получались за счет невозобновляемых органических видов топлива. В середине и к концу столетия потребление возобновляемых источников энергии несколько выросло: их доля в общем объеме потребления оставалась незначительной: к 1950 г. она составляла 3.4%, а в 2000 г. - 5.2% при соответствующем снижении доли органических видов топлива с 96.6 до 90.2% [1]. В связи с тем, что приоритетное положение среди первичных энергоносителей в мировом топливно-энергетическом комплексе (ТЭК) занимает нефть (35,8%), вопросам развития нефтеперерабатывающей промышленности во всех странах мира уделяется наибольшее внимание. Нефтяная и нефтехимическая отрасли промышленности Украины являются одними из самых более энергоемких произ-

водств, и уровень энергозатрат в значительной степени влияет на себестоимость готовой продукции [2]. Учитывая то, что на украинских НПЗ большая часть технологических установок строилась в 60-х и 70-х годах (когда цена на энергоресурсы была очень низкая, и экономии энергии не придавали особого значения) – энергопотребление в основных процессах нефтепереработки и нефтехимии на 30 – 60% выше, чем в современных зарубежных установках [3].

Основной материал исследования. Установка каталитического риформинга Л-35-11/600 предназначена для переработки широкой фракции прямогонного бензина (при температуре 85–180 °С) с целью получения компонентов бензина с октановым числом по моторному методу 78–85 пунктов. Привязка установки осуществлена институтом ВНИИПКнефтехим г.Киева, в настоящее время Укрнефтехимпроект. Генеральный проектировщик – АО «Укрнефтехимпроект» г.Киев.

Установка каталитического риформинга состоит из шести отделений:

- блока гидроочистки сырья;
- блока каталитического риформинга;
- блока деэтанзации и стабилизации катализата;
- узла приготовления и подачи хлорорганики;
- узла осушки водородосодержащего газа риформинга;
- узла газгольдеров водородосодержащего газа

Для того чтобы выполнить пинч-проектирование установки целиком необходимо провести пинч-диагностику и выполнить пинч-проектирование для всех блоков установки [4]. В представленной работе более детально проведено обследование блока деэтанзации и стабилизации катализа (рис.1).

Описание процесса и сбор необходимых данных. На рис. 1 приведена технологическая схема процесса деэтанзации и стабилизации катализата на установке Л-35-11/600. Приведем описание технологической схемы. Нестабильный катализат (поток № 3) направляется в межтрубное пространство теплообменников Т-7/1, Т-7/2, где за счет теплообмена со стабильным катализатом, нагревается до температуры 150 °С и поступает на 19-ю тарелку фракционирующего абсорбера К-6.

195 °С и направляется на 8, 12 тарелки К-7. Часть балансового избытка по отдельной линии поступает на 18-ю тарелку К-7, помимо теплообменника. В колонне К-7, имеющей 40 8-образных тарелок, осуществляется стабилизация катализата при двух режимах:

- дебутанизация – температура верха 56 – 60 °С, температура низа 180 – 230°С и давление 1,0 – 1,2МПа (10 – 12кгс/см²);
- депропанизация – температура верха 50 – 78 °С, температура низа 180 – 235°С и давление 1,4 – 1,65 МПа(14,0 – 16,5кгс/см²).

Верхний продукт колонны К-7, стабильная "головка" (поток №2) проходит через ХВО-104/1,2 и конденсаторы-холодильники ХК-4/1,2,3, где конденсируется и охлаждается до температуры 35°С, после чего поступает в емкость Е-7. Отделившийся в Е-7 газ направляется в топливную линию установки. Стабильная головка снизу емкости Е-7 поступает на прием центробежных насосов Н-18,Н-19, которые подают постоянное количество стабильной (в качестве орошения) в верхнюю часть колонны К-7. Подогрев низа колонны К-7 осуществляется за счет циркуляции через секцию печи П-2 части стабильного катализата (поток № 6). Балансовый избыток стабильного бензина по уровню в колонне К-7 (поток № 1) поступает в трубное пространство теплообменников Т-8, Т-7/2, Т-7/1. а затем направляется в холодильник воздушного охлаждения ХВО-113/1,2, холодильник Х-13, где охлаждается до температуры 35-45 °С и сбрасывается в товарный парк. Часть стабильного катализата после Х-13 поступает в К-6 в качестве доабсорбента. Во время обследования работы установки Л-35-1 1/600 были определены основные параметры технологических потоков. Характеристика основных технологических потоков участвующих в технологии риформирования на установке Л-35-1 1/600, приведена в следующем списке, который послужит основой для проведения тепловой интеграции процесса.

Поток № 1 – стабильный катализат. Выходит с низа колонны К-7, охлаждается и направляется в парк (часть отбирается на орошение колонны К-6). $T_S = 180$ °С, $T_T = 24$ °С, расход $G = 40$ т/ч.

Поток № 2 – пары верха К-7. Охлаждаются и направляются из колонны К-7 в емкость Е-7. $T_S = 57$ °С, $T_T = 35$ °С, расход $G = 17$ т/ч

Поток № 3 – загрузка К-6. Направляется из сепаратора С–8 в колонну К-6. $T_S = 41\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_T = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$, расход $G = 32\text{ т/ч}$.

Поток № 4 – горячая струя К-6. Выход из колонны К-6 подогревается в печи П-2 и возвращается обратно в колонну. $T_S = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_T = 154\text{ }^{\circ}\text{C}$, расход $G = 23\text{ т/ч}$.

Поток № 5 – загрузка К-7. Направляется с низа колонны К-6 в колонну К-7. $T_S = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, расход $G = 41\text{ т/ч}$.

Поток № 6 – горячая струя К-7. Выход из колонны К-7 подогревается в печи П-2 и возвращается обратно в колонну. $T_S = 177\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_T = 233\text{ }^{\circ}\text{C}$, расход $G = 41\text{ т/ч}$.

Оборотная вода. Охлаждающая вода оборотного цикла. $T = 14\text{--}16\text{ }^{\circ}\text{C}$, $G = 1150\text{ т/ч}$.

Систематизировав результаты изучения технологической схемы, регламента, составим таблицу потоковых данных, необходимых для определения тепловой мощности потребляемой процессом (таблица).

Таблица

Система потоков для анализа энергопотребления блока дееэтанализации и стабилизации катализа установки Л-35-11/600

№	Название потока	тип	T_S , $^{\circ}\text{C}$	T_T , $^{\circ}\text{C}$	G , т/ч	r , кДж/ кг	CP , кВт/К	ΔH , кВт	α , кВт/ ($\text{м}^2 \cdot \text{K}$)
1	Стабильный катализат з К-7	гор	180	150	40,24		33,19	980,40	0,6
			150	100	40,24		30,12	1506,21	0,6
			100	50	40,24		26,07	1303,33	0,6
			50	24	40,24		23,00	598,06	0,6
2.1	Охлаждение паров К-7	гор	57	35	17,29		12,1	266,27	0,02
2.2	Конденсация паров К-7	гор	35	35	17,29	75		360,21	1
2.3	Охлаждение паров конденсации К-7	гор	35	30	17,29		11,07	55,33	0,1
3	Загрузка К-6	хол	41	130	32,00		21,32	1897,48	0,6
4	Горячая струя К-6	хол	130	154	22,59		17,65	423,61	0,6
5	Загрузка К-7	хол	130	150	41,42		32,20	644,00	0,6
6	Горячая струя К-7	хол	177	233	41,41		37,62	2106,94	0,6

Заметим, что в нашем распоряжении есть 2 горячих и 4 холодных технологических потоков. Наличие энергетических потоков данного процесса позволит наглядно представить количество потребляемых го-

рячих и холодных утилит (рис. 2). Но для начала необходимо определить величину мощности рекуперации в существующем процессе.

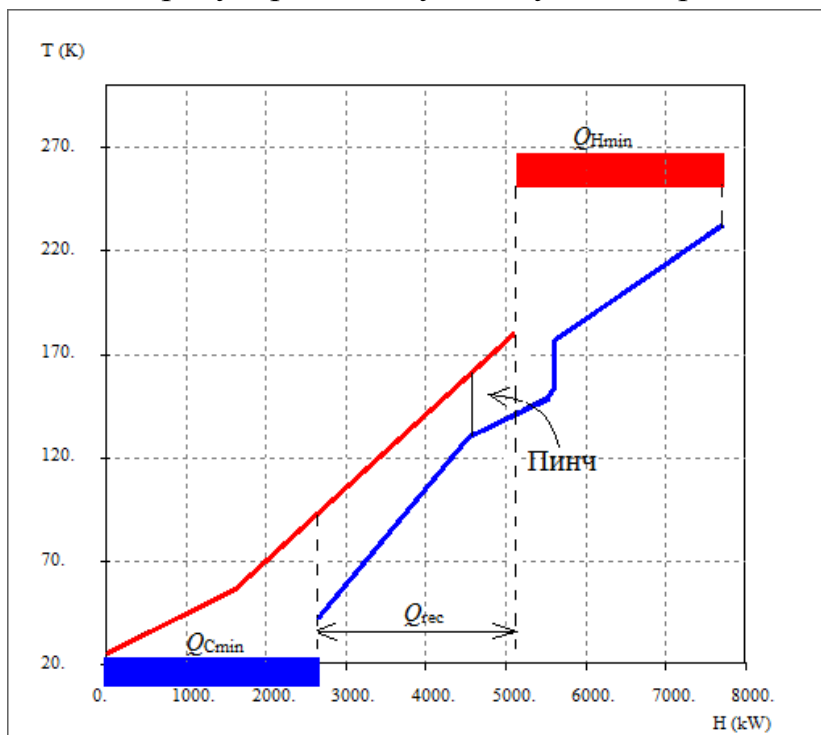


Рис. 2. Составные кривые существующего процесса деэтанализации и стабилизации: $T(K)$ – температура, °C; $H(kW)$ – нагрузка, кВт; Q_{Hmin} , Q_{Cmin} , Q_{rec} – потребляемая мощность горячих утилит, холодных утилит и мощность рекуперации

После построение составных кривых, мы определили, что $Q_{rec} = 2542$ кВт, $Q_{Hmin} = 2612$ кВт, $Q_{Cmin} = 2610$ кВт.

Выводы. Изучив процесс деэтанализации и стабилизации катализата на установке переработки нефти Л-35-11/600 была составлена таблица потоковых данных, которая в дальнейшем послужит основой для интеграции существующего процесса. Построенная составная кривая выявила недостатки существующей теплообменной системы, которые приводят к увеличению энергопотребления.

Список литературы: 1. Банков Н. Производство и потребление топливно-энергетических ресурсов в хх в./ Н. Банков, И. Александрова // Мировая экономика и международные отношения, 2001, № 9, с. 27–33. 2. Уильям Д. Леффлер. Переработка нефти / Уильям Д. Леффлер. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес». 2004. – 223 с. 3. Ульев Л.М. Определение энергосберегающего потенциала разделения ШФЛУ на центральной газодиффузионной установке/Л.М. Ульев, С.А. Болдырев, Е.В. Поливода // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – 2009, 2001, № 40, с. 21-32. 4. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов/Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товашнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев – Харьков: ХГПУ, – 2000. – 457с.

Поступила в редколлегию 23.02.12

А.О. САМИЛОВА, магістрант, НТУ «ХП»,

М.М. ЛАТИШЕВА, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХП»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ МЕТОДАМИ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ТА КОМПОНЕНТНОГО АНАЛІЗІВ

Робота присвячена проблемі аналізу виробничого травматизму на основі математичного апарату багатовимірної статистики без попередніх оцінок експертів з даної предметної області. Мета полягала в розробці математичних моделей, що пов'язують кількісні показники виробничого середовища з травмами різного ступеня тяжкості, та оцінці їх адекватності

Работа посвящена проблеме анализа производственного травматизма на базе математического аппарата многомерной статистики без предварительных оценок экспертов по рассматриваемой предметной области. Цель заключалась в разработке математических моделей, связывающих количественные показатели производственной среды с травмами различной степени тяжести, и оценке их адекватности

The work is devoted to the analysis of occupational injuries based on the mathematical tools of multivariate statistics without preliminary estimates of experts on the subject area. The aim was to develop mathematical models that relate quantitative measures of the working environment with injuries of varying severity, and assess their adequacy

Вступ. Життя і здоров'я є найбільшим багатством для кожної людини. Воно визначає реалізацію наших потенційних можливостей. Збереженню та покращенню здоров'я надається велике значення в сучасному світі. Бо навіть підтримка працездатності працівника є важливою не тільки для нього самого, але й для роботодавця та суспільства в цілому. Адже успішне функціонування будь-якої системи, а тим паче суспільної, починається з ефективності кожної її ланки. Сучасні технології та математичний апарат відкривають величезні можливості в цьому напрямку.

Актуальність і доцільність досліджень. Кожна галузь промисловості характеризується порівняно однотипним видом травм. Так, у гірничій промисловості внаслідок обвалів часто ушкоджуються кістки скелету, хребет, і відбувається здавлення м'яких тканин; на металургійних заводах можливі опіки розплавленим і розжареним металом; на залізообробних заводах трапляються травми очей дрібними скал-

ками металу. Як бачимо, травми пов'язанні з характером виробництва, знаряддями праці і організацією методів її охорони. Отже, травматизм – це повторення певної групи травм на певному місці. Сукупність виробничих травм називають виробничим травматизмом. Під виробничою травмою розуміють таку травму, яку людина отримала під час професійної праці, виконання будь-якого виробничого завдання або громадського доручення. За походженням травми бувають: механічні, термічні, хімічні, електричні, променеві, психічні та комбіновані. Травми за ступенем тяжкості поділяються на легкі та важкі [1].

Аналіз виробничого травматизму дозволяє виявити закономірності та причини його формування. На основі отриманих результатів аналізу, розробляються заходи та засоби щодо профілактики виробничого травматизму і професійних захворювань. А це, з одного боку, підтримує працездатність робітників на належному рівні й, з іншого боку, зменшує витрати виробництва, пов'язані з матеріальними виплатами потерпілим.

Практична цінність даного дослідження полягає в тому, що на основі побудованих математичних моделей можна виявити найбільш суттєві чинники виробничого середовища, які призводять до травмування працівників, й скорегувати їх значення так, щоб зменшити рівень травматизму для певного підприємства [2].

Постановка завдання. Провести дослідження травматизму на виробництві за допомогою методів багатовимірної статистики та побудувати математичні моделі, які б описували залежність кількості травм за ступенем тяжкості від факторів виробничого середовища. Дослідження виробничого травматизму складається з наступних етапів:

- 1) Аналіз однорідності вихідних даних;
- 2) З'ясування ступеня щільності між даними на основі кореляційного аналізу;
- 3) Усунення надлишку представлених даних за допомогою метода головних компонент;
- 4) Побудова математичних моделей та оцінка їх адекватності;
- 5) Аналіз результатів і надання практичних рекомендацій.

В якості вихідних даних використано таблиці значень виробничих факторів і статистики травматизму для окремого підприємства по місяцях з серпня 2003 по липень 2004 років (I період дослідження) та з

серпня 2007 по липень 2008 років (II період дослідження). В ролі пояснюючих змінних виступали середні значення 20 виробничих факторів, серед яких параметри мікроклімату, акустично-вібраційні чинники, освітлення та інші. В якості результуючих змінних – середні значення кількості травм по місяцях за ступенем тяжкості.

Результати досліджень. На першому етапі дослідження постало питання стосовно об'єднання початкових даних за два періоди в одну вибірку з метою підвищення стійкості та точності кінцевих результатів. Очевидно, що за три роки технологія виробництва або кількість робочого персоналу могла змінитися. Тому для перевірки правомірності такого об'єднання був застосований медіанний критерій, що показав однорідність вибірок на рівні значимості $\alpha = 0.05$. Тобто, значних змін у виробництві не відбулося і в якості початкових даних було вирішено взяти об'єднану вибірку.

Другим етапом дослідження було проведення кореляційного аналізу [3], мета якого полягала в оцінюванні структури та ступеня щільності між змінними. На цьому етапі було визначено множинні коефіцієнти кореляції, що характеризують тісноту лінійного зв'язку між кількістю відповідного виду травми й показниками всіх представлених виробничих факторів. Для легких травм він становить $r_1 = 0.991$, для важких $r_2 = 0.976$. Значимість квадратури множинних коефіцієнтів кореляції (коефіцієнтів детермінації) було перевірено по критерію Фішера.

Високі значення множинних коефіцієнтів кореляції надають право шукати дані моделі в класі лінійних функцій. Також на цьому етапі було з'ясовано, що присутня мультиколінеарність між пояснюючими змінними, тобто надлишок у кількості представлених факторів.

Третім етапом дослідження було проведення компонентного аналізу із застосуванням метода головних компонент для усунення надлишку кількості вхідних факторів [4]. На цьому етапі було здійснено перехід до нових компонент та вибрано головні компоненти за критерієм Кайзера.

В головні компоненти увійшли лише ті фактори виробничого середовища, які найбільш тісно лінійно пов'язані між собою і вносять суттєвий вклад у рівень травматизму (табл.1).

Таблиця 1

Зв'язки нових компонент з виробничими факторами

Комп.	Група факторів	Рівняння
Fm_1	• Температурна напруга x_2; • Електромагнітне випромінювання x_{14}; • Вміст SO_2 x_{18}.	$\overline{Fm_1} = 0.042 \cdot x_2 + 0.059 \cdot x_{14} - 0.076 \cdot x_{18}$
Fm_2	• Відносна вологість x_3; • Вміст CO_2 x_{17}.	$\overline{Fm_2} = -0.074 \cdot x_3 + 0.044 \cdot x_{17}$
Fm_3	• Запиленість x_6; • Вага вантажу x_{20}.	$\overline{Fm_3} = 0.63 \cdot x_6 - 0.211 \cdot x_{20}$
Fm_4	• Швидкість руху повітря x_4; • Ультразвук x_{11}.	$\overline{Fm_4} = 0.433 \cdot x_4 - 0.012 \cdot x_{11}$
Fm_5	• Іонізація повітря x_3; • Вміст NO_2 x_{17}.	$\overline{Fm_5} = 0.0075 \cdot x_{10} - 10.689 \cdot x_{19}$

На кінцевому етапі досліджень було побудовано математичні моделі залежностей кількості травм від компонент (табл.2), отриманих на попередньому етапі за допомогою метода найменших квадратів [4, 5].

Таблиця 2

Залежність травм від компонент

Вид травми	Математична модель	r	r^2	S_e^2
легка	$\overline{Tr_1} = 3.862 + 1.565 \cdot Fm_1$	0.849	0.721	0.897
важка	$\overline{Tr_2} = 1.191 + 0.565 \cdot Fm_1 + 0.353 \cdot Fm_2 + 0.643 \cdot Fm_3$	0.725	0.526	0.662

Для оцінки адекватності побудованих регресійних моделей використано такі показники, як множинний коефіцієнт кореляції r , детермінації r^2 та стандартну похибку рівняння регресії S_e^2 [5]. На рис. 1 представлено порівняльні графіки змодельованих та вибірових величин кількості травм за ступенем тяжкості.

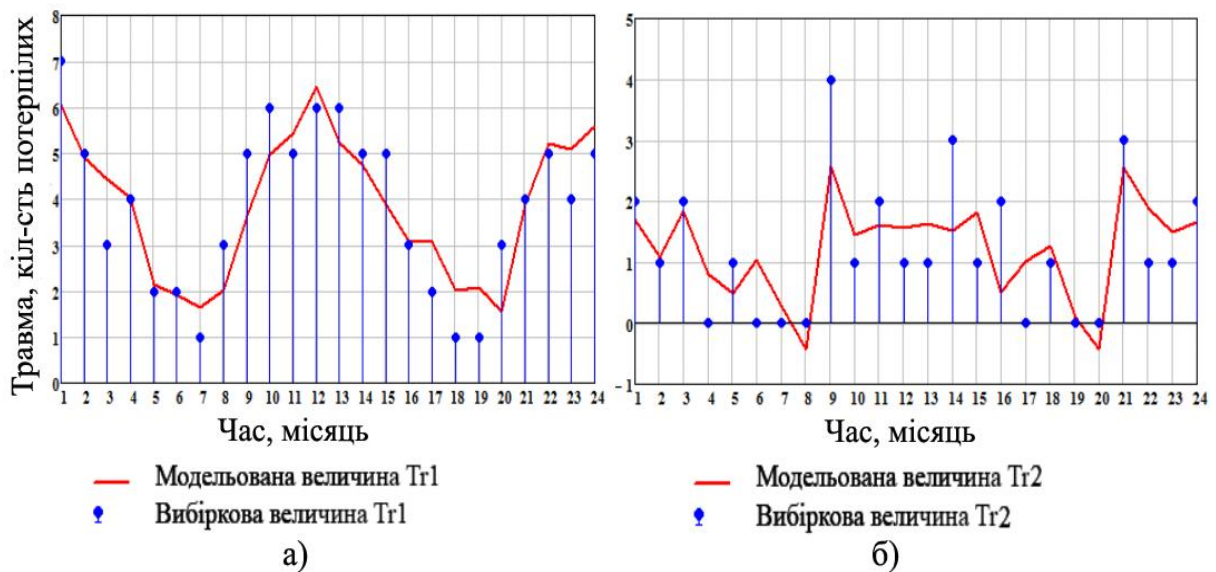


Рис. 1. Залежність кількості травм від часу: а) легкі травми; б) важкі травми.

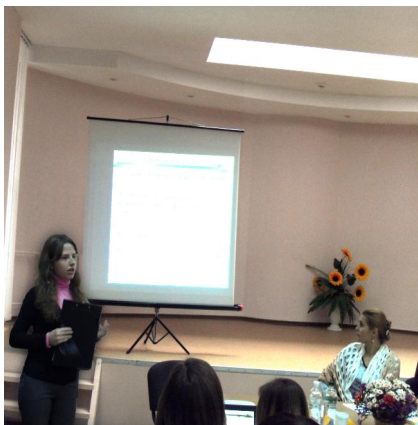


Рис. 2. Презентація роботи на Міжнародній науково-практичній конференції.

Результати дослідження були представлені, обговорені та схвалені на Міжнародній науково-практичній конференції з екологічно-правових та економічних аспектів екологічної безпеки регіонів [6]. Отримані відгуки підтверджують можливість використання зазначених методів багато-вимірної статистики для аналізу виробничого травматизму. Звісно, цей підхід буде ефективнішим в поєднанні аналогічних математичних моделей з оцінками експертів допустимих значень

впливу виробничих факторів на людину в межах певного підприємства.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Таким чином, на основі побудованих моделей зроблено наступні висновки щодо травматизму на даному виробництві:

- Легкі і важкі травми зумовлені дією Fm_1 групи термічних чинників. Із зростанням температурної напруги та електромагнітного випромінювання кількість травм зростає.

- Крім вищенаведених чинників, на кількість важких травм в значній мірі впливають такі виробничі фактори, як відносна вологість, вміст CO_2 , запиленість та вага переміщуваного вантажу, що відносяться

до компонент Fm_2 та Fm_3 (табл.1). Із збільшенням вмісту вуглекислого газу та пилу на виробництві кількість важких травм збільшується.

- Легкі травми за походженням переважно є термічними травмами; важкі – термічними, хімічними або комбінованими.

Список літератури: 1. Основи охорони праці: Навчальний посібник / За ред. проф. В.В. Березуцького. – Х.: Факт, 2008. – 480 с. 2. Управління охороною праці і навколишнього середовища: Навчальний посібник / За ред. М.М. Латишевої. – К.: НМК ВО, 1992. – 195 с. 3. Айвазян С.А. Прикладная статистика: Исследование зависимостей: Справ. изд. / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 487 с. 4. Айвазян С.А., Прикладная статистика и основы эконометрики. / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 1006 с. 5. Шор. Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности / Шор. Я.Б. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 552 с. 6. Аналіз виробничого травматизму методами багатовимірної статистики: зб. матеріалів VI Міжнародн. наук.-практ. конф. при участі молодих вчених [«Еколого-правові аспекти екологічної безпеки»], (Харків 19–20 жовт., 2011 р.) – Х.: ХНАДУ, 2011. – С.90–92.

Надійшла до редколегії 21.11.11

УДК 658.26:665.63:338.45

Л.М. УЛЬЕВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
Д.Д. НЕЧИПОРЕНКО, аспірантка, НТУ «ХПИ»,
О.Ю. ВАЛЕНОВА, студентка, НТУ «ХПИ»

ЭКСТРАКЦИЯ ДАННЫХ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА НА УСТАНОВКЕ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ Л-35-11/600

Цель данного проекта заключается в исследовании одного из блоков установки каталитического риформинга Л-35-11/600. Определены все технологические потоки, которые необходимы для интеграции процесса с помощью метода пинч-анализа. Построенная составная кривая выявила недостатки существующей теплообменной системы, которые приводят к увеличению энергопотребления

Метою даного проекту полягає в дослідженні одного з блоку установки каталітичного риформінгу Л-35-11/600. Визначенні всі технологічні потоки, які необхідні для інтеграції процесу з допомогою методу пінч-аналіз. Побудована складова крива виявила недоліки існуючої теплообмінної системи, які призводять до збільшення енергоспоживання

The aim of this project is to study one of the units of the catalytic reforming L-35-11/600. Identified all the technological streams that are needed for the integration process by using the method of pinch analysis. The constructed compound curve has revealed lacks existing теплообменной systems which lead to power consumption increase

Постановка проблемы. В настоящее время во всем мире и в Украине очень остро стоит вопрос энергосбережения и энергоэффективности во всех отраслях промышленности. Нефтяная и нефтехимическая отрасли промышленности Украины являются одними из наиболее энергоемких производств, и уровень энергозатрат в значительной степени влияет на себестоимость готовой продукции. Наиболее энергоемкими в вышеперечисленных отраслях промышленности являются процессы гидрокрекинга, каталитического крекинга и риформинга, коксования, производства масел [1]. Одним из способов решения этой задачи является разработка современных энергосберегающих технологий. В данной работе анализируется энергопотребление на установке каталитического риформинга Л-35-11/600.

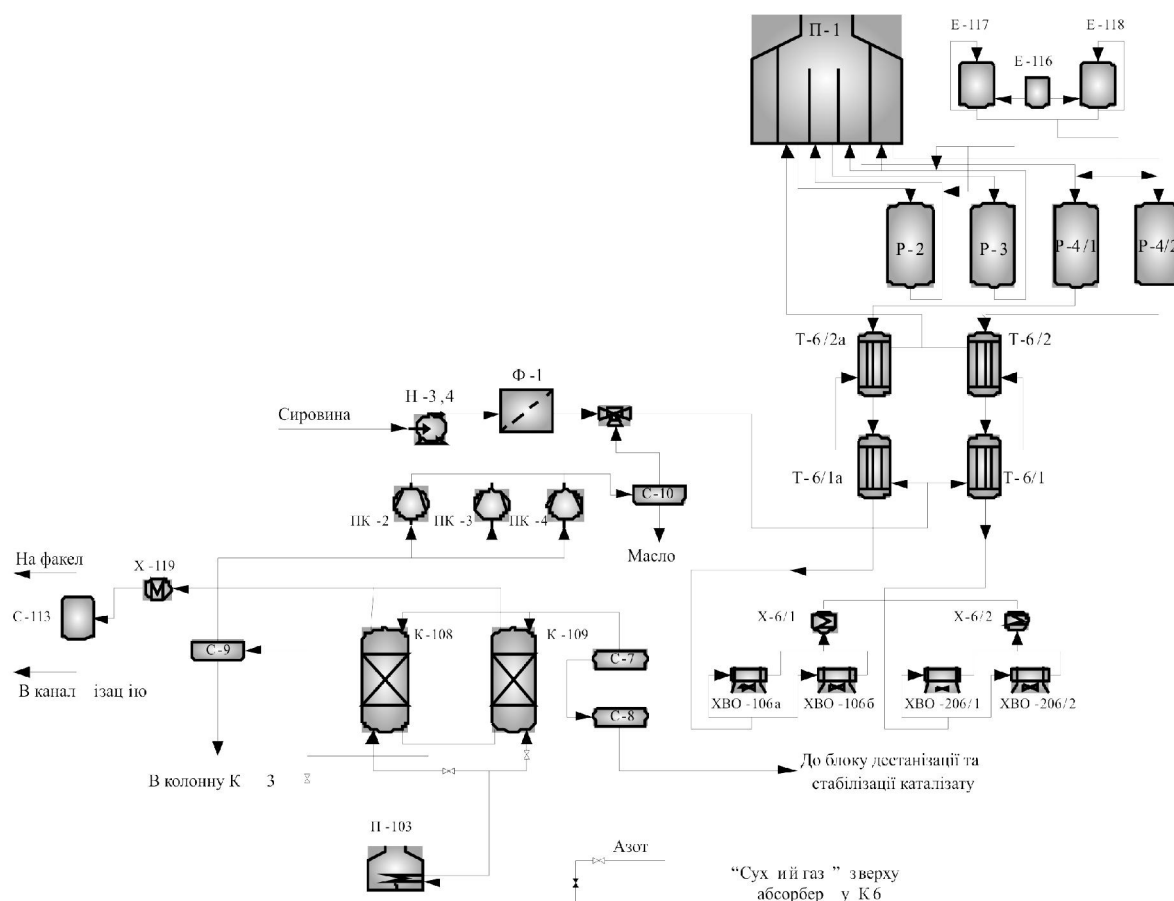


Рис. 1. Блок каталитического риформинга технологической схемы установки Л-35-11/600: Н – насосы; П-1 – печь риформинга и гидроочистки; К-108, К-109 – адсорберы, Р-2 – Р-4/2 – реактор каталитического риформинга; С – сепараторы; Т – 6/1, Т-6/2, Т6/1а, Т6/2а – кожухотрубчатые теплообменники; Х – кожухотрубчатые холодильники; ХВО – холодильники воздушного охлаждения; ХК – кожухотрубчатые конденсаторы; Ф – фильтры, Е – емкости

Основной материал исследования. Рассматриваемая установка каталитического риформинга Л-35-11/600 предназначена для переработки широкой фракции прямогонного бензина с температурой 85–180 °С методом каталитического риформирования с целью получения компонентов бензина с октановым числом по моторному методу 78–85 пунктов. Установка каталитического риформинга состоит из 4 основных отделений: блока гидроочистки сырья; блока каталитического риформинга; блока деэтанзации и стабилизации катализата; узла приготовления и подачи хлорорганики. Для снижения энергозатрат выбран самый современный метод реконструкции ХТС, суть которого заключается в увеличении рекуперации тепловой энергии в данном процессе. Для того чтобы выполнить пинч-проектирование установки целиком необходимо рассмотреть все блоки по отдельности [2]. В представленной работе более детально проведено обследование блока каталитического риформинга на установке Л-35-11/600 (рис. 1).

Описание процесса и сбор необходимых данных. В блоке каталитического риформинга установки Л-35-11/600 газосырьевая смесь поступает в реактор Р-2, в котором на платинорениевом катализаторе протекает реакция ароматизации сырья. Проектом предусмотрено проведение процесса каталитического риформинга в три ступени, для чего смесь последовательно поступает в реакторы Р-2,3,4/1,2. Так как реакция ароматизации на платинорениевом катализаторе протекает с поглощением тепла, то для поддержания заданного температурного режима предусмотрен межступенчатый нагрев в 2-3 секциях печи П-1. Из реакторов газопродуктовая смесь поступает в теплообменники, где отдает тепло газосырьевой смеси, а затем на охлаждение в холодильники. Используя данные технологического регламента и литературные и справочные данные, а также интервьюирование технологов и проектировщиков, были установлены параметры технологических потоков, которые могут быть включены в интеграцию.

1, 2. Продукт риформинга. Выходит двумя потоками из реакторов Р-4/1, Р-4/2, охлаждается и направляется в сепаратор С-7. $t_{нач}=482^{\circ}\text{C}$, $t_{кон}=31^{\circ}\text{C}$, расход – 88 т/ч.

3. Сырье риформинга. Направляется из тройника смешения риформинга через группу теплообменников и печь П-1 в реактор Р-2. $t_{\text{нач}}=84^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{кон}}=492^{\circ}\text{C}$, расход – 88 т/ч.

4. Газожидкостная смесь в Р-3. Направляется из Р-2 через печь П-1 в реактор Р-3. $t_{\text{нач}}= 441^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{кон}}= 492^{\circ}\text{C}$, расход – 88 т/ч.

5. Газожидкостная смесь в Р-4/1. Направляется из Р-3 через печь П-1 в реактор Р-4/1. $t_{\text{нач}}= 466^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{кон}}= 492^{\circ}\text{C}$, расход – 44 т/ч.

6. Газожидкостная смесь в Р-4/2. Направляется из Р-3 через печь П-1 в реактор Р-4/2. $t_{\text{нач}}= 466^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{кон}}= 492^{\circ}\text{C}$, расход – 44 т/ч.

Оборотная вода. Охлаждающая вода оборотного цикла. $t = 14\text{-}16^{\circ}\text{C}$, расход – 1150 т/ч.

Таблица

Система потоков для анализа энергопотребления блока каталитического риформинга установки Л-35-11/600

№	Название потока	Тип	T_s , $^{\circ}\text{C}$	T_T , $^{\circ}\text{C}$	G , т/ч	CP , кВт/К	ΔH , кВт	α , кВт/ ($\text{м}^2 \cdot \text{K}$)
1	Продукт из Р-4/1	гор	482	400	44,186	46,86	3842,85	0,28
			400	300	44,186	42,58	4257,72	0,28
			300	200	44,186	37,90	3790,01	0,28
			200	100	44,186	33,23	3322,95	0,28
			100	31	44,186	29,26	2019,16	0,28
2	Продукт из Р-4/2	гор	482	400	44,186	46,86	3842,85	0,28
			400	300	44,186	42,58	4257,72	0,28
			300	200	44,186	37,90	3790,01	0,28
			200	100	44,186	33,23	3322,95	0,28
			100	44	44,186	29,57	1655,66	0,28
3	Сырье риформинга на Р-2	хол	84	100	88,371	64,30	1028,84	0,28
			100	200	88,371	70,25	7025,27	0,28
			200	300	88,371	80,57	8056,83	0,28
			300	400	88,371	90,88	9088,40	0,28
			400	492	88,371	100,77	9270,87	0,28
4	Сырье риформинга на Р-3	хол	441	492	88,371	102,85	5245,13	0,28
5	Сырье риформинга на Р-4/1	хол	466	492	44,186	52,07	1353,78	0,28
6	Сырье риформинга на Р-4/2	хол	466	492	44,186	52,07	1353,78	0,28

После изучения регламента, обследования реальной технологической схемы и определения потоков, которые будут использованы при тепловой интеграции процесса, была составлена таблица потоковых данных. В этой таблице представлены такие характеристики потоков как: начальная и конечная температуры, расход потока, теплота парообразования, потоковая теплоемкость, тепловая нагрузка и коэф. теплоотдачи (таблица).

Составные кривые располагаются на температурно-энтальпийной диаграмме таким образом, чтобы мощность рекуперации составляла 21 МВт. По составным кривым определяем полезное минимальное значение горячих и холодных утилит, которое составляет –20,8 МВт для горячих утилит и 12,7 МВт для холодных утилит. Кроме всего прочего составные кривые позволяют определить ΔT_{min} для существующей системы теплообмена, которое в существующем проекте составляет 119 С.

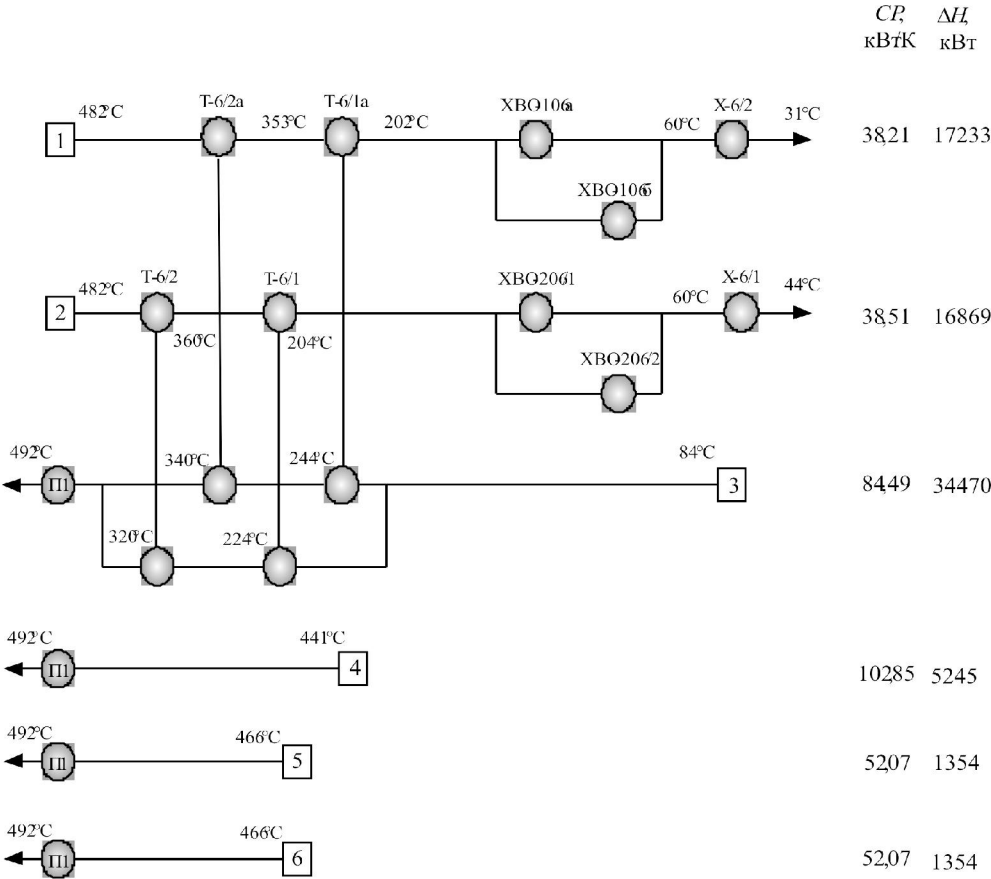


Рис. 2. Сеточная диаграмма существующего процесса: 1, 2 – горячие потоки; 3 – 6 – холодные потоки; CP– потоковая теплоемкость; ΔH – тепловые нагрузки для каждого потока

На основании обследования технологической схемы была построена сеточная диаграмма (рис. 2). На сеточной диаграмме были определены теплообменные связи между технологическими потоками, а также была посчитана мощность рекуперации теплоты, которая составила 21 МВт. [4–6]. С помощью таблицы потоковых данных в программном обеспечении «Hint» были построены составные кривые (рис. 3).

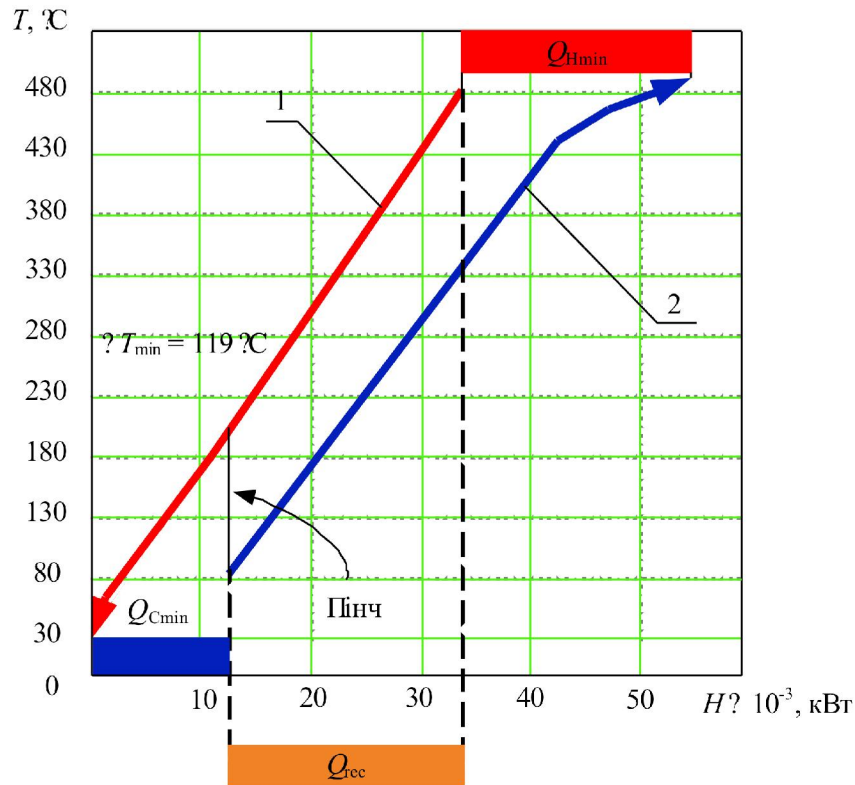


Рис. 3. Составные кривые существующего процесса каталитического риформинга: 1 – составная кривая горячих потоков; 2 – составная кривая холодных потоков; Q_{Hmin} , Q_{Cmin} , Q_{rec} – мощность горячих утилит, холодных утилит и мощность рекуперации. $Q_{Hmin} = 20,8$ МВт, $Q_{Cmin} = 12,7$ МВт, $Q_{rec} = 21$ МВт

Выводы. Изучив процесс каталитического риформинга на установке переработки нефти Л-35-11/600 была составлена таблица потоковых данных, которая в дальнейшем послужит основой для интеграции существующего процесса. Также на основании обследования технологической схемы была построена сеточная диаграмма, были определены теплообменные связи между технологическими потоками. А также была посчитана мощность рекуперации теплоты, которая составила 21 МВт для существующего процесса. Построенная составная кривая выявила недостатки существующей теплообменной системы, которые приводят к увеличению энергопотребления.

Список литературы: 1. *Леффер Уильям Л.* Переработка нефти. 2е изд., пересмотренное / Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2004. – 224 с. 2. *Смит Р.*, Основы интеграции тепловых процессов / Смит Р, Клемеш Й., Товажнянский Л.Л. Харьков: ХГПУ. 2000. с. 457. 3. *Tovazshneanski L.L.* Energy Integration of the Early Crude Oil Unit with Take Into Account Different regime / L.L. Tovazshneanski, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev, S.A. Boldyryev, M.V. Tarnovsky // Chemical Engineering Transaction. – 2005 – Vol. 7. – p. 103–108. 4. *Товажнянский Л.Л.* Построение составных кривых технологических процессов для определения энергетической эффективности предприятий / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев, Б.Д. Зулин, Н.Д. Андрийчук // Материалы межд. научно-техн. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье», microCAD'96. Ч. 1. Харьков. – 1996. – с. 179. 5. *Nordman R.* New process integration methods for heat – saving retrofit projects in industrial systems. Chalmers University of Technology. Goteborg, Sweden. – 2005. – 77 p. 6. *Товажнянский Л.Л.* Алгоритм построения составных кривых технологических процессов для определения энергетической эффективности предприятий / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев, Б.Д. Зулин // Междунар. конф. «Математические методы в химии и химической технологии», ММХ-10. Тезисы докладов. Тула. – 1996. – с. 74-75.

Поступила в редколлегию 01.03.12

УДК 669.295.41:546.824

В.В. СИВАК, и.о. генерального директора, ГП «ЗТМК», Запорожье,
Л.М. УЛЬЕВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
М.В. СОКОЛОВ, зав. отд., ПАО «УкрНИИхиммаш», Харьков

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ТЕТРАХЛОРИДА ТИТАНА

У статті розглянуті: проблеми, що виникають при очищенні тетрахлорида титану, методи і технології очистки, визначені шляхи удосконалення процесів та апаратів, покладених в основу технології. В результаті аналізу літературних джерел сформульовані основні напрямки досліджень, які необхідно виконати, щоб створити оптимальну технологію очистки тетрахлорида титану

В статье рассмотрены: проблемы, возникающие при очистке тетрахлорида титана, методы и технологии очистки, определенные пути усовершенствования процессов и аппаратов, положенных в основу технологии. В результате анализа литературных источников сформулированы основные направления исследований, которые необходимо выполнить, чтобы создать оптимальную технологию очистки тетрахлорида титана

The problems that are in the titanium tetrachloride rectification, the methods, and technologies are presented in the paper. Development ways of the processes and apparatuses of rectification are presented in the paper too. The main research guidelines for solution of the titanium tetrachloride purification are formulated at the base of literature analysis

Титан в природе встречается преимущественно в виде кислородных соединений и входит в состав более 130 титансодержащих минералов [1, 2]. Основными потребителями титана являются: химическая промышленность, медицина, автомобиле- и машиностроение, авиация и космические технологии, черная металлургия, где титан применяют в качестве легирующего элемента стали для уменьшения размера зерна и как раскислитель. Такое широкое использование объясняется физико-химическими свойствами данного элемента. Титан, будучи почти вдвое легче железа, по прочности превосходит многие стали и, что особенно важно, он сохраняет свою прочность при температурах до 500°C (при добавке легирующих элементов – до 650 °C). Титан обладает также значительной твёрдостью: он в 12 раз тверже алюминия, в 4 раза – железа и меди. Ещё одна важная характеристика металла – предел текучести. Чем он выше, тем лучше детали из этого металла сопротивляются эксплуатационным нагрузкам, тем дольше они сохраняют свои формы и размеры. Предел текучести у титана почти в 18 раз выше, чем у алюминия. В отличие от большинства металлов, титан обладает значительным электросопротивлением и немагнитностью, что немаловажно для радиоэлектроники и электротехники. Кроме того, титан устойчив к коррозии.

Но, несмотря на вышеперечисленные преимущества, широкое применение титана в промышленности в настоящее время сдерживается относительно высокой стоимостью металла [3, 4]. Это объясняется сложностью, ресурсоемкостью технологии и недостаточной производительностью аппаратуры, которая применяется при производстве титана.

Все существующие способы получения титана можно разделить на четыре группы:

1. Одностадийное восстановление двуокиси титана до чистого металла.
2. Двухстадийное восстановление двуокиси титана: восстановление до металла, загрязнённого примесями, а затем переработка его на чистый металл или сплав.
3. Электролиз соединений титана.
4. Получение чистого тетрахлорида титана, затем восстановление его металлом.

При одностадийном восстановлении двуокиси титана используются уголь, водород (для получения титана высокой чистоты), кремний, магний, натрий, кальций, гидрид кальция, алюминий.

Также двуокись титана технически может быть переработана в хлориды, фториды, нитриды и карбиды. А чистый металл из этих соединений может быть получен восстановлением или электролизом. Основным недостатком этого способа является сложность создания высокопроизводительной аппаратуры.

Иодидный метод применяется для получения более чистого титана. Металлотермический губчатый титан превращают в иодид TiI_4 , который затем возгоняют в вакууме. На своём пути пары иодида титана встречаются раскалённую до 1400 градусов титановую проволоку. При этом иодид разлагается, и на проволоке нарастает слой чистого титана. Этот метод производства титана малопроизводителен и дорог, поэтому в промышленности он применяется крайне ограниченно.

Наиболее распространенным методом получения титана является восстановление тетрахлорида титана магнием или натрием (натрийтермический и магниетермический методы, мало отличаются друг от друга). Двуокись титана с помощью хлора (в присутствии углерода) переводят в четырёххлористый титан: $TiO_2 + C + 2Cl_2 = TiCl_4 + CO_2$.

Затем $TiCl_4$ очищают от примесей. После этого идет реакция восстановления в стальных реакторах при $900^\circ C$, в присутствии магния. Формула реакции восстановления: $TiCl_4 + 2Mg = Ti + 2MgCl_2$.

В результате восстановления образуется титановая губка с примесями магния и дихлоридами магния. Состав реакционной массы (средний по блоку) следующий: 55-60% титана, 25-35% магния, 9-12% хлорида магния; кроме того, может присутствовать небольшое количество низших хлоридов титана.

Титановая губка может быть очищена от магния и хлорида магния, а также низших хлоридов титана гидрометаллургическим способом или вакуумной сепарацией. Гидрометаллургический способ заключается в выщелачивании хлорида магния и магния из измельченной реакционной массы слабым раствором соляной кислоты. Этот способ почти не требует затрат электроэнергии и прост в аппаратном оформлении, но при этом качество металла получается более низким, чем при вакуумной сепара-

ции, вследствие насыщения титановой губки кислородом и другими примесями. Кроме того, теряются хлорид магния и магний, содержащиеся в реакционной массе.

Вакуумная сепарация требует значительной затраты электроэнергии и довольно сложного аппаратного оформления, однако в настоящее время это наиболее приемлемый способ для переработки реакционной массы. Процесс вакуумной сепарации заключается в том, что реакционную массу нагревают в герметичном аппарате, в котором создают вакуум. При этом хлорид магния и магний, имеющие достаточно высокое давление паров, испаряются и конденсируются в конденсаторе.

В промышленной практике магнийтермического производства титана используются различные технологические схемы проведения процесса вакуумной сепарации:

- отдельный периодический процесс, в котором после проведения восстановления аппарат с реакционной массой охлаждают в специальном холодильнике до температуры окружающей среды, после чего демонтируют крышку аппарата, производят обработку реакционной массы, монтируют тепловые экраны, обратную реторту-конденсатор с водяным охладителем и вакуумпроводом; после проверки смонтированного аппарата сепарации на герметичность, его устанавливают в специальную печь для проведения процесса вакуумной сепарации;

- полусовмещенный периодический процесс, в котором монтаж аппарата сепарации производится без предварительного охлаждения аппарата восстановления; смонтированный аппарат сепарации после проверки на герметичность устанавливают в специальную печь для проведения процесса вакуумной сепарации;

- совмещенный процесс, когда и процесс восстановления, и процесс сепарации осуществляют в одной и той же печи; такой процесс разработан в двух вариантах: совмещенный процесс с обратной ретортой, установленной над реактором восстановления-сепарации, а также совмещенный процесс с конденсацией в рядом стоящий конденсатор, когда транспортирование паров магния и хлорида магния из реактора в конденсатор осуществляют по специальному обогреваемому паропроводу.

Процесс вакуумной сепарации осуществляют в три стадии: первая – дегазация и нагрев реакционной массы, вторая – интенсивное испаре-

ние с поверхности реакционной массы и крупных пор магния и хлористого магния и третья – испарение, в основном, хлорида магния и оставшегося магния в мелких порах. Это самая продолжительная стадия, составляющая 65-75% общего времени сепарации. Продолжительность третьего периода зависит от длины пути паров хлорида магния, при этом наибольшая длина пути паров магния и хлорида магния из центральной зоны промышленного блока. Поэтому отгонка последних 2-3% хлорида магния является наиболее энергетически затратной и длительной стадией процесса вакуумной сепарации. Так для сепарации одной тонны губчатого титана теоретически требуется 1500 кВт*ч электроэнергии, однако на практике расходуется в 3-4 раза больше [5].

Наиболее значимыми для промышленности при добыче титаномагнетитовых руд являются рутил, ильменит, аризонит и титаномagnetит, а при комплексной переработке также сфен, перовскит и лопарит. Наиболее распространенным сырьем для получения $TiCl_4$ является рутил, в котором содержится от 91 до 99% TiO_2 , однако объем добычи рутила ограничен и его стоимость достаточно велика [6].

Процесс получения четыреххлористого титана имеет четыре стадии: подготовка сырья, хлорирование, конденсация, очистка технического продукта.

Подготовка сырья заключается либо в приготовлении брикетов из титансодержащего сырья и кокса, либо в измельчении этих компонентов и составлении шихты.

Хлорирование подготовленного сырья производится в шахтных печах, в расплаве солей, в кипящем слое.

При хлорировании в шахтных печах достигается довольно полное извлечение титана (не менее 97-98%). Степень извлечения других окислов из шихты зависит от температуры хлорирования и свойств извлекаемого компонента.

При использовании титанового концентрата с высоким содержанием кальция или других видов титанового сырья (например, перовскитов), хлорирование в электропечах шахтного типа становится невозможным из-за спекания шихты хлоридом кальция. В таких случаях хлорирование производится в расплаве солей с помощью хлоратора. Преимущества данного метода состоят в улучшении условий конденсации, снижении

концентрации СО в отходящих газах и возможности непрерывного выведения хлорного остатка.

Применение аппаратов кипящего слоя при очистке титаносодержащего сырья помогает достичь эффективного массо- и теплообмена, быстрое выравнивание температуры по всему слою и высокую скорость процесса.

В продуктах хлорирования титаносодержащего сырья присутствует много различных хлоридов и газов, помимо TiCl_4 : CCl_4 , SiCl_4 , AlCl_3 , CaCl_2 , MgCl_2 , CO , CO_2 , HCl , N_2 и др. Из такой многокомпонентной системы очень сложно выделить TiCl_4 , т.к. соединения, входящие в состав реакционных газов, могут взаимодействовать между собой и образовывать твердые и жидкие растворы. Следует также отметить, что все эти хлориды гигроскопичны и при попадании влаги гидролизуются [7, 8].

В промышленной практике применяется комбинированная схема конденсации, которая включает в себя сухие конденсаторы для отделения основной массы твердых хлоридов и оросительные конденсаторы, где улавливаются только уносимые после первых аппаратов твердые хлориды. После конденсационной системы отходящие газы содержат в основном СО и CO_2 и немного примесей Cl_2 , TiCl_4 , SiCl_4 , HCl , SOCl_2 , COCl_2 и др. Перед выбросом в атмосферу газы подвергаются санитарной очистке в скрубберах.

Технический четыреххлористый титан содержит взвешенные и растворенные примеси. К ним относятся газы, хлориды некоторых металлов, оксихлориды и органические соединения. Органические примеси попадают в четыреххлористый титан из восстановителей и связующих, применяемых при брикетировании шихты (каменноугольный пек, нефтяной кокс, сульфитный щелок). Фосген образуется при взаимодействии непрореагировавшего хлора с окисью углерода. Оксихлориды выделяются в результате гидролиза TiCl_4 при его контакте с влажным воздухом.

Наиболее трудноудаляемой примесью данного соединения является окситрихлорид ванадия. VOCl_3 появляется в техническом продукте в результате хлорирующего обжига титаносодержащего сырья.

Наибольшее распространение получил способ восстановления VOCl_3 медью – добавление медного порошка или пропускание паров TiCl_4 через медную сетку. Кроме оксихлорида ванадия восстанавливают-

ся также соединения серы, хлорное олово и оксихлорид хрома. С медью взаимодействуют также органические соединения типа хлорацетилхлоридов, которые образуют на поверхности металла нерастворимые в TiCl_4 соединения.

В качестве восстановителей также могут применяться сероводород и другие активные сульфиды (меркаптаны, трехсернистая сурьма). От осадков, которые образуются в ходе восстановления, четыреххлористый титан отделяют декантацией, фильтрованием или перегонкой. Также возможно пропускать обработанный сульфидом четыреххлористый титан через колонну, заполненную известью.

Непрерывная очистка TiCl_4 осуществляется водородом: технический TiCl_4 , содержащий 0,3-0,4% VOCl_3 , испаряется, а перегретые до 700°C пары взаимодействуют в колонне с большим избытком водорода. Парогазовая смесь, выходящая из аппарата, орошается жидким охлажденным TiCl_4 . При этом осуществляется конденсация части газообразного TiCl_4 вместе с нелетучими примесями (в том числе и VOCl_3). Основная масса газа, который выходит из колонны, подвергается более глубокому охлаждению, в результате чего получается четыреххлористый титан, содержащий менее 0,008% VOCl_3 .

Также глубокая очистка технического TiCl_4 от VOCl_3 достигается при пропускании паров TiCl_4 через солевой расплав, который содержит хлористый калий, обезвоженный карналлит или отработанный электролит производства магния. В присутствии восстановителя (уголь, металлический титан) VOCl_3 восстанавливается до VCl_3 , без восстановителя образуется малолетучее соединение K_2VOCl_4 . В обоих случаях очищенный TiCl_4 содержит не более 0,003-0,001% ванадия [9-11].

Но наибольшее распространение получила очистка технического четыреххлористого титана с помощью ректификации, хотя она значительно осложнена из-за близости температур кипения TiCl_4 и VOCl_3 – 127 и 136°C соответственно.

На протяжении нескольких последних десятилетий глубокой очистке тетрахлорида титана от примеси окситрихлорида ванадия уделяется постоянное внимание. Известные в настоящее время методы удаления ванадия из технического тетрахлорида титана можно разделить на две группы: химические и физико-химические.

Химические методы основаны на восстановлении окситрихлорида ванадия до соединений ванадия в более низкой степени окисления, обладающих меньшей летучестью и легко удаляемых при перегонке и ректификации.

Гетерогенное восстановление – один из наиболее известных методов очистки тетрахлорида титана от окситрихлорида ванадия. В качестве твердого реагента, нерастворимого в TiCl_4 , обычно применяют металлы и их сплавы, смеси металлов с трихлоридом алюминия и едкими щелочами, уголь [12]. Для гомогенного восстановления VOCl_3 , растворенного в TiCl_4 , в жидкой фазе был предложен ряд органических веществ: хлорпроизводные алифатических углеводородов (хлорированные парафины, дихлорпентан, лауроилхлорид и др.), циклические соединения, ароматические амины, высшие жирные кислоты и их производные, нефтяные масла [13, 14]. Общим для них является то, что ванадий в форме нелетучих соединений обычно образует взвесь с некоторыми органическими веществами, которая отделяется от TiCl_4 и может быть переработана для получения тех или иных соединений ванадия.

В зарубежной промышленной практике выделение ванадия ведут путем обработки содержащего его технического тетрахлорида титана сероводородом [15, 16] при температуре, близкой к температуре кипения TiCl_4 . При этом происходит осаждение нелетучих соединений ванадия, а образующийся S_2Cl_2 растворяется в тетрахлориде титана. Известны методы гомогенной парофазной очистки TiCl_4 метаном [17], низшими хлоридами титана, при действии которых ванадий переходит в смесь низших хлоридов и оксихлоридов.

Рассмотренные выше методы химического перевода ванадия в нелетучие соединения позволяют провести почти полное отделение ванадия от технического TiCl_4 , что широко используется при очистке последнего. Тем не менее, эти методы для целей выделения ванадия малопригодны, поскольку в результате образуется смесь низших хлоридов и оксихлоридов ванадия, требующая дополнительной стадии их переработки. Важным преимуществом физико-химических методов является сохранение молекулярной формы VOCl_3 , которая является важным звеном в технологии получения ванадия и его соединений.

Основной потребитель ванадия – черная металлургия, где его используют как легирующий элемент при плавке специальных сортов сталей. Даже небольшие добавки его существенно повышают прочность стали, уменьшают размер зерна, снижают склонность стали к перегреву, улучшают свариваемость и многие другие физико-механические, технологические и эксплуатационные свойства. Для создания разнообразных марок высоколегированных углеродистых сталей ванадий комбинируют с хромом, никелем, марганцем, бромом, вольфрамом и другими элементами. Его используют также в качестве заменителя дефицитных и дорогостоящих легирующих элементов; так, например, в ФРГ при производстве твердых сплавов ванадием заменяют часть вольфрама. Металлический ванадий и его сплавы представляют интерес для развития таких отраслей, как ракетостроение, атомная промышленность [18]. VOCl_3 в индивидуальном состоянии представляет большую ценность в производстве твердотельных лазеров, люминофоров и легированных сталей. Кроме того, он используется для изготовления катализаторов сернокислотного производства. Главным образом, четыреххлористый титан применяется для получения металлического титана, а также его сплавов. Благодаря высокой коррозионной стойкости титан и его сплавы широко используются в химической промышленности: теплообменники и выпарная аппаратура, реакторы, скрубберы, сушилки, разделительные колонны, емкости, насосы, прочее оборудование. Примерно 30% титана расходуется на изготовление коммуникаций из титана, применяемых в химической промышленности, используется в хлорном производстве. Кроме того, четыреххлористый титан используется в производстве катализаторов для проведения химико-технологических процессов, например, при полимеризации этилена и при алкилировании ароматических углеводородов. При восстановлении TiCl_4 образуется треххлористый титан – широко используемый катализатор при полимеризации олефинов, в частности, в производстве полипропилена [19]. Помимо этого, тетрахлорид титана применяется в производстве титаносодержащей керамики [20], пигментного диоксида титана, как дымообразователь и др.

Выводы. Производство титановой губки является материалоемким и энергоёмким процессом, особенно процесс восстановления титана из его тетрахлорида с помощью магния. Качество проведения данного про-

цесса и получения необходимых продуктов зависит от чистоты используемого тетрахлорида титана. Таким образом, одной из основных задач в производстве титана является повышение эффективности очистки исходного сырья (TiCl_4) от примесей.

Список литературы: 1. *Войтович Б.А.* Физико-химические основы разделения продуктов хлорирования титансодержащих материалов / *Б.А. Войтович, А.С. Барабанова.* – К.: Наукова думка, 1969. – 608 с. 2. *Крамник В.Ю.* Металлургия титана / *В.Ю. Крамник.* – М.: Металлургия, 1968. – 480 с. 3. *Александров А. В.* Развитие рынка титана в СНГ / *А. В. Александров* // Междунар. конф. «Ti-2009 в СНГ» (17-20 мая 2009 г., Одесса): сб. тр. – Киев: НАН Украины, Ин-т металлофизики, 2009. – С. 7-11. 4. *Постыляков Б. Л.* Состояние и тенденции развития мирового рынка титана в 2005 г. / *Б. Л. Постыляков, А. Н. Строшков* // Междунар. конф. «Ti-2006 в СНГ» (21-24 мая 2006 г., Суздаль): сб. тр. – Киев: Наукова думка, 2006. – С. 311-314. 5. *Севрюков Н.Н.* Общая металлургия / *Н.Н. Севрюков, Б.А. Кузьмин, Е.В. Челищев.* – М.: Наука, 1976. – 704 с. 6. *Сергеев В.В.* Металлургия титана / *В.В. Сергеев, Н.В. Галицкий, В.Н. Киселев.* – М.: Металлургия, 1964. – 502 с. 7. *Серяков Г.В.* Металлургия титана / *Г.В. Серяков, П.П. Хомяков.* – М.: Металлургия, 1968. – 496 с. 8. *Коришунов Б.Г.* Введение в хлорную металлургию редких элементов / *Б.Г. Коришунов, С.Л. Стефанюк.* – М.: Металлургия, 1970. – 514 с. 9. *Морозов И.С.* Применение хлора в металлургии редких и цветных металлов / *И.С. Морозов.* – М.: Наука, 1966. – 577 с. 10. *Мартынов Ю.М.* Методы очистки хлорсодержащих соединений / *Ю.М. Мартынов, И.Г. Сыркина, Г.Г. Ершова* // Хим. пром. – 1969. – № 2. – С. 132-136. 11. *Ефремов А.А.* Отделение оксихлорида ванадия в титансодержащих соединениях / *А.А. Ефремов, Я.Д. Зельвенский, И.П. Оглоблина* // Хим. пром. – 1969. – № 10. – С. 59-73. 12. *Нисельсон Л.А.* Сравнительная оценка различных способов очистки четыреххлористогитана / *Л.А. Нисельсон, Ю.В. Голубков, Т.Е. Худайбергенев* // Цветные металлы. – 1971. – № 11. – С. 41-46. 13. *Фурман А.А.* Неорганические хлориды (химия и технология) / *А.А. Фурман.* – М.: Химия, 1980. – 416 с. 14. *Резниченко В.А.* Химическая технология титана / *В.А. Резниченко, В.С. Устинов, И.А. Карязин, Ф.Б. Халимов.* – М.: Наука, 1983. – 246 с. 15. *Химия и технология редких и рассеянных элементов* / Под ред. *К.А. Большакова.* – М.: Наука, 1976. – Т. 2. – 360 с. 16. *Нисельсон Л.А.* Очистка тетрахлорида титана от хлорокиси ванадия минеральными нефтяными маслами / *Л.А. Нисельсон, Т.Д. Соколова, А.А. Титов, В.Д. Попов* // Журн. прикл. химии. – 1974. – Т. 47. – № 2. – С. 2547-2549. 17. *Лебедев Г.Н.* Исследование взаимодействия водорода и метана с четыреххлористым титаном, окситрихлоридом ванадия и их смесями / *Г.Н. Лебедев, Н.В. Галицкий, Э.В. Сергач* // Металлургия и химия титана. – М.: Металлургия, 1969. – Т. 3. – С. 62-67. 18. *Музгин В.Н.* Аналитическая химия ванадия / *В.Н. Музгин, Л.Б. Хамзина, В.Л. Золотавин, И.Я. Безруков.* – М.: Наука, 1981. – 870 с. 19. *Hanson. B.H.* Present and Future Uses of Titanium in Engineering // *Materials and Design.* – 1986. – V. 7, № 6. – P. 301-307. 20. *Гармата В.А.* Титан: Свойства, сырьевая база, физико-химические основы и способы получения / *В.А. Гармата, А.Н. Петрунько, Н.В. Галицкий.* – М.: Металлургия, 1983. – 558 с.

Поступила в редколлегию 09.03.12

Л.М. УЛЬЕВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
А.А. КОВАЛЬЧУК, аспирант, НТУ «ХПИ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ЦЕЛЕВОГО ПРОДУКТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПИГМЕНТНОЙ ДВУОКИСИ ТИТАНА

У роботі наведені, економічний та енергетичний потенціал енергозбереження, отримані шляхом інтеграції процесів спроектованого підприємства. Завдяки цим двом показникам зрозуміло, що після впровадження проекту, підприємство зможе заощаджувати ~ 8735781 грн. Якщо розглядати заощадження з точки зору енергоносіїв, то витрата гарячих зменшиться на ~ 50%, а холодних ~73%. Що має велике значення у часи збільшення цін на енергоносії

В работе приведены, экономический и энергетический потенциал энергосбережения, полученные путем интеграции процессов спроектированного предприятия. Благодаря этим двум показателям понятно, что после внедрения проекта, предприятие сможет экономить ~ 8735781 грн. Если рассматривать сбережения с точки зрения энергоносителей, то расход горячих уменьшится на ~ 50%, а холодных ~ 73%. Что весьма существенно во времена роста цен на энергоносители

In work is shown, economic and power potential is energy-savings, got by integration of processes of the projected enterprise. Due to these two indexes clearly, that after introduction of project, a that enterprise will be able to save ~ 8735781 Uah. If to examine an economy from point sight of power mediums, then consumption of hot reduced by ~ 50%, or cold ~ 73%. That matters very much in the days of the increase of prices on power mediums

Введение. В связи с тем, что мировые цены на энергоносители постоянно возрастают, проблема энергосбережения является актуальной для промышленности Украины. В Украине, по различным причинам, системные энергосберегающие методы не применялись, поэтому удельное энергопотребление здесь в 3 – 5 раз больше, чем у западных компаний. Одним из методов сокращения энергозатрат является пинч – анализ. С помощью методов интеграции тепловых процессов можно достичь качественного улучшения процесса проектирования, сокращения затрат на энергоносители, уменьшения выбросов вредных веществ в окружающую среду, лучшего использования капитальных вложений, повышение продуктивности после реконструкции. На химических предприятиях сосредоточены все

технологические линии производства продукции, от приема или производства исходных компонентов и до отгрузки расфасованной и упакованной коммерческой продукции. Поэтому для увеличения конкурентоспособности отечественных предприятий, и это особенно важно при вхождении Украины во Всемирную торговую организацию, необходимо срочно снижать удельное энергопотребление в промышленности страны.

Экстракция потоковых данных. Обследуемый процесс включает в себя получение компонентов для производства красок, бумаги, полимерных материалов, резины, химических волокон и т.п. продуктов. Во время проведения энергоаудита предприятие работало в обычном режиме. Рассмотрим, что происходит на каждом участке производства (рис. 1):

1) Гидролиз предназначен для осаждения из раствора титанилсульфата частиц гидратированной двуокиси титана (ГДТ) в форме, обеспечивающей в дальнейшем получение пигментной двуокиси титана. 2) Зародыши рутила добавляются в суспензию ГДТ после 5 стадии фильтрации и способствуют превращению двуокиси титана анатазной формы в рутильную в прокалочных печах при более низких температурах прокаливания. 3) Фильтрация удаляет из ГДТ соли железа, других металлов и серной кислоты. Сульфирование на стадии отбеливания: восстановление 3-х валентного железа до 2-х валентного с целью облегчения его отмывки на последующих стадиях фильтрации. Сульфирование на стадии солевой обработки: получение при прокалке рутильной модификации двуокиси титана. 4) Прокаливание переводит аморфную двуокись титана в кристаллическую рутильной модификации. Очистка отходящих газов производится на установках газоочистки «Баумко». 5) Сухой размол измельчает двуокись титана после прокаливания. 6) Мокрый размол и классификация предназначены для дополнительного измельчения частиц продукта до величины не более 15 микрон. Поверхностная обработка производится с целью ослабления свойства «меления» в лакокрасочном покрытии путём создания на поверхности частиц двуокиси титана защитного слоя из гидроокиси цинка, алюминия и кремния. Фильтрация отмывает двуокись титана от водорастворимых солей. 7) Сушка удаляет всю влагу из двуокиси титана после мокрого размола. Высушенная двуокись титана размельчается в пароструйных мельницах и готовый продукт отгружается на склад [3].

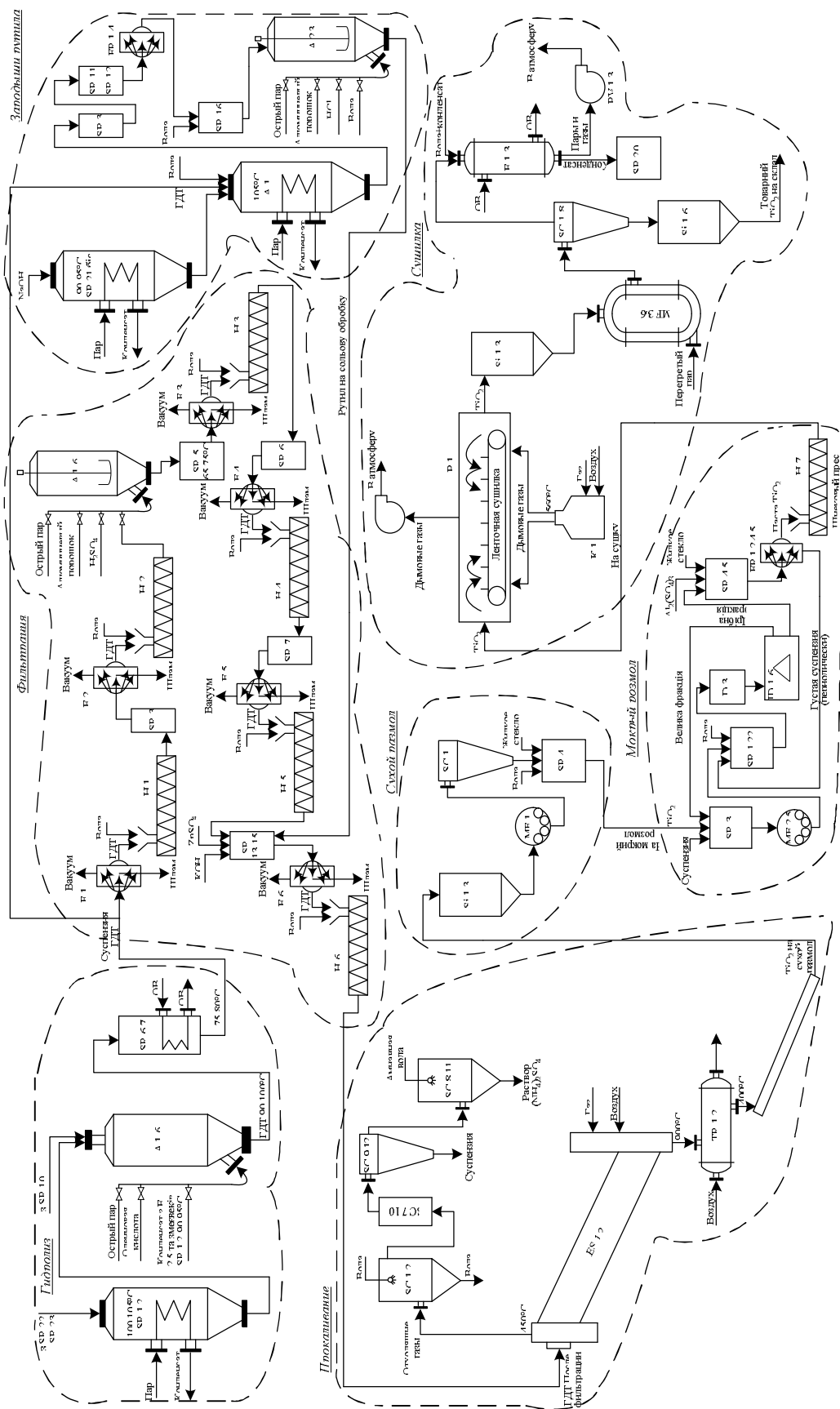


Рис 1 Принципиальная энерготехнологическая схема белого отделения процесса производства пигментной двуокиси титана

SR 1, 2, 21 бис, А 1 подогреватели; А 1-6, А 23, А 1, 6 реакторы; SR 3 22 ёмкости; FR 1 4 фильтры; Н 1 7 шнековые прессы; F 1 6 вакуум фильтры; ES 1 2 печи; TR 1, 2 вращающиеся холодильные барабаны; SC 1, 2, 7, 10, 9, 12, 8, 11 циклоны; MF 1, 2, 5 шаровые мельницы; F 1 3 теплообменники; P 1 сушилка; K 1 печь.

Потребление пара и охлаждающей воды технологическими процессами предприятия в табл. 1.

Таблица 1

Энергетическая мощность основных теплоиспользующих и холодоиспользующих объектов предприятия

№	Потребители пара и воды	Количество, кг/с	Количество, кВт
1	Мельница, Гидролиз, Рутил, Отбелка, Анатаз	4,08	7391
2	Охладители	16,88	5033

Итак, мы видим, что основной потребитель тепловой энергии использует 4,08 килограмма пара в секунду, что эквивалентно общей мощности, равной ~ 7391 кВт. Для производства такого количества тепловой энергии необходимо сжечь в топках котлов 6353304 м^3 природного газа.

Стоимость газа для предприятия в настоящее время составляет значение ~ 2500 грн. за 1000 м^3 природного газа, и, следовательно, за потребляемый, указанными объектами в течение года газ, предприятие платит 15883259 грн.

Также предприятие несёт затраты на охлаждение потоков до их целевой температуры, для этого используется охлаждающая вода. Потребление охлаждающей воды составляет 16,88 килограмма воды в секунду, что эквивалентно общей мощности, равной ~ 5033 кВт.

Стоимость охлаждающей воды составляет 10% от стоимости энергии на нагревание, следовательно, предприятие в год тратит 1081592 грн.

Обследование технологических процессов на предприятии позволило определить четырнадцать технологических потоков, которые могут быть включены в теплоэнергетическую интеграцию, свойства которых собраны в табл. 2.

А сейчас перейдем к рассмотрению потоковых данных, экстрагированных из технологических процессов предприятия, и будем их анализировать с помощью методов интеграции процессов.

Заметим, что во время обследования теплоэнергетической системы технологических процессов нагрев потоков осуществлялся только за счёт пара, а охлаждение соответственно за счёт охлаждающей воды. Сокра-

тить расход пара и воды можно, но для этого сначала необходимо провести проектирование теплообменных сетей и процессов на предприятии.

Таблица 2

Потоковые данные технологических потоков, используемые для определения энергосберегающего потенциала

№ потока	Название потока	Тип	T _s , °C	T _t , °C	G, т/ч	ΔH, кВт
1	Суспензии на пептизации	гор	102	70	2,50	89
2	Отходящие газы прокали	гор	450	120	22,98	2666
3	TiO ₂ после прокали	гор	900	50	2,53	516
4	Отходящие газы сушки	гор	200	120	8,68	262
5	Пары пароструйных мельниц	гор	112	112	3,00	1853,3
	Конденсат пароструйных мельниц	гор	112	78	3,00	119
6	Нагрев NaOH	хол	20	95	0,04	3,75
7	Нагрев ГДТ в А-1 (рутил)	хол	20	78	0,55	36
8	Нагрев ГДТ + NaOH в А-1 (рутил)	хол	78	105	0,60	18
9	Нагрев ГДТ в пептизаторах	хол	20	102	0,60	54
10	Отбелка	хол	30	90	13,75	644
11	Прокали TiO ₂ (нагрев пасты)	хол	30	100	6,78	370
12	Воздух на прокали	хол	30	1100	17,44	5548
13	Сушка TiO ₂ (нагрев пасты)	хол	30	100	5,03	275
14	Воздух на сушку	хол	30	560	5,82	917

Задачей проектирования является организация теплообмена горячих (которые необходимо охладить) и холодных (которые необходимо нагреть) потоков между собой, а также с внешними энергоносителями с целью минимизации приведенных годовых затрат предприятия, кроме того выбранный проект должен быть безопасным, управляемым и удовлетворять экологическим требованиям [2]. Также рассчитываются: оптимальные параметры процесса, капитальные вложения, срок окупаемости и ежегодная прибыль. На основании полученных результатов делается вывод, целесообразна ли реконструкция предприятия. Ведь если затраты

окажутся большими, ежегодная прибыль маленькой и срок окупаемости больше 15 лет, то никто не захочет вкладывать деньги в такой проект. Для начала определим, какое количество тепла можно забрать у горячих потоков и подвести к холодному потоку для его нагрева, иначе говоря, определим энергосберегающий потенциал.

Определение энергосберегающего потенциала. Используя технологические данные из таблицы 2, построим на энтальпийно-температурной диаграмме горячую и холодную составные кривые выбранной системы технологических потоков без рекуперации процесса см. рис. 2.

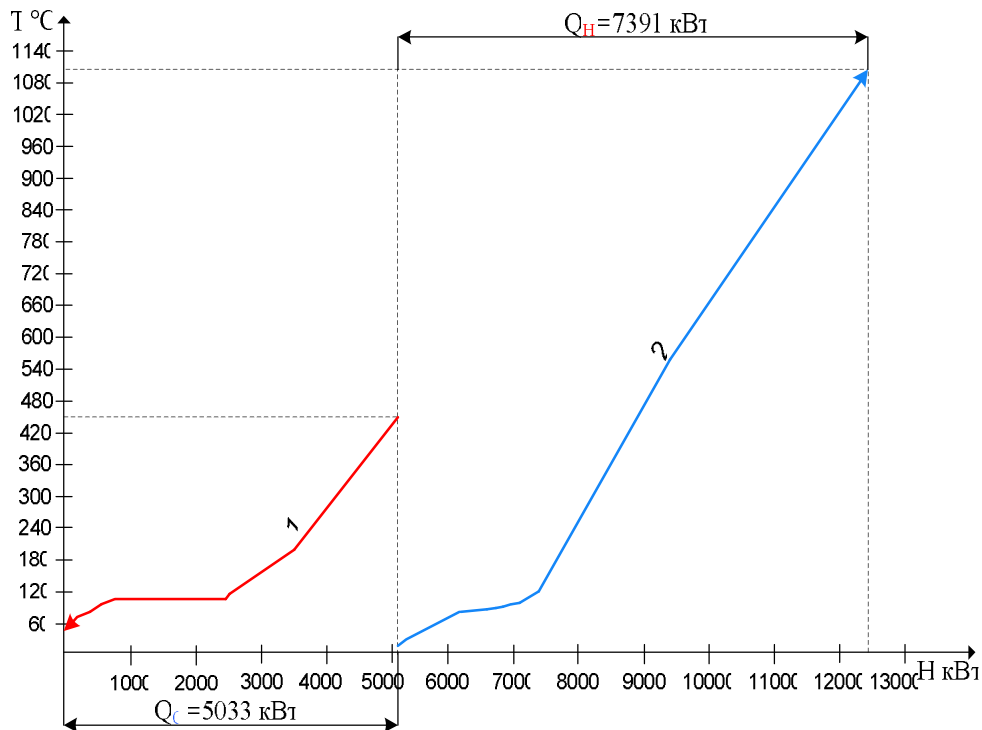


Рис. 2. Составные кривые процесса производства пигментной двуокиси титана без рекуперации процесса: 1 – составная кривая горячих потоков; 2 – составная кривая холодных потоков; Q_H и Q_C потребление мощности горячих и холодных утилит.

На рис.2 видно, для того чтобы нагреть исходный поток до целевой температуры нужно подвести к потоку тепловую энергию, равную ~ 7391 кВт и соответственно для охлаждения горячих потоков отвести тепловую энергию, равную ~ 5033 кВт. Для этого предприятие каждый год тратит ~ 16964851 грн., из них ~ 15883259 грн. на горячие утилиты и $\sim$

1081592 грн. на холодные утилиты. Так как энергоносители с каждым годом дорожают и их количество на земле уменьшается, то появилась необходимость сокращать потребление энергоносителей. Достичь этого удалось благодаря пинч-интеграции. Составные кривые показывают значения тепловой мощности, которую возможно отвести от системы горячих потоков ~ 5033 кВт и мощности, которую необходимо подвести к холодным потокам ~ 7391 кВт для выполнения процессов рекуперации.

Для этого сдвигают составные кривые. Сдвигать составные кривые необходимо так, чтобы минимальная разность температур равнялась $\Delta T_{\min}$. Только при этой температуре достигается оптимальный компромисс между инвестициями и стоимостью энергии. По подобранному $\Delta T_{\min} = 20^\circ\text{C}$ строим сдвинутые составные кривые см. рис. 3.

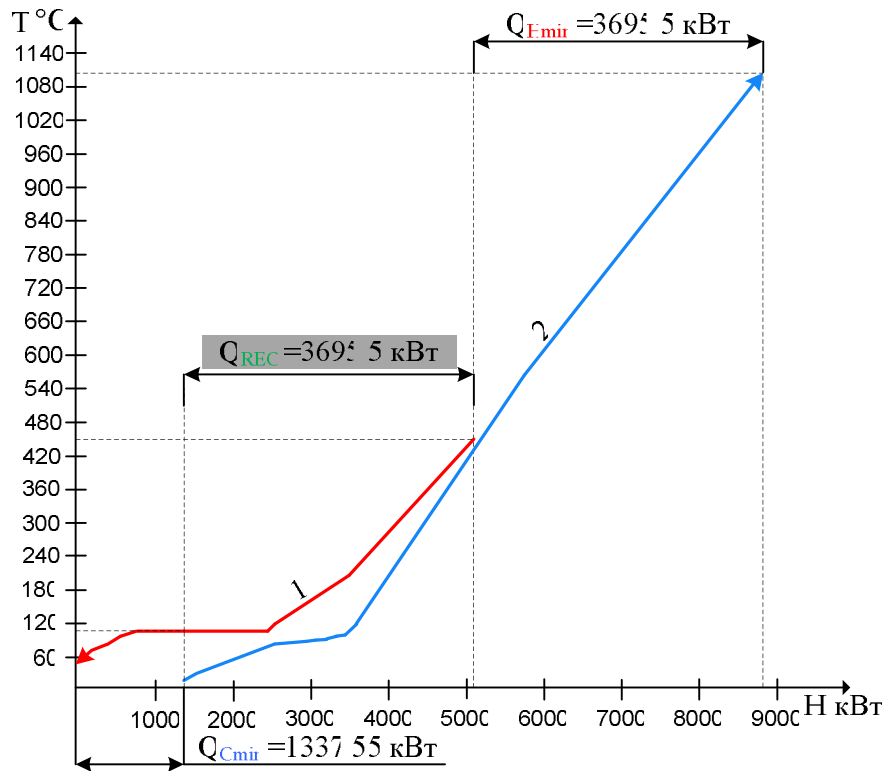


Рис. 3. Сдвинутые составные кривые процесса производства пигментной двуокиси титана с рекуперацией процесса: 1 – составная кривая горячих потоков; 2 – составная кривая холодных потоков; $Q_{H\min}$, $Q_{C\min}$, Q_{Rec} потребление мощности горячих, холодных утилит и мощность рекуперации;

Сдвинув холодный поток к горячему, и обеспечив разность температур в 20°C (рис. 3) видим, что тепловой энергии рекуперировается $\sim$

3695,5 кВт [4]. Правда не всю энергию удаётся рекуперировать, поэтому невозможно вообще отказаться от горячих и холодных утилит, можно лишь снизить объём их расхода. Так расход горячих утилит сократился с ~ 7391 кВт, до $\sim 3695,5$ кВт, а холодных с ~ 5033 кВт, до $\sim 1337,55$ кВт. Это существенное снижение затрат на пар и охлаждающую воду. Представим экономическое обоснование внедрения проекта.

Затраты предприятия на нагрев и охлаждение до внедрения проекта (без рекуперации процесса).

Сделаем расчёт стоимости подведенного тепла, на нагрев холодных потоков. Определим стоимость 1 кВт/год энергии, которая получается при сжигании природного газа – количество энергии которая выделяется при сжигании 1000 м^3 природного газа $-33,5 \cdot 10^9$ Дж

Рассчитываем стоимость 1 кВт/год энергии см. в уравнении (1):

$$x = 2500 \cdot 3600 \cdot 8000 \cdot 10^3 / 33,5 \cdot 10^9 \quad (1)$$

где x – искомая стоимость 1 кВт/год; 8000 час. – количество рабочих часов в год; 2500 грн. – цена за 1000 м^3 газа; 3600 сек – количество секунд в 1 часе, откуда $x = 2149$ грн.

Т.е. 1 кВт/год будет стоить 2149 грн. Стоимость годовой энергии, которая пойдёт на подогрев холодного потока см. в уравнении (2):

$$S_{Г1} = Q_H \cdot x, \quad (2)$$

где Q_H – тепловая мощность для нагрева холодного потока; $S_{Г1}$ – стоимость годовой энергии для нагрева холодного потока.

$$S_{Г1} = 7391 \cdot 2149 = 15883259 \text{ грн.}$$

Принято считать, что стоимость энергии для охлаждения стоит 10 % от стоимости энергии на нагрев см. в уравнении (3):

$$S_{Х1} = Q_C \cdot x \cdot 0,1, \quad (3)$$

где Q_C – тепловая мощность для охлаждения горячих потоков; $S_{Х1}$ – стоимость годовой энергии для охлаждения горячих потоков.

$$S_{X1} = 5033 \cdot 2149 \cdot 0,1 = 1081592 \text{ грн.}$$

Общие годовые затраты на энергоносители см. в уравнении (4):

$$S_{\Delta 1} = S_{Г1} + S_{X1}, \quad (4)$$

где $S_{\Delta 1}$ – общие годовые затраты на энергоносители до внедрения проекта.

$$S_{\Delta 1} = 15883259 + 1081592 = 16964851 \text{ грн.}$$

После разработки и внедрения пинч технологий, были получены новые значения горячих и холодных утилит, $\sim 29,258$ кВт и $\sim 33,8$ кВт.

Сделаем перерасчёт стоимости энергии см. в уравнении (2) и (3):

$$\begin{aligned} S_{Г2} &= 3695,5 \cdot 2149 = 7941630 \text{ грн,} \\ S_{X2} &= 1337,55 \cdot 2149 \cdot 0,1 = 287440 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Общие годовые затраты на энергоносители см. в уравнении (4):

$$S_{\Delta 2} = 7941630 + 287440 = 8229070 \text{ грн.}$$

Рассчитаем сумму экономии за год см. в уравнении (5):

$$\begin{aligned} \Delta S &= S_{\Delta 1} - S_{\Delta 2}, \\ \Delta S &= 16964851 - 8229070 = 8735781 \text{ грн.} \end{aligned} \quad (5)$$

Принимая во внимание указанную выше стоимость горячих и холодных утилит, непосредственное проведение процесса производства пигментной двуокиси титана, в случае внедрения, обойдётся предприятию в 8229070 грн., вместо 16964851 грн до реконструкции. Стоимость горячих утилит для проведения процесса уменьшится на $\sim 50\%$, а холодных на $\sim 73\%$. Совершенно понятно, что за все необходимо платить, и платой в нашем случае будет установка дополнительной теплообменной поверхности, т.е. капитальные затраты. Составные кривые содержат достаточно информации для определения этих затрат еще до разработки самого проекта реконструкции теплоэнергетической системы.

Нам известны начальные и конечные температуры технологических потоков, их тепловые нагрузки и, как правило, известны характерные ко-

эффективности теплоотдачи для каждого из потоков в теплообменном оборудовании. Применяя аппарат составных кривых, мы можем достаточно точно оценить необходимую площадь поверхности теплообмена для проектируемого или реконструируемого процесса. В пинч-анализе также существуют методы определения минимального количества теплообменных аппаратов и их секций [1]. После определения количества теплообменных секций и их поверхности можно оценить стоимость их установки, а значит и общие капитальные затраты [1]. Стоимость теплообменного оборудования выбираем в соответствии с ценами поставщиков.

Значению $\Delta T_{\min}$ можно сопоставить в соответствии приведенную капитальную стоимость и годовую стоимость энергии. При увеличении $\Delta T_{\min}$ уменьшается мощность рекуперации, увеличиваются среднелогарифмические разности температур, что ведет к уменьшению площади поверхности теплообмена и в итоге к уменьшению капитальной приведенной стоимости. В то же время стоимость потребленной энергии будет расти с увеличением $\Delta T_{\min}$. Общая приведенная стоимость проекта теплообменной системы процесса формируется этими двумя конкурирующими величинами и в результате является немонотонной функцией $\Delta T_{\min}$, и $\Delta T_{\min \text{ opt}}$ определяется при минимальном значении приведенной стоимости проекта [2].

Заключение. Экономический потенциал энергосбережения, полученный вследствие интеграции процессов проектируемого предприятия, равен ~ 8735781 грн. Если рассматривать экономию с точки зрения энергии, т.е. горячих и холодных утилит, то расход горячих сократился на $\sim 50\%$, а холодных на $\sim 73\%$. Что немаловажно во времена увеличения цен на энергоносители.

Список литературы: 1. Основы интеграции тепловых процессов / [Смит Р., Тобажнянский Л., Клемеш Й. и др.]. – Х.: ХГПУ. 2000. – 457 с. 2. Основы теории ресурсосберегающих интегрированных химико-технологических систем / [Мешалкин В.П., Тобажнянский Л.Л., Капустенко П.А.]. – Х.: НТУ «ХПИ», 2006. – 412 с. 3. Двуокись титана / [Хазин Л.Г.]. – Л.: Химия, 1970. – 176 с. 4. Построение составных кривых технологических процессов для определения энергетической эффективности предприятий : сб. науч. работ по материалам межд. научно-техн. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье», microCAD'96. Ч. 1. / [Тобажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульянов Л.М. и др.]. – Х.: Вестник – 1996. – 179 с.

Поступила в редколлегию 22.02.12

С.Д. ДЕМЕНКОВА, мл. научн. сотр, НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ГЕНЕРАТОРЕ-РЕКТИФИКАТОРЕ АБСОРБЦИОННО-ХОЛО- ДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК АГРЕГАТОВ СИНТЕЗА АММИАКА

В статье рассмотрены вопросы по расчету теплового баланса генератора-ректификатора абсорбционно-холодильной установки агрегатов синтеза аммиака. Сделаны выводы о необходимости учитывать гидродинамические показатели при расчете коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи генератора-ректификатора

У статті розглянуті питання по розрахунку теплового балансу генератора-ректифікатора абсорбційно-холодильної установки агрегатів синтезу аміаку. Зроблені висновки про необхідність враховувати гідродинамічні показники при розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі і теплопередачі генератора-ректифікатора

In the article questions are considered upon settlement of thermal balance of generator-rectifier of the absorption-refrigeration setting of aggregates of synthesis of ammonia. Conclusions are done about a necessity to take into account hydrodynamic indexes at the calculation of coefficients of heat emission and heat-transfer of generator-rectifier

Постановка задачи исследований. Одним из важнейших продуктов химической промышленности является синтетический аммиак. В настоящее время, стоит задача по модернизации и уменьшению энергозатрат в производстве аммиака. Наиболее энергоемкой частью агрегатов синтеза аммиака является блок вторичной конденсации, на который приходится 50 % всей используемой электроэнергии. В агрегатах синтеза аммиака окончательное выделение целевого продукта осуществляется путем конденсации его при охлаждении циркуляционного газа в кожухотрубных испарителях затопленного типа, включенных в цикл водоаммиачных абсорбционных (АХУ) и аммиачных турбокомпрессионных (АТК) холодильных систем. Для значительного снижения энергозатрат предлагается [1] исключить АТК из блока вторичной конденсации, компенсировав хладопроизводительность системы за счет ее увеличения при работе АХУ. Основной задачей является повышения хладопроизводительности системы за счет увеличение количества хладагента-аммиака, который вырабатывается основным аппаратом-генератором-ректификатором (ГР). Увеличение количества аммиака на выходе из ГР

зависит от процесса теплообмена в кубе генератора, т.е. от коэффициента теплопередачи. Последний, как известно, устанавливается коэффициентами теплоотдачи $\alpha_{П.Г.}$ и α_k со стороны греющей среды, и α_p -со стороны водоаммиачного раствора. Основная сложность связана с определением коэффициента α_p .

Расчет коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи по экспериментальным данным. По результатам обработки данных пассивного регистрационного эксперимента была сформирована выборка, которая содержит наиболее характерные режимы для генератора-ректификатора, сведенные в табл. 1 [2].

Таблица 1

Показатели работы генератора-ректификатора по данным пассивного регистрационного эксперимента

	Равновесная концентрация слабого раствора, кг/кг	Температура, °С			Концентрация, кг/кг		Расход, т/год			Кратность циркуляции растворов	Равновесная концентрация слабого раствора, кг/кг
		Слабый раствор	Крепкий раствор	Пары аммиака из дефлегматора	Слабый раствор	Крепкий раствор	Пары аммиака	Слабый раствор	Крепкий раствор		
1	1,58	122	106	50	0,304	0,396	10,82	72,054	82,874	7,6	0,2934
2	1,46	122	105	55	0,278	0,366	10,34	75,882	86,222	8,17	0,2782
3	1,4	120	101	54	0,291	0,354	8,66	88,725	97,385	11,22	0,2791

Для расчета коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи были использованы уравнения теплового баланса ГР [2]. Тепловой баланс генератора-ректификатора:

$$Q_G = Q_{K1T1} + Q_{K2T2}$$

где Q_G –тепловой поток, переданный в куб генератора, Q_{K1T1} –тепловой поток, полученный водоаммиачным раствором (ВАР) от парогазовой смеси (ПГС) в верхней части кипятильника ГР, Q_{K2T2} –тепловой поток,

полученный ВАР от конвертированного газа (КГ) в нижней части кипя-
тильника.

$$Q_{\Gamma} = Q_{\text{ПГС}} + Q_{\text{КГ}}$$

где $Q_{\text{ПГС}}$ –тепловой поток, поступивший с ПГС в ГР, $Q_{\text{КГ}}$ –тепловой по-
ток, поступивший с КГ в ГР.

$$Q_{\Gamma} = q \cdot M_{\text{NH}_3}$$

где q –удельный тепловой поток генератора-ректификатора, M_{NH_3} –
количество аммиака, испарившегося в генераторе-ректификаторе.

Уравнение теплового баланса генератора-ректификатора:

$$Q_{K1T1} + Q_{K2T2} = Q_{\text{ПГС}} + Q_{\text{КГ}}$$

$$Q_{K1T1} = K_v \cdot F1 \cdot \Delta t_{cp}^v,$$

$$Q_{K2T2} = K_n \cdot F2 \cdot \Delta t_{cp}^n,$$

где K_v, K_n – коэффициент теплопередачи от ПГС к ВАР и от КГ к ВАР со-
ответственно, $F1, F2$ – площадь теплообмена, $\Delta t_{cp}^v, \Delta t_{cp}^n$ – средняя раз-
ность температур в верхней и нижней части кипятильника ГР.

$$Q_{\text{ПГС}} = M_{\text{ПГС}}^{\text{пар}} \cdot r + M_{\text{ПГС}}^{\text{газ}} \cdot C_p^{\text{ПГС}} (t_{\text{вх}}^{\text{ПГС}} - t_{\text{вых}}^{\text{ПГС}}),$$

где $M_{\text{ПГС}}^{\text{пар}}$ –расход паровой составляющей ПГС, r –теплота парообразо-
вания, $M_{\text{ПГС}}^{\text{газ}}$ –расход газовой составляющей ПГС, $C_p^{\text{ПГС}}$ –средняя тепло-
емкость газовой составляющей, $t_{\text{вх}}^{\text{ПГС}}$ –температура ПГС на входе в верх-
нюю часть кипятильника ГР, $t_{\text{вых}}^{\text{ПГС}}$ –температура ПГС на выходе из ки-
пятильника ГР.

$$Q_{\text{КГ}} = M_{\text{КГ}}^{\text{пар}} \cdot r + M_{\text{КГ}}^{\text{газ}} \cdot C_p^{\text{КГ}} (t_{\text{вх}}^{\text{КГ}} - t_{\text{вых}}^{\text{КГ}}),$$

где $M_{\text{КГ}}^{\text{пар}}$ – расход паровой составляющей КГ, r – теплота парообразова-
ния, $M_{\text{КГ}}^{\text{газ}}$ – расход газовой составляющей КГ, $C_p^{\text{КГ}}$ – средняя теплоем-
кость газовой составляющей, $t_{\text{вх}}^{\text{КГ}}$ – температура КГ на входе в нижнюю
часть кипятильника ГР, $t_{\text{вых}}^{\text{КГ}}$ –температура КГ на выходе из кипятиль-
ника ГР. Из уравнений теплового баланса рассчитываем K_v и K_n .

Значения коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи по проектным данным проводились по формулам:

$$K_{v,n} = \frac{I}{\frac{I}{\alpha_p} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{I}{\alpha}},$$

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + R_n,$$

где α_p -коэффициент теплоотдачи со стороны водоаммиачного раствора [3] , α -коэффициент теплоотдачи со стороны греющей среды ($\alpha_{П.Г.}$ -для верхней части, α_K -для нижней части), δ_{cm} , δ_3 -толщина трубки кипятильника ГР и загрязнений соответственно, λ_{cm} , λ_3 -коэффициент теплопроводности трубки кипятильника ГР и загрязнений соответственно, R_n -термическое сопротивление стенки.

При тепловой нагрузке менее 4000-5000 ккал/м²ч происходит неинтенсивное кипение [4], при котором коэффициент теплоотдачи рассчитывается по формуле:

$$\alpha_{pv,pn} = 0,67 \cdot \left(\frac{\lambda^2 \cdot \gamma^{4/3} \cdot g^{2/3} \cdot C}{\eta^{1/3} \cdot H} \right)^{1/3} Re^{1/9},$$

где α_{pv} -коэффициент теплоотдачи для верхней части кипятильника ГР, α_{pn} -коэффициент теплоотдачи для нижней части кипятильника ГР.

Определяем коэффициент теплоотдачи со стороны греющей среды для верхней части кипятильника:

$$\alpha_{П.Г.} = 1,15 \cdot f \frac{B'}{(\Delta t \cdot Hp)^{0,25}}$$

Определяем коэффициент теплоотдачи со стороны греющей среды для нижней части кипятильника:

$$\alpha_k = f \cdot A \cdot W^{0,56} \cdot d_H^{-0,44}$$

Значения коэффициентов теплоотдачи со стороны водоаммиачного раствора и теплопередачи в верхней и нижней части кипятильника ГР, рассчитанные по экспериментальным данным, сведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи со стороны водоаммиачного раствора

	Значения по проектным данным	Значения по экспериментальным данным
Коэффициент теплоотдачи для верхней части кипятильника ГР, α_{pv}	1 режим – 638 2 режим – 645.8 3 режим – 651.5	1 режим – 662,336 2 режим – 670,722 3 режим – 673,206
Коэффициент теплоотдачи для нижней части кипятильника ГР, α_{pn}	1 режим – 672 2 режим – 665.5 3 режим – 653.8	1 режим – 660,987 2 режим – 663,829 3 режим – 671,430
Коэффициент теплопередачи для верхней части кипятильника ГР, K_v	1 режим – 380 2 режим – 395.7 3 режим – 402.67	1 режим – 421,321 2 режим – 424,698 3 режим – 425,693
Коэффициент теплопередачи для верхней части кипятильника ГР, K_n	1 режим – 205 2 режим – 206.9 3 режим – 209.8	1 режим – 180,95 2 режим – 180,164 3 режим – 180,719

Как видно из представленных расчетов, значения коэффициентов, рассчитанных по экспериментальным данным, не совпадают с величиной коэффициентов, полученных по проектным данным. Анализ литературных данных [5] позволяет сделать предположение о том, что на величину коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи влияет пленочный режим течения водоаммиачного раствора по трубкам кипятильника ГР.

Выводы. Проведенные исследования позволили установить несоответствие между величиной коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи для верхней и нижней части кипятильника генератора-ректификатора, рассчитанных по экспериментальным условиям и проектными расчетами. Такое несоответствие позволяет сделать заключение о необходимости более детального изучения закономерностей теплообмена в кубе генератора-ректификатора АХУ.

Список литературы: 1. Бабіченко Ю.А. Інтенсифікація процесів тепло- і масообміну холодильного обладнання блоку вторинної конденсації виробництва синтетичного аміаку: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.17.08 «Процеси й обладнання хімічної технології» / Ю.А. Бабіченко. – Х.: НТУ «ХПІ», 2005. – 20 с. 2. Бабиченко А. К. Дослідження гідродинаміки роботи генератора-ректифікатора абсорбційно-холодильної установки агрегату синтезу аміаку / А.К. Бабиченко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. -2009р. - № 5/6 (42). - С. 27 -30. 3. Розенфельд Л.М. Примеры и расчеты холодильных машин и аппаратов [Л.М. Розенфельд, А.Г. Ткачев, Е.С. Гуревич и др.]. -М.: Госторгиздат, 1960. -238 с. 4. Рамм В.М. Абсорбция газов: монография / В.М. Рамм. -М.: Химия, 1976. -656 с. 5. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе- М.: Атомиздат, 1979. - 416 с.

Поступила в редколлегию 18.01.2012

В.В. БЕРЕЗУЦКИЙ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ ЖИДКОСТИ ДО И ПОСЛЕ ИСТЕЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ В ЗАТОПЛЕННОЙ ПЛОСКОЙ СТЕНКЕ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯТОРА

В статье исследованы гидродинамические параметры потока воды в емкости с установленной плоской стенкой (перегородкой), с выполненным в ней отверстием и определены варианты выполнения промышленного образца, удовлетворяющего требованиям ламинарности потока и создания условий эффективного контакта частиц, для их реагирования и коагулирования в аппарате (электрокоагуляторе)

У статті досліджені гідродинамічні параметри потоку води в ємності зі встановленою плоскою стінкою (перегородкою) з виконанням в ній отвором і визначені варіанти виконання промислового зразка, що задовольняє вимогам ламинарності потоку і створення умов ефективного контакту частинок для їх реагування і коагуляції в апараті (електрокоагуляторі)

In the article the hydrodynamic parameters of stream of water are investigational in a capacity with the set flat wall (by a partition) with opening executed in it and the variants of implementation of industrial prototype, suiting laminarity of stream and conditioning effective contact of particles for their reacting and coagulation in a vehicle are certain (electrocoagulator)

Постановка и актуальность проблемы. Цель – определить зависимость между площадью сечения отверстия и высотой столба жидкости над отверстием в стенке (перегородке) электрокоагулятора; влияние этих факторов на уровни жидкости в емкостях, образованных плоскими стенками в реакторной камере электрокоагулятора.

Задачи – исследовать гидродинамические параметры потока воды в емкости с установленной плоской стенкой (перегородкой) с выполненным в ней отверстием и найти вариант выполнения промышленного образца, удовлетворяющего требованиям ламинарности потока и созданием условий эффективного контакта частиц для их реагирования и коагулирования.

Изложение основного материала исследований. Для проведения эксперимента и изготовления лабораторной установки, было выполнено нахождение инвариантов подобия промышленной и лабораторной установки [1]. Одним из таких инвариантов подобия является отношение

площади сечения отверстия в плоской стенке (перегородки) (ω , м^2) к площади всей плоской стенке (перегородки) (Ω , м^2). Отношение выбиралось на основном уровне варьирования. Исходя из квадратного сечения отверстия в плоской стенке промышленной установки, со стороной a равной $0,15$ (м), площадь отверстия в сечении будет равна $0,0225$ (м^2). Площадь плоской стенки, в промышленном аппарате будет равна $0,8 \times 1 = 0,8$ (м^2). Исходя из этих данных, инвариант подобия будет равен

$$i_1 = \frac{\omega}{\Omega} = \frac{\omega_{\text{л}}}{\Omega_{\text{л}}} = 0,028. \quad (1)$$

Исходя из найденного инварианта геометрического подобия, была определена площадь сечения отверстия, в плоской стенке лабораторной установки с площадью $\Omega_{\text{л}} = 0,13 \times 0,15 = 0,0195$ (м^2): $\omega_{\text{л}} = 0,0195 \times 0,028 = 0,00056$ (м^2). Исходя из определенной площади сечения отверстия в плоской стенке и выполнения отверстия в виде квадрата, была определена сторона квадрата, а именно – $0,023$ (м).

В качестве критериев эксперимента были выбраны площадь сечения отверстия ω , м^2 и высота столба жидкости над отверстием в стенке h_1 , м, (направление от поверхности жидкости). Так как сечение отверстия выполнено в виде квадрата, то как критерий варьирования выбрана сторона квадрата a , м. Основной уровень и интервалы варьирования приведены в табл. 1, которые выбирались на основе выполненных исследований и анализа промышленных эмульсий.

Таблица 1

Основной уровень и интервалы варьирования

Уровни факторов	Факторы	
	$a, 10^{-2} \text{ м } \frac{\omega}{\Omega}, (X_1)$	$h_1, 10^{-2} \text{ м}, (X_2)$
Основной уровень	2	7,5
Интервалы варьирования	1	3,75
Верхний уровень (+1)	3	3,75
Нижний уровень (-1)	1	11,25

Результат полного факторного эксперимента типа 2^2 , реализованного в соответствии с матрицей планирования эксперимента, приведены в табл.2.

Таблица 2

Кодированные и натуральные значения факторов эксперимента

№ опыта	X_1	X_2	Натуральные значения		Y_1 10^{-3} м	Y_2 10^{-3} м	Y_2 10^{-3} м	Y 10^{-3} м	Y^2 10^{-3} м
			a	h					
1	+1	+1	3	3,75	1,3	1,5	1,4	1,4	1,54
2	-1	+1	1	3,75	1,1	1,0	1,2	1,1	1,21
3	+1	-1	3	11,25	1,8	1,7	1,9	1,8	3,24
4	-1	-1	1	11,25	0,7	0,6	0,6	0,6	0,36
Σ								3,75	6,35
0	0	0	2	7,5	0,5	0,6	0,5	0,5	

Натуральные величины факторов, при проведении эксперимента, соответственно заменены кодированными их значениями. Воспроизводимость опытов проверена путем постановки параллельных опытов на основном уровне. Воспроизводимость опытов определена по критерию Кохрена [2,3], расчетное значение которого равно

$$G_p = \frac{\max Y_i^2}{\sum_{i=1}^{n_0} Y_i^2} = \frac{3,24}{6,35} = 1,51 \quad (3)$$

Соответственно табличное значение критерия Кохрена при числе степеней свободы $f = k - 1 = 1$ и уровня значимости $\alpha = 0,05$ равно $G = 0,9985$ [2]. Так как расчетный критерий Кохрена не превышает значения табличного, то однородность дисперсий подтверждается. Следовательно, опыты считаются воспроизводимыми. Математическую модель процесса записываем в виде следующего уравнения регрессии

$$\hat{Y} = v_0 X_0 + v_1 X_1 + v_2 X_2 + v_{12} X_1 X_2 \quad (4)$$

где v_i - коэффициенты уравнения регрессии.

Математическая модель процесса приобретает следующий вид

$$\hat{Y} = 1,25 + 0,375 X_1 + 0,25 X_2 - 0,225 X_1 X_2 \quad (5)$$

Уравнение адекватно и полученный полином достоверно описывает математическую зависимость входящих в него факторов. Относительная ошибка измерений не превышает 3%, что можно считать допусти-

мым при данных исследованиях. Расчеты выполнены с помощью электронных таблиц программы Microsoft Excel.

Вывод – наименьшее значение уровня h отмечается при наименьшем размере стороны квадрата сечения в плоской стенке и наибольшей высоте столба жидкости. Необходимо определить зависимость уровня h от размещения уровня отвода жидкости из емкости ее истечения. На рис.1 представлена схема размещения отверстий в следующем эксперименте. Скорость истечения потока 1 л за 6,7 с, т.е. $0,5 \text{ м}^3$ за 1 час.

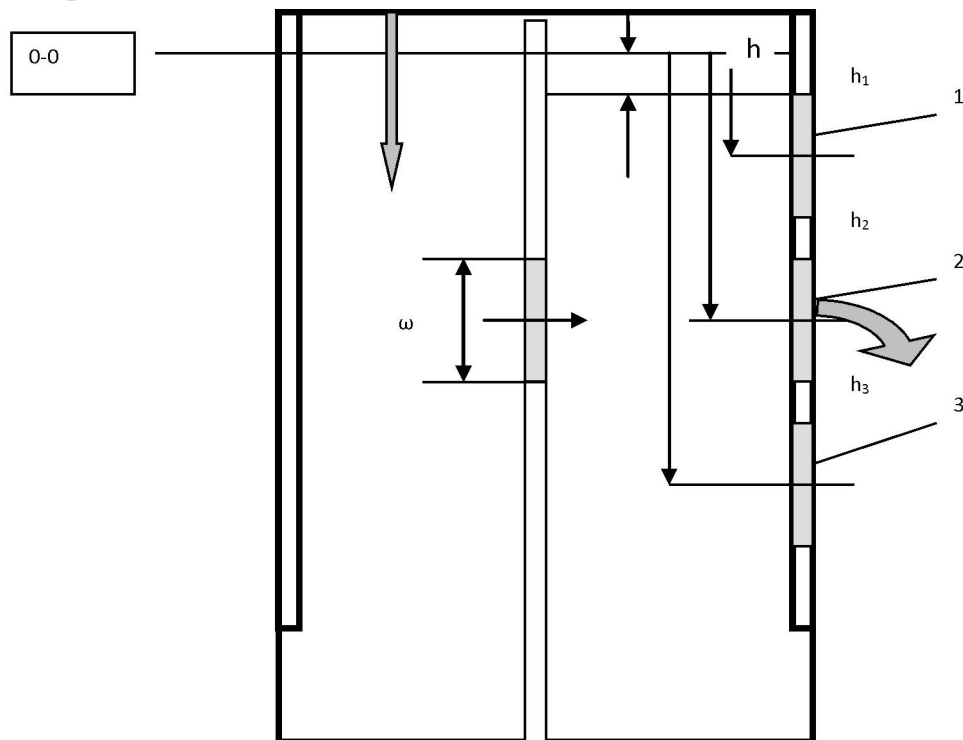


Рис. 1. Схема лабораторной установки по определению зависимости размещения отверстия истечения воды и отверстия в плоской стенке

Таблица 3

Натуральные значения факторов эксперимента по определению зависимости размещения отверстия истечения воды и отверстия в плоской стенке

№ опыта	$X \cdot 10^{-2}$ м	$Y1, 10^{-2}$ м	$Y2, 10^{-2}$ м	$Y3, 10^{-2}$ м	$Y \cdot 10^{-2}$ м	$Y^2 \cdot 10^{-4}$ м ²
1	3,75	1,1	1,2	1,3	1,2	1,44
2	7,5	2,2	2,3	2,3	2,26	5,1
3	11,25	3,1	3,2	3,31	3,2	10,24
Σ						16,78

На рис. 2 приведены результаты проведенных экспериментов в виде графических и математических зависимостей.

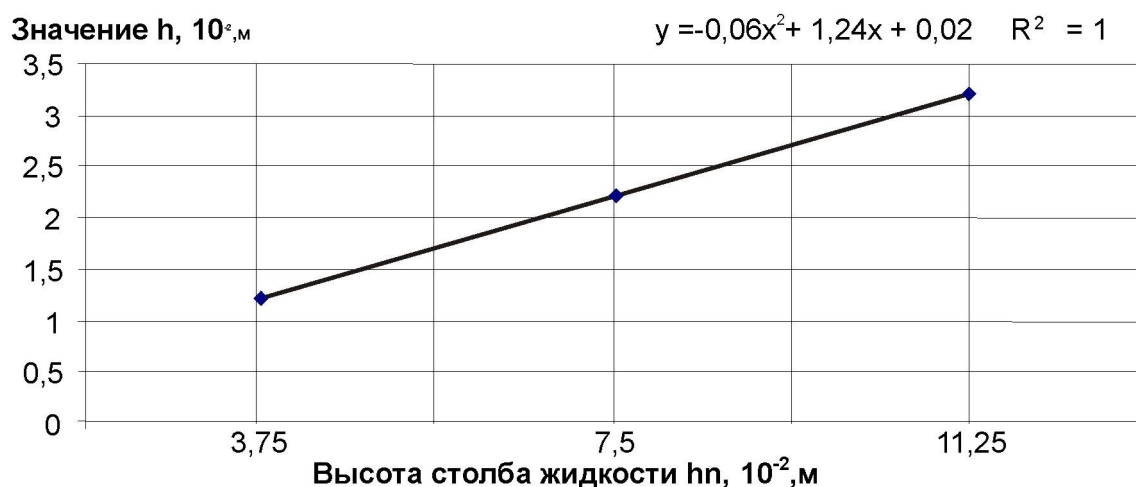


Рис. 2. Зависимость размещения отверстия истечения воды и отверстия в плоской стенке на изменение уровня жидкости в реакторной камере.

Выводы. Исходя из полученных результатов исследований, необходимо выполнять заглубление отверстия в затопленной стенке на отметке $6,6 \cdot 10^{-2}, \text{м}$, для отверстия с размером стенки в квадратном сечении $2 \cdot 10^{-2}, \text{м}$.

Общие выводы – исследованы гидродинамические параметры потока воды в емкости с установленной плоской стенкой (перегородкой) с выполненным в ней отверстием и определены варианты выполнения промышленного образца, удовлетворяющего требованиям ламинарности потока и создания условий эффективного контакта частиц для их реагирования и коагулирования в аппарате (электрокоагуляторе).

Список литературы: 1. Березуцкий В.В. Обеспечение безопасности при применении водных технологических эмульсий и растворов на производствах в металлообрабатывающих технологиях / В.В. Березуцкий – Х.: Факт, 2009 – 400 с. 2. Основы научных исследований / [Глуценко И.М., Пинскер А.Е., Полянчиков О.И., Трикила А.И.] – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 158с. 3. Бондарь А.Г. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии (алгоритмы и примеры) / Бондарь А.Г., Статюха Г.А., Протяженко И.А. – К.: Вища школа, 1980. – 264 с.

Поступила в редколлегию 22.02.12

Л.М. УЛЬЕВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
О.И. ХИМИЧ, студентка, НТУ «ХПИ»

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ПОТЕНЦИАЛ И ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДЕВОНСКОЙ НЕФТИ

У даній роботі проведено обстеження установки переробки Девонської нафти нафти АВТ 3, визначені потоки, які будуть використані під час теплової інтеграції процесу. Аналіз схеми, що існує, показав, що в даний час в теплообмінній системі установки значна частина теплової енергії передається між теплоносіями в умовах перехресного теплообміну та перенесенні теплової енергії через пінч. Для схеми, що існує та інтегрованої схеми збудовані сіткові діаграми і проведені розрахунки споживаної теплоти, за допомогою яких була визначена точка пінчу та оптимальні параметри найвигіднішої роботи схеми

В данной работе проведено обследование установки переработки девонской нефти нафти АВТ 3, определены потоки, которые будут использованы при тепловой интеграции процесса. Анализ схемы, которая существует, показал, что в настоящее время в теплообменной системе установки значительная часть тепловой энергии передается между теплоносителями в условиях перекрестного теплообмена и переносе тепловой энергии через пинч. Для схемы, которая существует и интегрированной схемы построены сетевые диаграммы и проведены расчеты потребляемой теплоты, с помощью которых была определена точка пинча и оптимальные параметры самой выгодной работы схемы

This paper examined the installation process Devonian oil AVDU 3, defined flows that will be used during the thermal integration process. Analysis of schemes that exist, showed that at present in heat-exchange system install much of the heat energy is transferred between the coolant in a cross heat exchange and heat transfer through the pinch. For schemes that exist and integrated circuits built mesh diagrams and calculations of heat consumption by means of which was determined by the pinch point and the optimum parameters of the best schemes

Постановка проблемы. Украина располагает масштабным недоиспользуемым потенциалом энергосбережения, который по способности решать проблему обеспечения экономического роста страны сопоставим с приростом производства всех первичных энергетических ресурсов. Энергоемкость украинской экономики существенно превышает в расчете по паритету покупательной способности аналогичный показатель в США, в Японии и развитых странах Европейского Союза. Для действующих предприятий нефтепереработки и нефтехимии, большинство из которых запущены в эксплуатацию в 60-70-х годах прошлого столетия, применение пинч-технологии позволяет достичь снижения потребления энергоресурсов и, соответственно, финансовых платежей за них, на 30...50%, а в ряде случаев по отдельным установкам до 70%.

Анализ последних исследований и публикаций. Нехватка энергии может стать существенным фактором сдерживания экономического роста страны. По оценке, до 2015 года темпы снижения энергоемкости при отсутствии скоординированной государственной политики по энергоэффективности могут резко замедлиться. Это может привести к еще более динамичному росту спроса на энергоресурсы внутри страны. Запасов нефти и газа в Украине не достаточно, а увеличение объемов добычи углеводородов и развитие транспортной инфраструктуры требуют значительных инвестиций [1].

Существует два пути решения возникшей проблемы: первый - крайне капиталоемкий путь наращивания добычи нефти и газа и строительства новых объектов электрогенерации; второй - существенно менее затратный, связанный с обеспечением экономического роста в стране за счет повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов. Следует отметить, что на практике необходим симбиоз первого и второго вариантов с несомненным приоритетом энергоэффективности. Пути и методы использования возможностей энергосбережения и снижения техногенной нагрузки известны, и в последние два десятилетия получили широкое распространение в индустриально развитых странах [2]. Прежде всего, это методы интеграции процессов и, в частности, метод пинч-анализа. Пинч-анализ используется для определения целевых значений стоимости энергии, которая потребляется химико-технологической системой (ХТС) и необходимых инвестиций в создание теплообменной системы, которая и выполняет энергосберегающие функции.

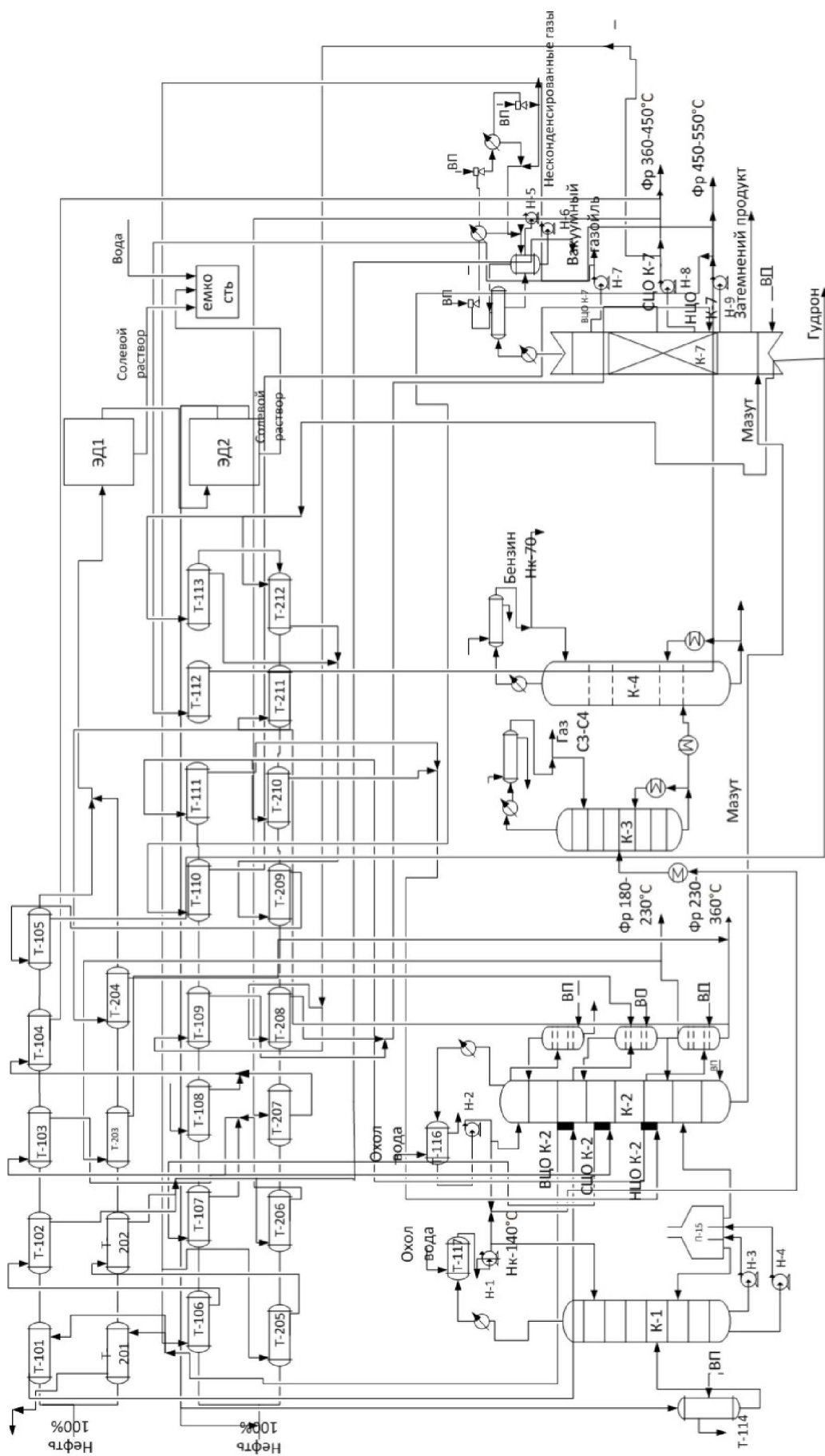
Срок окупаемости проектов по реконструкции, разработанных с использованием метода пинч-анализа, не превышает 2-х лет [3]. Применение пинч-метода позволяет добиться существенной финансовой экономии за счет минимизации использования внешних энергоносителей, как подводящих энергию, так и отводящих, путем максимального применения рекуперации теплоты в рамках рассматриваемой энерготехнологической системы. При этом данный метод позволяет минимизировать теплообменную поверхность и количество теплообменных единиц, оптимизировать перепад давления в сети и размещение силовых установок, минимизировать количество сточных вод и эмиссию углекислого газа. В

случае модернизации существующих производств, пинч-технологии позволяют максимально использовать уже установленное оборудование, но в новых рабочих сетях, что снижает инвестиции в реконструкцию.

Описание процесса перегонки нефти. Установки первичной переработки нефти составляют основу всех НПЗ (нефтеперерабатывающих заводов). На них производятся практически все компоненты топлив, смазочных масел, сырья, для вторичных процессов и для нефтехимических производств [4, 5]. От работы АВТ (атмосферно-вакуумной трубчатки) зависят выход и качество компонентов топлив и смазочных масел, а также технико-экономический показатель последующих процессов переработки нефтяного сырья. Проблемам повышения эффективности работы и интенсификации установок АВТ всегда уделяется особое внимание. Функциональной единицей НПЗ является технологическая установка – производственный объект с набором оборудования, что позволяет осуществить полный цикл того или другого технологического процесса [6-9]. Сырая нефть содержит соли, которые вызывают сильную коррозию технологического оборудования. Для их удаления нефть, которая поступает из сырьевых емкостей, смешивается с водой, в которой соли растворяются, и поступает на ЭЛОУ – электрообессоливающую установку. Процесс обессоливания осуществляется в электродегидраторах – цилиндрических аппаратах со смонтированными внутри электродами [10]. Под воздействием тока высокого напряжения (25 кВт и больше), смесь воды и нефти (эмульсия) разрушается, вода собирается внизу аппарата и откачивается.

Обессоленная нефть из ЭЛОУ поступает на установку атмосферно-вакуумной перегонки нефти, которая на НПЗ обозначается аббревиатурой АВТ, – атмосферно-вакуумная трубчатка. Такое название обусловлено тем, что нагрев сырья перед разделением его на фракции, осуществляется в змеевиках трубчатых печей за счет тепла сжигания топлива и тепла дымовых газов. АВТ разделена на три блока – атмосферный, вакуумный и блок стабилизации бензина.

Атмосферная перегонка предназначена для отбора светлых нефтяных фракций – бензиновой, газовой и дизельной, таких, которые выкипают до 360 °С, потенциальный выход которых составляет 45-60 % на нефть. Остаток атмосферной перегонки – мазут.



ЭД1, ЭД2 - электродегидраторы; Т - кожухотрубный теплообменный аппарат; Н - насос; К-1 - отбензинивающая колонна; К-2, К-3, К-4 - тарелчатая колонна; К-7 - насадочная колонна под давлением выше атмосферного; ВП - вторичный пар; Охл вода - охлаждающая вода;

Рис. 1. Схема установки первичной переработки нефти

Вакуумная перегонка предназначена для отбора из мазута масляных дистиллятов на НПЗ топливно-масляного профиля, или широкой масляной фракции (вакуумного газойля), на НПЗ топливного профиля. Остатком вакуумной перегонки является гудрон.

Обычно в бензиновой фракции, получаемой на АВТ содержатся растворенные газы. Поэтому ее поддают физической стабилизации в ректификационной колонне. Качество стабильного бензина контролируют по содержанию в нем суммы изобутана и н-бутана.

Вся установка очень большая (рис.1), потому для интеграции было взято лишь её часть. А именно: схема рекуперации тепловой энергии, подогрев нефти после электродегидраторов, подогрев низа основной колонны К-2 и охлаждение паров колонн К-1, К-2.

Экстракция технологических данных. В данной работе анализируется энергопотребление на установке первичной переработки Девонской нефти АВТ 3. Сбор данных, необходимых для расчета материального и теплового балансов, осуществлялся путем прямых измерений температур и расходов потоков на оборудовании с помощью расходомеров, стационарных и переносных термометров. В ходе такого обследования установки были получены данные, приведенные ниже. Для интеграции была рассмотренная часть установки, которая включает 16 потоков.

Сырая нефть. Направляется из сырьевых резервуаров через группу теплообменников на обессоливание. $T_{нач}=10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=113.5^{\circ}\text{C}$, расход - 99,2 кг/ч.

Обессоленная нефть. Направляется из электродегидраторов через группу теплообменников в колонну К-1. $T_{нач}=105^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=320^{\circ}\text{C}$, расход – 91,53 кг/ч.

Пары верха колонны К-1. $T_{нач}=160^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=80^{\circ}\text{C}$, расход- 9,15 кг/ч.

Пары верха колонны К-2. $T_{нач}=150^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=70^{\circ}\text{C}$, расход- 13,73 кг/ч.

ВЦО К-2. $T_{нач}=150^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=50^{\circ}\text{C}$, расход- 4,56 кг/ч.

ВЦО К-7. $T_{нач}=170^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=70^{\circ}\text{C}$, расход- 2,8 кг/ч.

СЦО К-2. $T_{нач}=220^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=120^{\circ}\text{C}$, расход- 5,85 кг/ч.

СЦО К-7. $T_{нач}=270^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=180^{\circ}\text{C}$, расход- 12,4 кг/ч.

НЦО К-2. $T_{нач}=320^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=225^{\circ}\text{C}$, расход-16,01 кг/ч.

НЦО К-7. $T_{нач}=330^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=230^{\circ}\text{C}$, расход- 10,45 кг/ч.

Гудрон $> 550^{\circ}\text{C}$. Продукт К-7. $T_{нач}=340^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=160^{\circ}\text{C}$, расход- 37,24 кг/ч.

Фракция 180-230°C. Выходит боковым продуктом в жидком виде из колонны К-2. Используется как компонент летнего дизельного топлива. $T_{\text{поч}}=200^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кин}}=65^{\circ}\text{C}$, расход – 5,85 кг/ч.

Фракция 230-360°C. Выходит боковым продуктом в жидком виде из колонны К-2. Используется как компонент летнего дизельного топлива. $T_{\text{уфх}}=320^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кжу}}=110^{\circ}\text{C}$, расход – 16,01 кг/ч.

Фракция 360-450°C. Продукт К-7. $T_{\text{нач}}=260^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кон}}=100^{\circ}\text{C}$, расход – 12,40 кг/ч.

Фракция (Фр.) 450-550°C. Продукт К-7. $T_{\text{нач}}=320^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кон}}=100^{\circ}\text{C}$, расход – 12,40 кг/ч.

Определение энергосберегающего потенциала для существующего процесса. Используя результаты изучения технологической схемы, регламента, материальный баланс установки, составляется таблица 1 потоковых данных.

Таблица 1

Система потоков для анализа энергопотребления установки переработки Девонской нефти

Название потока	Тип	T_s , °C	T_t , °C	M, кг/с	C_p , кДж/(кг·K)	CP , кВт/K	ΔH , кВт	α , кВт/(м ² ·K)
ВЦО К-2 10%	г	150	50	4,56	4,57	20,832	20832	0,5
ВЦО К-7 21,5%	г	170	70	2,8	6,9	19,331	1933,1	0,5
СЦО К-2	г	220	120	5,85	14,15	82,77	8277	0,5
СЦО К-7	г	270	180	12,4	5	61,99	5579	0,5
НЦО К-2	г	320	225	16,01	3,74	59,96	5696	0,5
НЦО К-7	г	330	230	10,45	1,97	20,62	2062	0,5
Гудрон >550°C	г	340	160	37,24	2,7	100,55	18099	0,2
Фр. 180-230°C	г	200	65	5,85	2,1	12,34	1666	0,5
Фр. 230-360°C	г	320	110	16,01	3,97	63,61	13358	0,4
Фр. 360-450°C	г	260	100	12,4	4,56	56,51	9041	0,4
Фр. 450-550°C	г	320	240	10,46	1,88	19,7	1576	0,3
Пары верха К-1	г	160	80	9,15	2,5	22,88	1830	0,7
Пары верха К-2	г	150	70	13,73	2,5	34,32	2746	0,7
Нефть до ЭД	х	10	113,5	99,2	2,1	208,32	21561	0,3
Нефть после ЭД	х	105	320	91,53	2,65	242,55	54574	0,3
Питание К-2	х	320	380	83,85	2,9	243,16	14590	0,6

В целом, в распоряжении есть 13 горячих технологических потоков и 3 холодных потоков с определенными поточными данными. Используя

возможно отвести от системы горячих потоков и использовать для подогрева холодных технологических потоков.

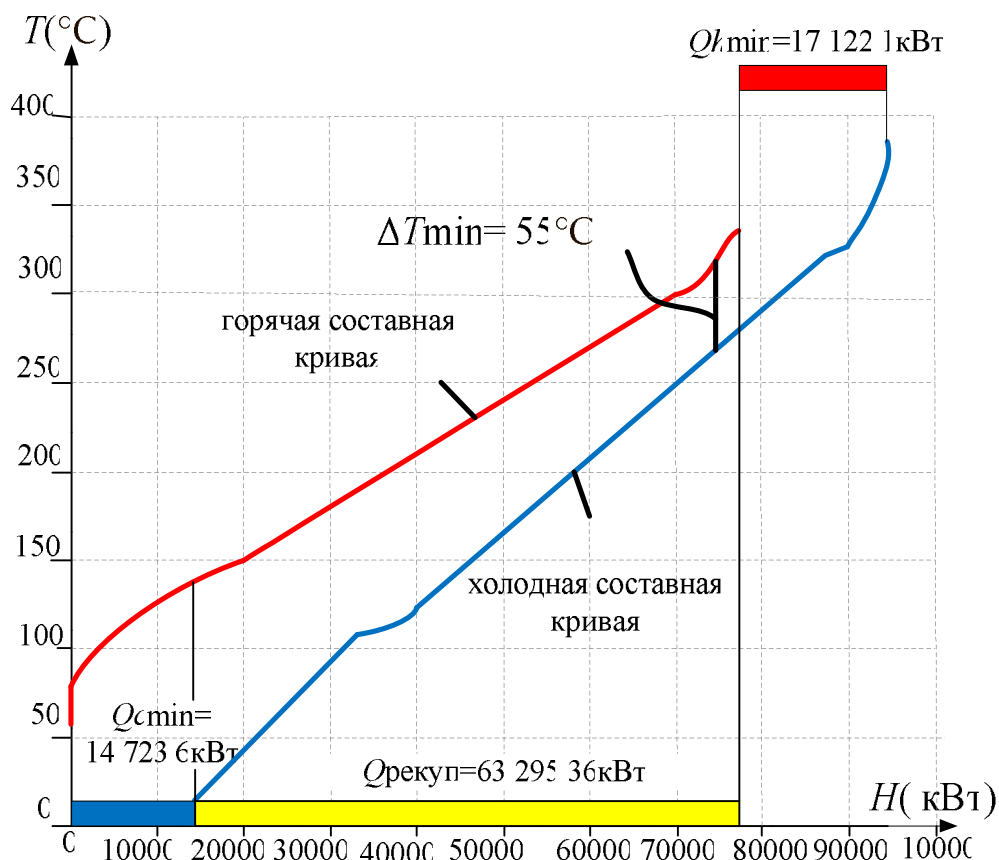


Рис. 3. Составные кривые для существующего процесса переработки нефти

Эта величина составляет 17122,1 кВт. Аналогично, проекция холодной составленной кривой на энтальпийную ось показывает значение мощности, которую необходимо подвести к холодным потокам, она составляет 14 723,6 кВт. Величину рекуперации энергии показывает зона перекрытия кривых. Это значение на диаграмме кривых составляет 63 295,36 кВт. Наименьшее расстояние между кривыми на оси ординат (температурная ось) называется областью пинча выбранной системы технологических потоков. В данном случае пинч локализуется на температурах: $T_{\text{гор}} = 320^{\circ}\text{C}$ и $T_{\text{хол}} = 265^{\circ}\text{C}$. Разница температур в области пинча равна 55°C . Эта разница была бы минимальной между теплоносителями в теплообменном оборудовании, если бы выполнялись условия вертикального теплообмена. Однако в данной теплообменной системе значительная часть тепловой энергии передается в условиях перекрестного теплообмена и при переносе тепловой энергии через пинч. Из-за

этого не может быть обеспечено достижение целевых энергетических значения. На рис. 4 показана сеточная диаграмма для процесса с нанесенной линией пинча.

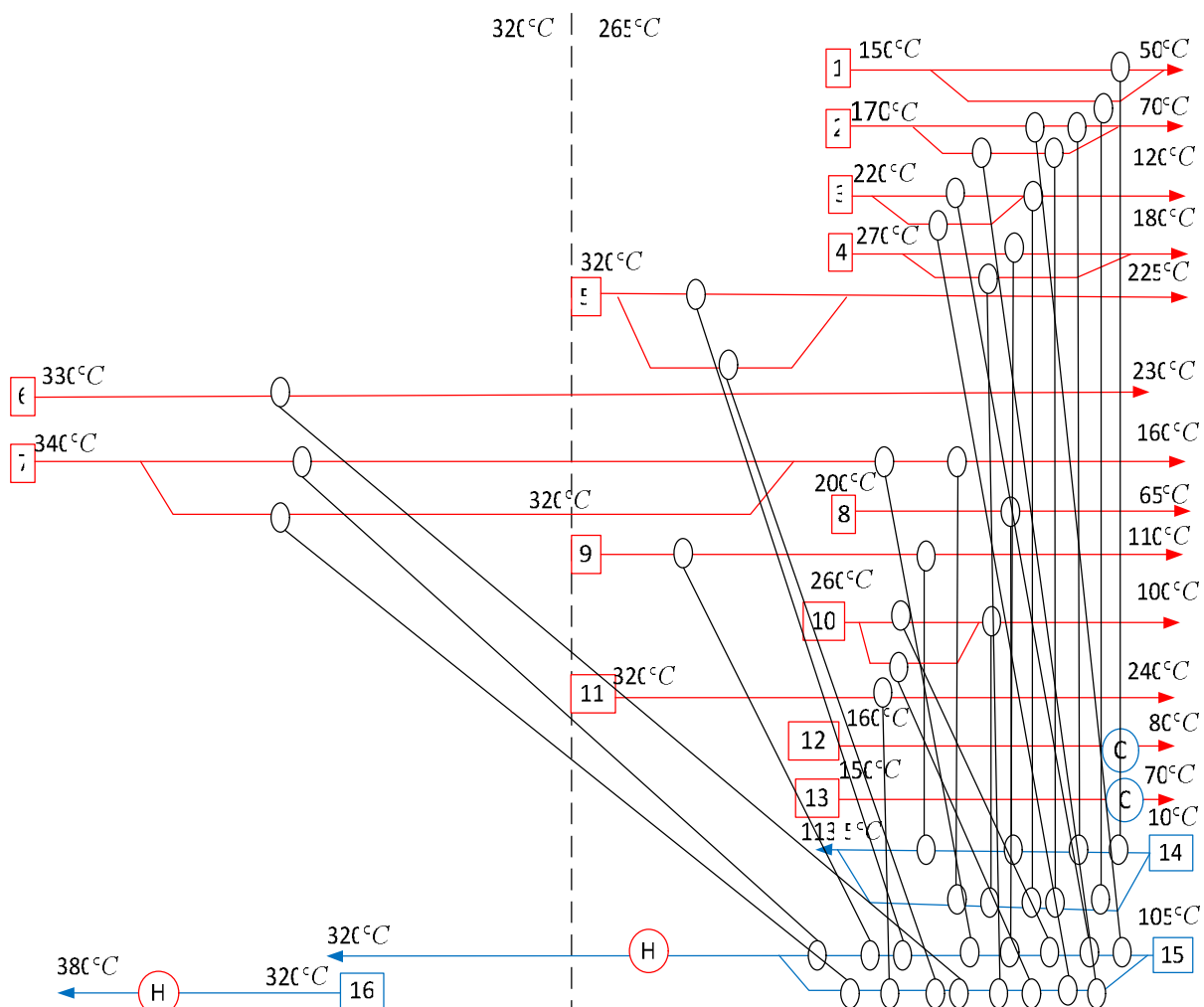


Рис. 4. Сеточная диаграмма с нанесенной линией пинча: 1-13 – горячие потоки, 14-16 – холодные потоки

Используя данные из табл. 1 и сеточной диаграммы, строим на энтальпийно-температурной диаграмме горячую и холодную составляющие данной системы технологических потоков для $\Delta T_{\min} = 8$, (именно такую разницу температур мы выбираем с помощью программы Hint, которая выбирает наиболее рациональное значение). Для этого сдвигаем полученные составные кривые таким образом, чтобы интервал $\Delta T_{\min} = 8$ (рис. 5).

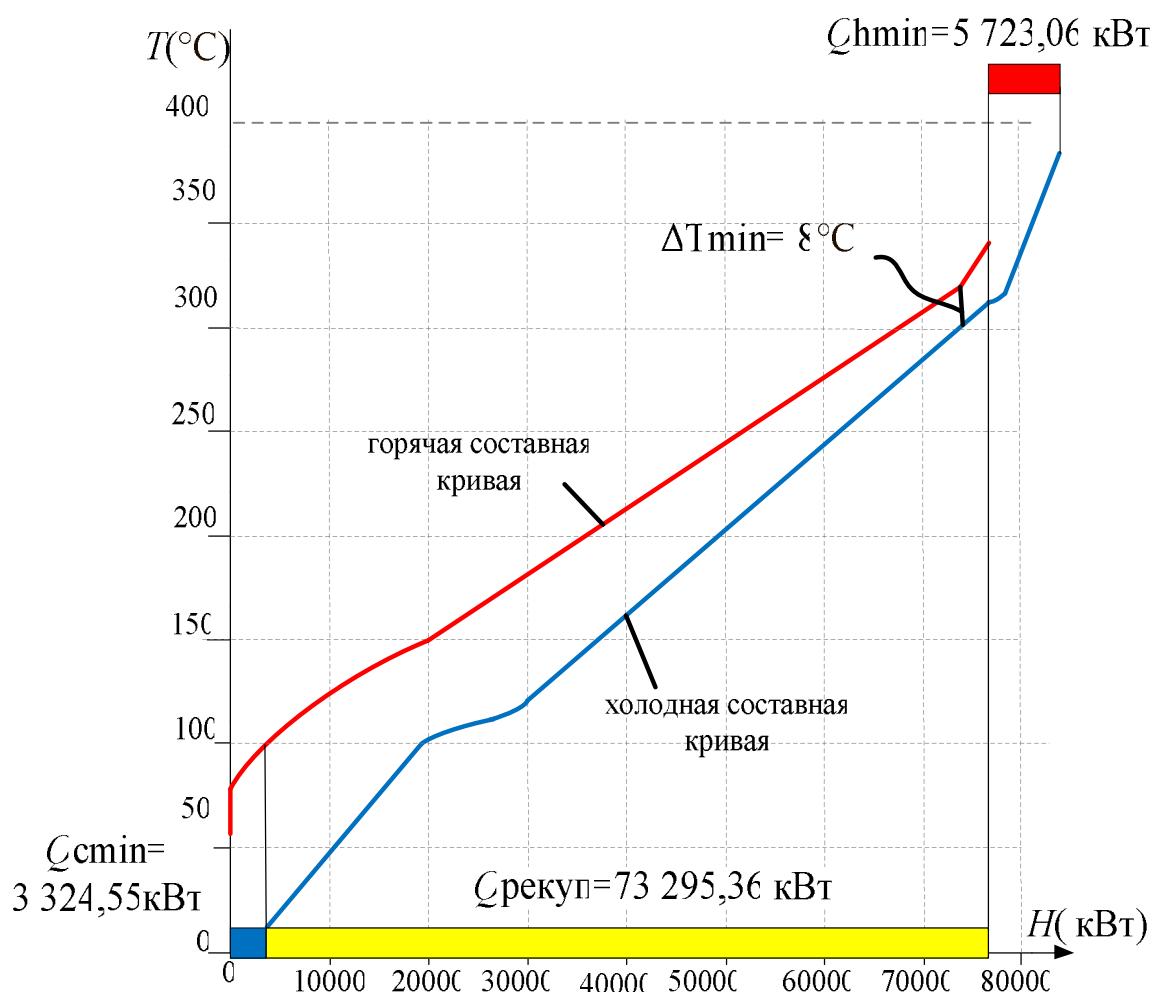


Рис. 5. Составные кривые, построенные для $\Delta T_{\min} = 8^{\circ}\text{C}$

Составные кривые содержат большой объем информации о системе технологических потоков, утилитной системе и эффективности использования тепловой энергии, в процессе. Проекция горячей составляющей кривой на энтальпийную ось (абсцисс) показывает значение тепловой мощности, которую возможно отвести от системы горячих потоков и использовать для подогрева холодных технологических потоков. Эта величина составляет значение $5\,723,06 \text{ кВт}$. Проекция холодной составленной кривой на энтальпийную ось показывает значение мощности, которую необходимо подвести к холодным потокам для выполнения процесса первичной переработки нефти на установке АВТ 3, она составляет $3\,324,55 \text{ кВт}$.

Пинч локализуется на температурах: $T_{гор} = 320^{\circ}\text{C}$ и $T_{хол} = 312^{\circ}\text{C}$. Горячие утилиты уменьшаются приблизительно на 11 399,04 кВт, а холодные – на 11 399,05 кВт.

Используя полученные данные, строим новую сеточную диаграмму (рис. 6). При проектировании новой схемы, необходимо придерживаться CP , N и ΔT_{min} правил, а также запретить перенос теплоты через пинч.

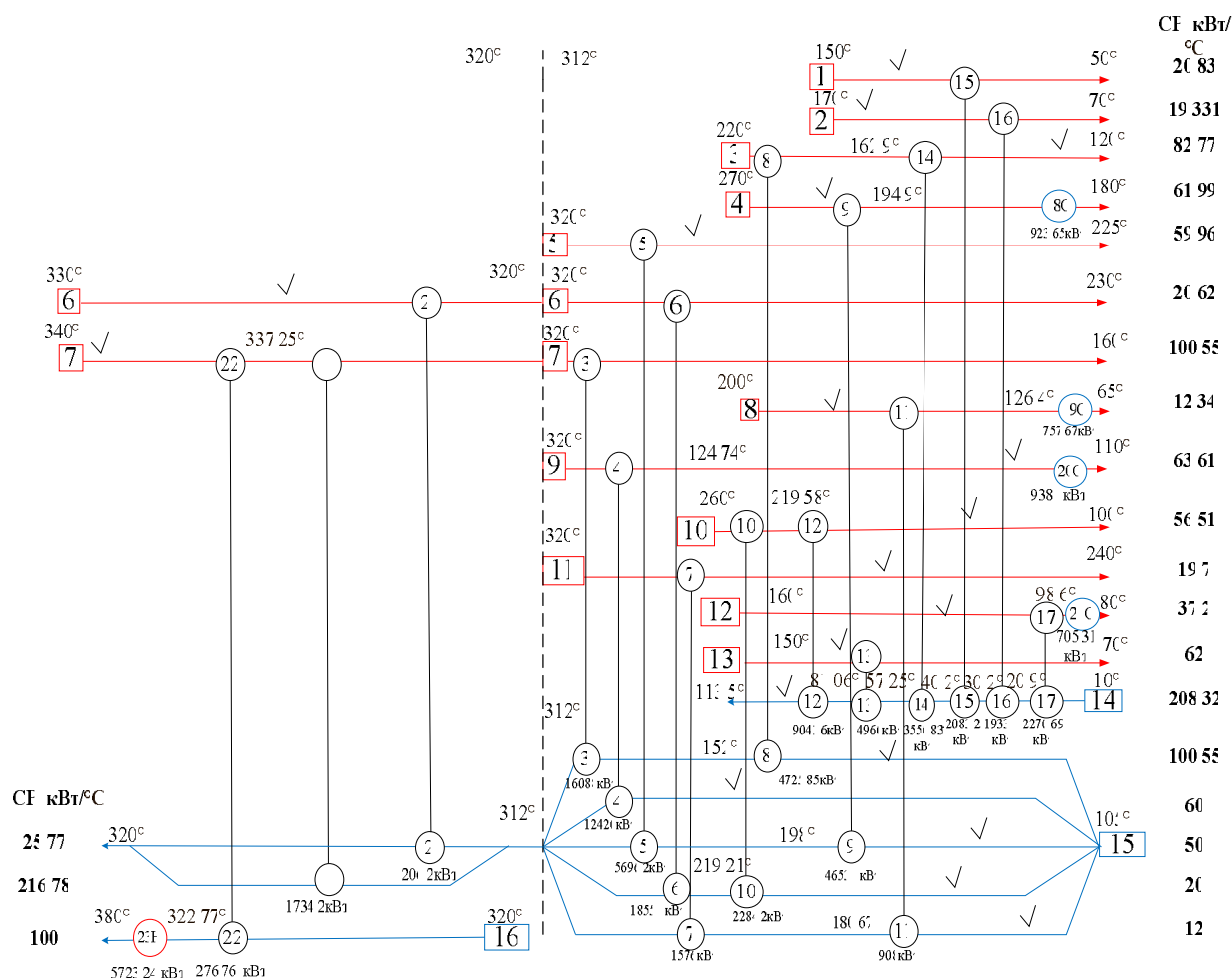
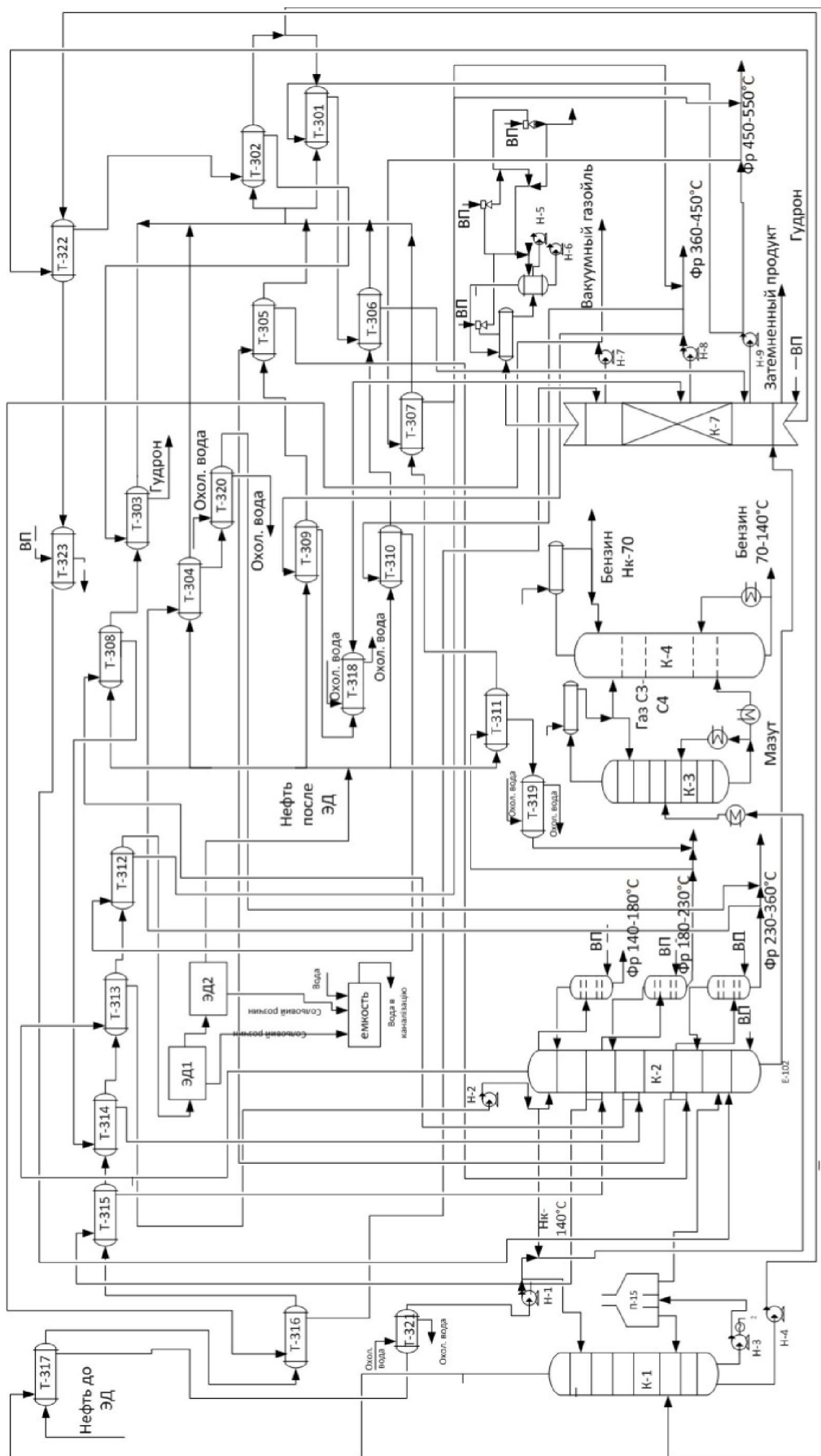


Рис. 6. Сеточная диаграмма для интегрированного процесса: 1-13 – горячие потоки, 14-16 – холодные потоки, CP - потоковая теплоемкость

Благодаря расчету пинча и построению диаграммы составных кривых процесса можно создать проект реконструкции установки и переоборудовать схему первичной переработки Девонской нефти на установке АВТ 3, как показано на рис 7.



ЭД1, ЭД2 - электродегидраторы; Т - кожухотрубный теплообменный аппарат; Н - насос; П - печь; К-1 – отбензинивающая колонна; К-2, К-3, К-4 – тарелчатая колонна; К-7 – насадочная колонна под давлением выше атмосферного; ВП – вторичный пар; Охл. вода – охлаждающая вода;

Рис. 7. Схема реконструкции установки первичной переработки нефти

Выводы. В результате обследования процесса первичной переработки Девонской нефти были выявлены недостатки существующей теплообменной системы, которые приводят к увеличению энергопотребления. На основе расчетов составлена принципиальная энерготехнологическая схема проекта реконструкции, внедрение которой позволит снизить удельное энергопотребление горячих утилит на 11399,04 кВт, а холодных – на 11399,05 кВт, что составляет 65,58% за горячими утилитами и 77,42 % за холодными утилитами. Согласно экономическим расчетам, потенциал энергосбережения составляет 12361609,7 грн на год. Срок окупаемости предложенного проекта реконструкции составит приблизительно 1 год.

Список литературы: 1. Сайт энергосберегающих технологий [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://energo.kiev.ua/> . 2. Методичні вказівки для вивчення учбових матеріалів по розділу «Пінч-аналіз» за курсом «Вступ до спеціальності» для студентів хіміко-технологічних спеціальностей усіх форм навчання / Товажнянський Л.Л., Ульянов Л.М. – Х: НТУ «ХПІ», 2010. – 40 с. 3. Сайт аудиторско-консалтинговой группы «СВ-Аудит» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.sv-audit.ru/services/energy/3/>. 4. Plesu V. Catalytic, reforming plant simulation for energy saving and rational use of hydrogen / Plesu V., Baetens D., Bumbac G. // 1st Conference on process integration, modeling and optimization for energy saving and pollution reduction. PRES'01. Chemical engineering translations, 2001. – Vol. 2. – p. 489-492. 5. Мановян А.К. Технология первичной переработки нефти и природного газа / А.К. Мановян. – М.: Химия, 2001. – 569 с. 6. Tovazshneanski L.L. Energy Integration of the Early Crude Oil Unit with Take Into Different regime / L.L. Tovazshneanski, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev, S.A. Boldyryev, M.V. Tarnovsky // Chemical Engineering Transaction. – 2005 – Vol. 7. – p. 103–108. 7. Товажнянський Л.Л. Повышение энергетической эффективности установки первичной переработки нефти с помощью методов Пинч-анализа / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульянов, Б.Д. Зулин // Междунар. конф. «Математические методы в химии и химической технологии», ММХ-9. Сборник тезисов. Часть 2. Тверь. – 1995. – с. 27-28. 8. Клемеш Й. Применение методов пинч-анализа для реконструкции тепловой сети установок первичной переработки нефти / Й.Клемеш, Л.Л. Товажнянский, Н.Д. Андрийчук, П.А. Капустенко, Л.М. Ульянов, А.Ю. Перевертайленко, Б.Д. Зулин // Третя міжнародна виставка-конф. «Енергозберегаюча техніка і технології» («ЕТТ/Київ-96»). Тези доп. конф.: К. 18-20 квітня 1996 р. / К. – 1996. – с. 31. 9. Товажнянский Л.Л. Построение составных кривых технологических процессов для определения энергетической эффективности различных предприятий / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульянов, Б.Д. Зулин, Н.Д. Андрийчук // Материалы междунар. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье», microCAD'96. Ч. 1. Х. – 1996. – с. 179. 10. Вержичинская С.В. Химия и технология нефти и газа / С.В. Вержичинская, С.А. Сеницин. – «Форум», 2009. – с. 130-131. 11. Товажнянский Л.Л. Интеграция теплоэнергетических процессов в промышленности / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульянов // Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики. XIII конф. стран СНГ с международным участием. Труды конф. Севастополь. 14–18 июля 2003, К. – 2003. – с. 116–120. 12. Товажнянский Л.Л. Теплоэнергетическая интеграция установки первичной переработки нефти АВТ А12/2 при работе с вакуумным блоком в зимнее время / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульянов, С.А. Болдырев // Інтегровані технології та енергозбереження. 2005. – № 2. – с. 3–11. 13. Товажнянский Л.Л. Теплоэнергетическая интеграция установки первичной переработки нефти АВТ А12/2 при работе в летнее время / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульянов, С.А. Болдырев, М.В. Тарновский // Інтегровані технології та енергозбереження. 2006. – № 2. – с. 12–20.

Поступила в редколлегию 22.02.12

И.А. ТЕЛЬНОВ, студент, НТУ «ХПИ»,
С.И. ЗАВИНСКИЙ, студент, НТУ «ХПИ»,
А.Г. ТРОШИН, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»,
В.Ф. МОИСЕЕВ, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СУШКИ ОПИЛОК И СТРУЖКИ В ИНТЕНСИВНОМ РЕЖИМЕ

У статті було досліджено кінетику сушіння стружки як сировини для виробництва паливних брикетів. Одержані оптимальні температури сушіння матеріалу з різним фракційним складом, залежності кінцевої вологості сировини від часу сушіння та вплив фракційного складу на процес сушіння. Встановлено характеристики сушильного обладнання, яке є оптимальним для технології виготовлення паливних брикетів

В статье была исследована кинетика сушки стружки как сырья для производства топливных брикетов. Получены оптимальные температуры сушки материала с разным фракционным составом, зависимости конечной влажности сырья от времени сушки и влияние фракционного состава на процесс сушки. Установлены характеристики сушильного оборудования, которые являются оптимальными для технологии изготовления топливных брикетов

This article presents a research of the drying kinetic of wood cuttings as a raw material for production of the fuel briquettes. The optimal temperature of material drying was got, raw material's final moisture was shown as a function of drying time and an influence of the fractional structure on the drying process was shown. The optimal characteristics of drying equipment for technology of production of the fuel briquettes were determined

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями. Производство твердого биотоплива в виде брикетов из лигниносодержащих отходов в сельскохозяйственной и деревообрабатывающей промышленности все чаще привлекает интерес представителей мелкого и среднего бизнеса. Такое производство при относительно небольших капитальных затратах позволяет изготавливать прибыльный продукт из сырья, ранее не имевшее никакой ценности и которое попросту выбрасывалось. Однако существует ряд проблем, которые не позволяют активно развиваться этому направлению. Проведенный анализ существующего оборудования показывает, что на этапе сушки и дробления сырья практически отсутствует эффективное малога-

баритное оборудование, отвечающее современным технологическим и экономическим требованиям [1]. При этом становится ясным то, что ориентироваться при проектировании нового оборудования следует на аппараты с механической активацией сырья, такие как устройства активаторно-вихревого типа АС-3 и «Диспергатор» [2]. Однако для этих аппаратов кинетика сушки не исследовалась, а эмпирические данные и эксплуатационный опыт крайне мал в виду малой распространенности таких аппаратов. На сегодняшний день распространенными аппаратами для сушки опилок и стружки являются барабанные сушилки. По кинетике сушки в таких аппаратах имеются некоторые данные, однако процессы там не такие интенсивные, что не позволяет их использование.

Цели и задачи. В качестве основного сырья при производстве топливных брикетов используется древесная стружка и опилки. Исходя из этого, целью данной работы является исследование кинетики сушки такого сырья в интенсивном режиме. Для результативного и полного исследования поставлены следующие задачи:

- разработать экспериментальную установку, позволяющую исследовать процессы сушки опилок и стружки в интенсивном режиме.
- определить оптимальную температуру сушки для интенсивного режима (максимальную температуру сушки, при которой в сырье не происходит химического разложения).
- определить влияние фракционного состава сырья на кинетику сушки в интенсивном режиме.
- определить время сушки (нахождения сырья в аппарате) опилок и стружки до конечной влажности, отвечающей требованиям технологического процесса.

Методика исследования. Для эксперимента была выбрана схема, при которой увлажненная стружка продувалась горячим потоком воздуха со скоростью 2,5 – 4,6 м/с, что приближенно моделирует конвективную сушку в аппаратах активаторно-вихревого типа (рис. 1). Для реализации такого процесса был применен калорифер, закрепленный на штативе над сушильной камерой, в которой находится увлажненная стружка. Сушильная камера представляет собой жестяной цилиндр диаметром 52 мм. Отверстия цилиндра закрываются латунной сеткой с квадратным ячейками 80 мкм и закрепляются хомутами на цилиндре. Расстоянием от

сопла калорифера до сушильной камеры дополнительно регулируется температура. Калорифер работает в двух режимах. В первом режиме дает поток воздуха 300 л/мин с температурой 300 °С, во втором – 550 л/мин и 500 °С соответственно. Температура замеряется термопарами с преобразователем внутри сушильной камеры и под ней.

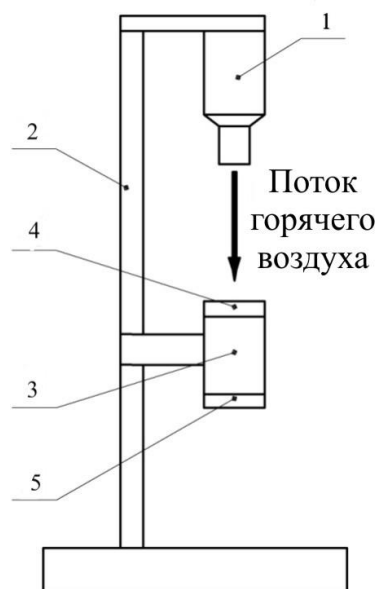


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – калорифер; 2 – штатив; 3 – сушильная камера; 4, 5 – латунная сетка, закрепленная хомутами.

Измерение начальной влажности стружки осуществляется с помощью влагомера RASWAG WPS-210s.

Масса стружки до и после сушки измеряется с помощью весов. Для проведения эксперимента применяется стружка фракцией 1 – 3 мм с начальной влажностью 80 % отнесенной ко всей массе сырья, а также стружка фракцией 0,1 – 1 мм с начальной влажностью 49 % отнесенной ко всей массе сырья. В сушильную камеру помещается 2 – 2,5 г сырья и измеряется ее начальная масса вместе с сушильной камерой. После производится сушка при заданном температурном режиме и выбранном времени. Затем сушильная камера взвешивается и очищается. При этом обращается внимание на состояние высушенной стружки. Для чистоты эксперимента взвешивание массы сушильной камеры производилось перед каждым опытом. Также после опыта измеряется конечная влажность стружки на влагомере для подтверждения аналитических вычислений. Конечная влажность стружки определялась по следующей формуле:

$$w_{кон} = 100\% - \left(\left(\frac{m_1 - m_{тары}}{m_2 - m_{тары}} \right) \times (100\% - w_{нач}) \right), \% \quad (1)$$

где $w_{кон}$ – конечная влажность стружки, %; $w_{нач}$ – начальная влажность стружки, %; m_1 – масса брутто (сушильная камера и увлажненная стружка), кг; m_2 – масса брутто после сушки, кг; $m_{тары}$ – масса сушильной камеры, кг.

По полученным значениям конечной влажности строится график зависимости конечной влажности стружки от времени сушки $w_{нач}(\tau)$. Полученные кривые соответствуют теоретической кривой сушки материала для обеих фракций. На полученных графиках выделяется участок кривой, характеризующийся падающей скоростью сушки, что соответствует второму периоду сушки. Такая кривая в общем случае выглядит как два отрезка разной кривизны и в конце асимптотически приближается к равновесной влажности w^* [3]. Выделенный участок аппроксимируется функцией вида [3]:

$$\frac{w(\tau) - w^*}{w_{кр1} - w^*} = e^{-K(\tau_{общ} - \tau_2)}, \quad (2)$$

где: w^* – равновесная влажность, %; $w_{кр1}$ – первая критическая влажность, соответствует влажности начала второго периода, %; K – коэффициенты скорости сушки, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кг/кг}$; $\tau_{общ}$ – общее время сушки, с; τ_2 – время до начала второго периода, с. Приняв, что $w^* = 0$, из уравнения 2 получим:

$$w(\tau) = e^{-K(\tau_{общ} - \tau_2)} \times (w_{кр1} - w^*) - w^*, \% \quad (3)$$

При этом параметр функции K определяется по методу наименьших квадратов. Вычисления проводятся в MS Excel с помощью функции «Поиск решения».

Результаты эксперимента и его обсуждение. По полученным данным в ходе эксперимента была определена оптимальная температура сушки стружки в интенсивном режиме для обеих фракции, которая составляет порядка 270 – 290⁰С. При большей температуре материал начинает тлеть. При этом стружка фракцией 1 – 3 мм темнеет на поверхности, но в середине остается влажной. Стружка фракцией 0,1 – 1 мм тлеет и даже сгорает. Температура ниже 270⁰С слишком увеличивает время суш-

ки. Поэтому эксперимент проводился в диапазоне 270 – 290 °С. Полученные графики имеют вид (рис. 2 и рис. 3):

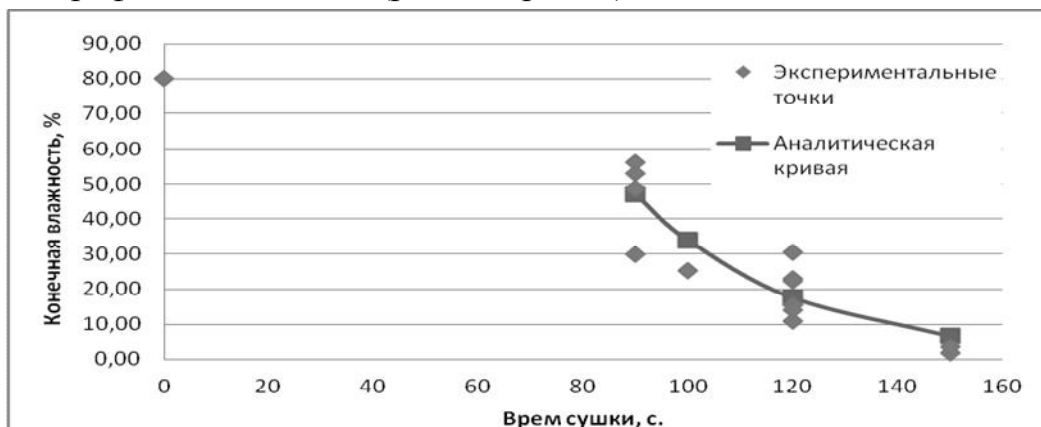


Рис. 2. Второй период кривой сушки стружки фракцией 1 – 3 мм

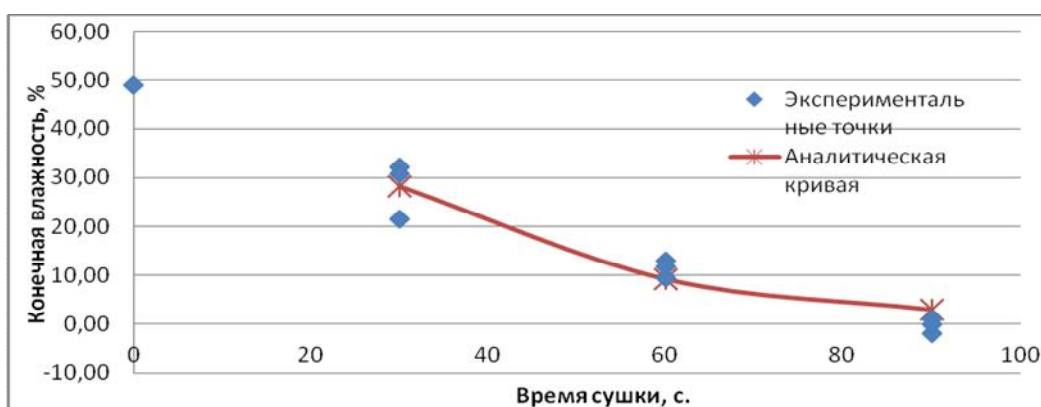


Рис. 3. Второй период кривой сушки стружки фракцией 0,1 – 1 мм

Полученные зависимости описывают кривые сушки с точностью до 8 %. Учитывая разную начальную влажность двух фракционных составов стружки видно, что кривые сушки второго периода схожи на обоих графиках. Это и подтверждают значения коэффициентов скорости сушки, $K_1 \approx K_2$. Такие значения обусловлены тем, что во втором периоде скорость сушки определяется структурой материала и его влагонепроводностью, которые при таких фракционных составах практически одинаковы. Также на графиках можно увидеть экспериментальные точки, находящиеся ниже нуля по оси конечной влажности. Это обусловлено тем, что длительность второго периода сушки 60 с и более ($\tau_{общ} - \tau_2$) для обеих фракций, приводит к потере веса не только за счет потери влажности, но и за счет разложения сырья, что ограничивает

время нахождения стружки в аппарате. Параметры аппроксимирующей функции (3) получены следующие и описаны в таблице.

Таблица

Параметры функции (3)

Фракция 0,1 – 1 мм	Фракция 1 – 3 мм
$K=0.37$	$K=0.33$
$w_{кр1} \approx 47 \%$	$w_{кр1} \approx 28 \%$
$w^* = 0\%$	$w^* = 0 \%$
$\tau_2 = 30 \text{ с}$	$\tau_2 = 90 \text{ с}$
$\tau_{общ} = 90 \text{ с}$	$\tau_{общ} = 150 \text{ с}$

Для стружки фракцией 1 – 3 мм длительность сушки до необходимой согласно технологии конечной влажности 10 % с начальной влажностью 80 % должна составлять порядка 120 с. Для фракции 0,1 – 1 мм с начальной влажностью 49 % длительность сушки до конечной влажности 10 % составляет 90 с.

Выводы по данному исследованию и перспектив дальнейшего развития данного направления. После проведения эксперимента и обработки полученных данных были решены поставленные задачи и исследована кинетика сушки стружки в интенсивном режиме. Согласно результатам, для однородной и эффективной сушки сырье должно быть измельченным и классифицированным перед поступлением в аппарат. Однако сырье в качестве опилок и стружки разных сельскохозяйственных и деревообрабатывающих предприятий не монодисперсное. Поэтому в разрабатываемых сушильных аппаратах активаторно-вихревого типа должно происходить доизмельчение сырья до фракции 0,5 – 1,5 мм и его классификация, что обеспечит задержание в аппарате крупных и влажных частиц и одновременный отвод из него сухих и измельченных частиц.

Список литературы: 1. Гомонай, В. М. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы / Гомонай, В. М.; учеб. Пособие. – ГОУ МИО МГУЛ, 2006. – 68 с. 2. Трошин А. Г., Моисеев В. Ф., Тельнов И. А., Завинский С. И. Развитие процессов и оборудования для производства топливных брикетов из биомассы // Восточно – Европейский журнал передовых технологий . – 2010. – № 3/8 (45). – С. 36 – 40. 3. Процессы и аппараты химической технологии [Текст] : учебник : в 2-х ч. / Л. Л. Товажнянский [и др.] ; ред. Л. Л. Товажнянский. Ч. 2. – Х. : НТУ «ХПИ», 2005. – 532 с.

Поступила в редколлегию 23.03.12

С.И. ЗАВИНСКИЙ, студент, НТУ «ХПИ»,
И.А. ТЕЛЬНОВ, студент, НТУ «ХПИ»,
А.Г. ТРОШИН, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»,
В.Ф. МОИСЕЕВ, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА СВОЙСТВА БРИКЕТОВ ИЗ ДРЕВЕСНОЙ СТРУЖКИ

Вивчено вплив тиску і температури пресування на густину і розширення при зберіганні паливних брикетів з деревини. Визначено оптимальні технологічні параметри процесу пресування для отримання брикетів з високими експлуатаційними властивостями. Встановлено, що пресування при більш високих температурах покращує фізико-механічні характеристики брикету

Изучено влияния давления и температуры прессования на плотность и расширение при хранении древесных топливных брикетов. Определены оптимальные технологические параметры процесса прессования для получения древесных брикетов с высокими эксплуатационными качествами. Установлено, что прессование при более высоких температурах улучшает физико-механические характеристики брикетов

It is studied influences of pressure and pressing temperature on density and expansion by storage of wood fuel briquettes. Optimal technological parameters of pressing process for reception of wood briquettes with high exploitation quality are defined. It is established that pressing at more high temperatures improves the physical-mechanical characteristics of briquettes

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научно-практическими заданиями. В настоящее время в мире все большее внимание уделяется повышению экологической безопасности бытовых топлив. В связи с этим брикеты из деревянной стружки, полученные без дополнительных связующих, получают все большее применение [1]. А исследования процесса брикетирования являются актуальными.

Технология брикетирования древесной стружки заключается в получении брикетов – нормированных спрессованных изделий призматической формы [2]. Следует отметить, что в данном исследовании связующим веществом выступает лигнин – вещество, содержащиеся, в растительных материалах, что дает возможность применять в качестве сырья так же отходы сельскохозяйственных предприятий. Наличие лигнина удешевляет и упрощает процесс брикетирования. Для активации лигнина

необходимо иметь температуру не ниже 120 °С. При это лигнин склеивает частицы в плотную однородную массу. Брикет получается более плотным, с низкой гигроскопичностью. Такие брикеты пригодны для транспортировки и хранения упорядоченными блоками.

Если температуру брикетирования ниже активации лигнина, тогда брикет получается менее плотным. Со временем брикеты растрескиваются и активно набухают, хранить такие брикеты возможно только в навал. Таким образом по потребительским свойствам, брикеты полученные методом холодного прессования уступают брикетам полученных при повышенных температурах.

В тоже время в литературе отсутствуют систематизированные данные о выборе параметров процесса брикетирования, позволяющие обосновано разрабатывать технологическое оборудование

Целью настоящей работы является изучение влияния давления прессования и температуры на свойства брикетов из древесной стружки.

Задачами исследования является следующее:

- разработать экспериментальную установку и методику исследований;
- получить зависимость плотности брикета от давления прессования и температуры;
- выбрать рациональный режим брикетирования.

Методика исследования. При разработке технологических режимов процесса, необходимо учитывать изменение физико-механические свойства получаемых древесных брикетов при изменении температуры и давления прессования. Данная лабораторная установка, позволяет получить больше практических данных, которые позволяют перейти к разработке технологического оборудования.

Для получения древесных топливных брикетов в лабораторных условиях применяли опилки ольхи фракционного состава от 2 – 6 мм, с влажностью 8 – 12 % масс. В матрицу (1) вкладывается запорная таблетка (5), после засыпался материал (3) (1,7 грамма) и при помощи пуансона (2) и пресса (4) производилось прессование.

При помощи механического датчика перемещения измерялась высота брикета (конечная высота брикета 8 – 12 мм.). Термопарой (6) измерялась температура процесса от 20 – 300 °С. Давление пресса определено

расчетным путем при помощи показаний манометра и являлось от 25 до 300 МПа.

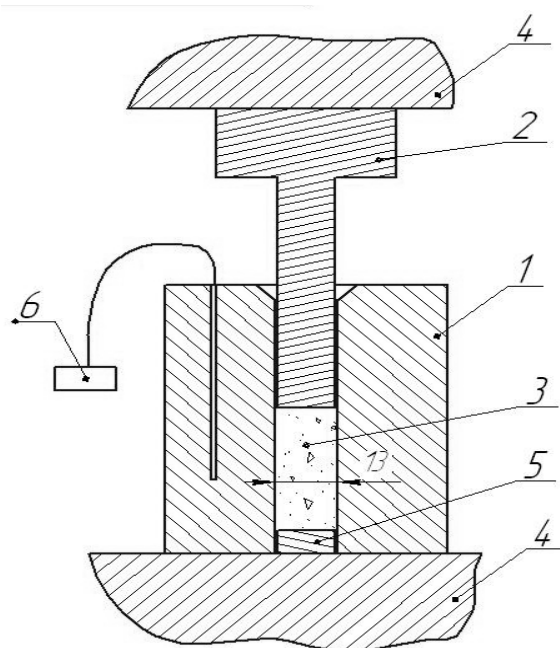


Рис. 1. Лабораторная установка

Свойства брикетов полученных на лабораторной установке сопоставили со свойствами брикетов промышленного штемпельного пресса [3]. Давление в штемпельном прессе определялось следующим образом:

$$P = \frac{N}{W \cdot S},$$

где: N – мощность привода; W – скорость выдавливания брикета; S – площадь поперечного сечения.

Результаты эксперимента и его обсуждение. Получена зависимость плотности брикета от давления прессования при различных температурах (рис. 2). Зависимость имеет нелинейный характер, повышение давления свыше 200 – 250 МПа приводит к незначительному росту плотности. Для получения топливных брикетов с наиболее высоким показателем плотности (1200 кг/м^3) и значением расширения при хранении (3 – 5 %), нужно увеличить температуру прессования до 220 – 250 °С и иметь давление прессования 220 – 250 МПа.

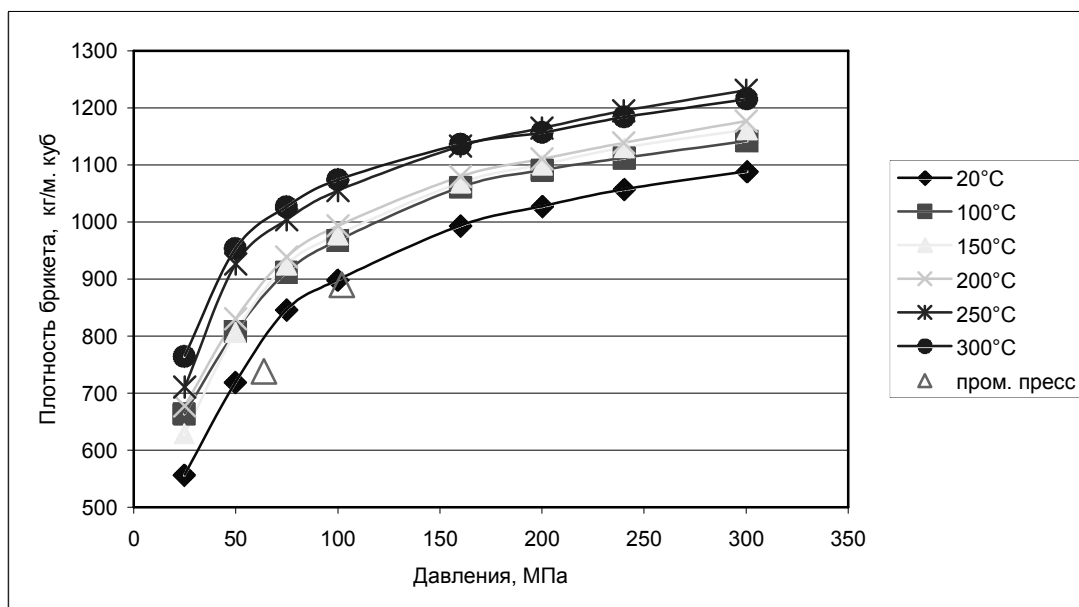


Рис. 2. Влияние температуры на плотность брикетов

Точки, соответствующие работе промышленного брикетировочного пресса ударного действия во время испытаний (рис. 2), располагаются непосредственной близости от кривой прессования, полученной нами при помощи лабораторной установки при 20 °С. При брикетировании свыше 100 °С становится существенной потеря веса образца (рис. 3).

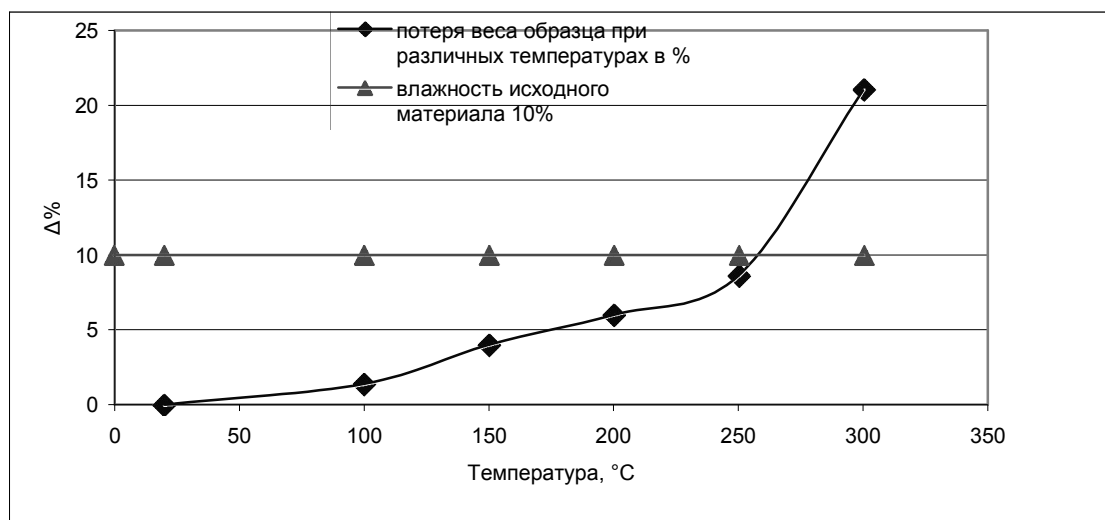


Рис. 3. Влияния температуры брикетирования на потерю веса брикета

При температурах до 250 °С потерю веса можно объяснить испарением влаги содержащаяся в материале. А при температурах свыше 250 °С происходит частичное разложение горючего вещества материала и потеря веса может составить 20 %. С этой точки зрения не целесообразно повышать температуру выше 250 °С.

Брикеты получены при низких температурах, существенно расширяются при хранении рис. 4. При этом на поверхности образца образуются трещины, проходящие в плоскости перпендикулярно направлению прессования. Прочность брикета при этом резко снижается.

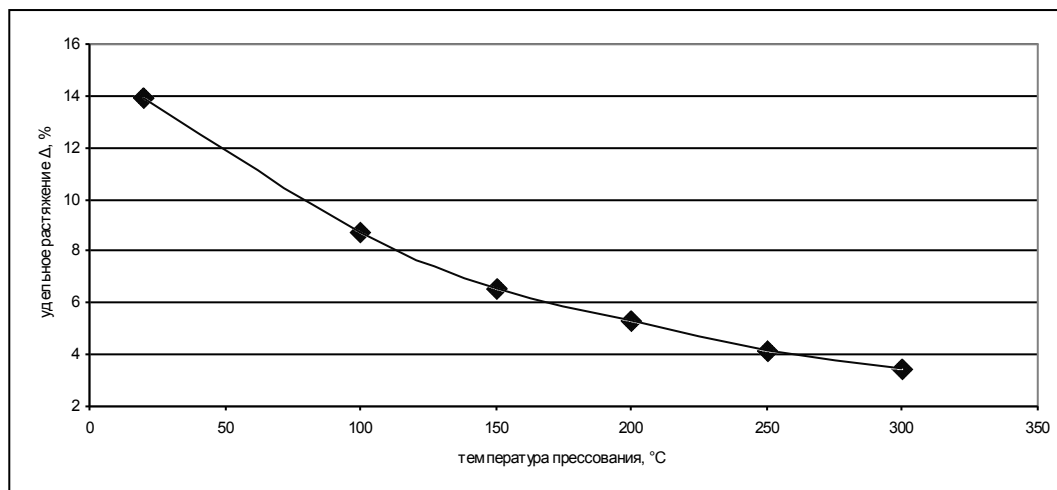


Рис. 4. Влияние температуры прессования на удельное расширение

Брикеты полученные при температуре свыше 200 °С удлиняются не более чем 5 %, имеют глянцевую гладкую поверхность без трещин, пригодны для длительного хранения.

Выводы по данному исследованию. Сопоставление результатов работы промышленного пресса и лабораторной установки показывает, что лабораторная установка удовлетворительно воспроизводит условия промышленного процесса брикетирования.

Определен рациональный технологический режим брикетирования: давление в диапазоне 230..250 МПа, температура 200..250 °С, получают-ся брикеты плотностью не ниже 1150 кг/м³, с удлинением при хранении не более 5 %, потеря массы образца при брикетировании не более 8 %.

Список литературы: 1. Сангалов Ю.А., Красулина Н.А., Ильясова А.И. Композиты: дисперсная древесина – термопластичные полимеры как перспективное направление химической технологии переработки древесины // Химическая промышленность. 2002. №3. С. 1–9.. 2. Гомонай, В. М. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы: учеб. / В. М. Гомонай. — М. : ГОУ МИО МГУЛ, 2006. — 68 с. 3. Трошин А. Г., Моисеев В. Ф., Тельнов И. А., Завинский С. И. Развитие процессов и оборудования для производства топливных брикетов из биомассы // Восточно – Европейский журнал передовых технологий .– 2010. – № 3/8 (45). – С. 36 – 40.

Поступила в редколлегию 23.03.12

В. Е. ВЕДЬ, д.т.н. проф., НТУ «ХПИ»;

А. Г. ТРОШИН, к.т.н. доц., НТУ «ХПИ»;

Е. В. КРАСНОКУТСКИЙ, аспирант, НТУ «ХПИ»;

Е.А. ХОМЕНКО, студентка, ХГАДИ, Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ КЛЕЯЩИХ СОСТАВОВ ДЛЯ ДУБЛИРОВАНИЯ АВТОРСКОГО ХОЛСТА

В статье предлагается методика и результаты исследования свойств и физико-механических характеристик клеящих составов, используемых в реставрации живописных произведений для дублирования авторского холста

В статті пропонуються методика та результати дослідження властивостей та фізико-механічних характеристик клеючих складів, що використовуються в реставрації живописних творів для дублювання авторського полотна

A method and results of research of properties and physics and mechanical descriptions of glue compositions which are used in restoration of picturesque works for duplication of author canvas is offered in the article

Постановка проблемы. В частных собраниях и музеях Украины насчитывается значительное количество произведений искусства, находящихся в критическом, неудовлетворительном или не экспозиционном состоянии. Неправильные условия хранения, воздействие факторов окружающей среды, а иногда и сами люди оказывают разрушающее действие на все виды произведений искусства. Живопись на полотне подвергается временным и внешним механическим воздействиям чаще других памятников. Это обусловлено, по большей части, недолговечностью материалов, используемых для создания произведений станковой живописи. Холст – тканевое полотно, наиболее часто используемое в качестве основы для создания плоскостного визуального искусства, в то же время, является одной из самых хрупких основ.

Малая прочность и особенности структуры холста обуславливают частые случаи утраты фрагментов произведения, возникновение прорывов, а также некоторых видов кракелюра, что нарушает целостность восприятия картины, нарушает ее структуру, а порой приводит к полной утрате произведения. Художники-реставраторы, обеспокоенные этой про-

блемой, уже с 18 ст. искали пути придания основам старых картин более устойчивых свойств, которые позволили бы улучшить сохранность произведений живописи.

Одним из таких путей является способ укрепления авторского холста за счет прикрепления к нему нового. Этот процесс получил название – дублирование авторского холста. Дублирование до сих пор остается одним из наиболее спорных вопросов реставрации. Из-за большого разнообразия существующих методик, неоднозначности оценки преимуществ каждой из них, а так же неразрешенности вопроса о целесообразности использования данного метода вообще. Одним из основных вопросов при проведении дублирования является выбор клеящего состава, при помощи которого скрепляются холсты. Исследование данного вопроса поможет определить оптимальный состав клеящего вещества, на основе чего может быть разработана более эффективная методика дублирования или усовершенствованы традиционные методы.

Цели и задачи исследования. Целью данного исследования является выявление объективных характеристик клеящих составов, которые используются при дублировании авторского полотна.

1. Определение механических и физико-химических свойств данных материалов (прочность, пластичность, гигроскопичность). 2. Определение степени изменения свойств составов при добавлении пластифицирующего вещества. 3. Сравнительный анализ полученных данных. 4. Определение оптимального состава клеящего вещества для дублирования полотна.

Анализ исследований и публикаций. В литературе встречаются только общие характеристики свойств данных материалов, не применимые к дальнейшей разработке реставрационных методик.

Методика исследований. Данные эксперименты проводились на основании критериев выбора полимеров для реставрации памятников истории и культуры, разработанных М.К. Никитиным и Е.П. Мельниковой [1, с. 11]. Выбор клеевых составов для проведения экспериментов основывался на этих критериях, а так же на основе сведений о применении данных составов в реставрационной практике.

Для экспериментов использовались образцы клея ПВС, желатинового и осетрового клеев и составы тех же композиций с добавлением пластифицирующих веществ. В качестве пластификатора для осетрового и

желатинового клея использовался мед, для клея ПВС – глицерин. Соотношение пластификатора к сухой части клея составляло 1:1 и 1:2, для разных составов. Эксперимент по определению механических характеристик клеевых составов. (прочность, пластичность). Для проведения данного эксперимента были подготовлены образцы клеевых пленок, длиной 6 см, фиксировалась ширина и толщина пленок. Один конец образца крепился при помощи зажима, а к другому концу подвешивался груз. Увеличение веса проводилось до разрыва образца. Удлинение образца определялось следующим путем. На образец наносились риски, перпендикулярно длине образца на расстоянии 3 – 4,5 мм. Изменения расстояния между рисками фиксировалось при помощи микроскопа. Расчетным путем определялся предел прочности материала, модуль Юнга, относительное удлинение образца.

Исследование скорости сушки. Для проведения данного эксперимента были подготовлены образцы склеек холстов, которые подготавливались по стандартной методике дублирования: на образец льняного среднезернистого, предварительно проклеенного холста размером 5x5 см, наносилось 0,8 мл клеящего состава, к нему крепился холст аналогичного размера, склейка производилась при помощи воздействия прессы на протяжении 150 мин. После чего образец помещался в установку весов-влажномеров (WPS -210S, Radwag, Польша), где производилась инфракрасная сушка при температуре 40°C, до полного удаления влаги из образца, затем при температуре 60°C, так же до полного высыхания. Тем самым были воспроизведены условия дублирования авторского холста применяемые в практической реставрации.

Исследование гигроскопичности склеенных образцов. После окончания сушки образцы выдерживались при температуре 15-18°C и влажности 60-75%. По истечении 7 суток образцы взвешивались. Гигроскопичность определялась по формуле:

$$\Gamma = \frac{m_{\Gamma} - m_c}{m_c} \cdot 100\%$$

где Γ – гигроскопичность образца; m_{Γ} – масса образца в гигроскопическом состоянии; m_c – масса образца после сушки при температуре 60 °C

Результаты исследования. Для удобства результаты всех экспериментов были сведены в общую таблицу.

Таблица

Общая таблица результатов экспериментов

	Желатин			Осетровый			ПВС		
Количество пластификатора	1:1	1:2	0	1:1	1:2	0	1:1	1:2	0
Прочность, МПа	1,23	5,0	5,5	*	*	*	8,8	2,14	20
Модуль упругости (E), МПа	–	1,1	22	*	*	*	1,89	1,35	66
Относительное удлинение, %	–	46	2,5	*	*	*	470	158	30
Время сушки Образца, мин	5 – 7,5	–	–	6,5 – 8,0	–	–	31,5	–	17,5 – 23,5
Скорость сушки, %/с	0,7 – 6,8	–	–	0,55 – 0,36	–	–	0,44	–	0,62 – 0,47
Гигроскопичность образца, %	2,5 – 3,7	–	–	0,25 – 0,56	–	–	5,33 – 9,61	–	3,27 – 3,68

Примечания: * – образец хрупкий, разрушается до проведения эксперимента; – образец не исследовался

Обсуждение результатов. По результатам исследований состав ПВС обладает более высокой прочностью и пластичностью, чем традиционные составы, но требует более длительного высушивания. При добавлении пластификатора прочность состава значительно снижается, повышается гигроскопичность и увеличивается время сушки. Гигроскопичность ПВС без добавления пластификатора практически не отличается от гигроскопичности состава желатин + мед, в соотношении 1:1. Добавление к желатиновому составу пластификатора в соотношении 1:2 оправдано, поскольку при практически не изменяющейся прочности значительно снижается модуль упругости и повышается удлинение (улучшается пластичность).

Образец из состава осетрового клея, по результатам исследований, обладает наименьшей гигроскопичностью. Проведение других экспериментов с данным материалом не представилось возможным по причине хрупкости образцов материала.

Выводы. В процессе данного исследования были определены следующие характеристики клеящих составов используемых при проведении процесса дублирования: прочность, модуль Юнга, время сушки склеенного образца, скорость сушки, гигроскопичность составов.

При анализе данных результатов экспериментов выявлено преимущество состава ПВС без добавления пластификатора по таким параметрам: прочность, модуль упругости. ПВС может быть предложен в качестве альтернативного клеящего состава для проведения дублирования. В то же время традиционные составы обладают меньшей гигроскопичности материала и быстрее теряют влагу.

Список литературы: 1. *Алешин А.Б.* Реставрация станковой и монументальной живописи в России. Развитие принципов и методов. – Л.: Художник РСФСР, – 1989. – 160с. 2. *Кудрявцев Е.В.* Техника реставрации картин. – М.: В. Шевчук, 2002. – 252 с. 3. *Мельникова Е.П., Никитин М.К.* Химия в реставрации. – Л.: Химия, 1990. – 304с.

Поступила в редколлегию 22.03.02.

УДК 551.588.7 (477.46)

М.О. САМИЛОВА, студентка, НТУ «ХП»,
Т.С. ПАВЛЕНКО, ст. викладач, НТУ «ХП»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ НА ФОРМУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ СКЛАДОВОЇ РЕГІОНАЛЬНОГО КЛІМАТУ

Стаття присвячена вивченню проблеми зміни кліматичного режиму окремого регіону за допомогою математичного апарату аналізу часових рядів. Мета даної роботи полягає в побудові математичної моделі температурної динаміки за даними часового ряду середньомісячних температур та дослідження антропогенної діяльності на формування температурної складової

Статья посвящена изучению проблемы изменения климатического режима отдельного региона с помощью математического аппарата анализа временных рядов. Целью данной работы является построение математической модели температурной динамики по данным временного ряда среднемесячных температур и исследование антропогенной деятельности на формирование температурной составляющей

This article is about the problem of regional climate changes and it is studies with the mathematical tool of time series analysis. The aim of this work is to construct a mathematical model of the dynamics of average monthly temperature and to study the influence of human activities on the formation this component of climate

Постановка проблеми. Багатолітній статистичний режим погоди, характерний певній місцевості, називають кліматом. Основні особливості клімату обумовлює цілий спектр різноманітних чинників, серед яких значну роль відіграють динаміка температури повітря та вплив діяльності людини на цей процес. Найбільш ефективнішим способом вивчення та

дослідження цих факторів є сумісне використання екологічного аналізу та математичного апарату.

Актуальність і доцільність досліджень. Наслідки різкої зміни регіонального температурного режиму можуть вплинути не тільки на економічний розвиток, а й на безпеку життя населення всього регіону. Особливої актуальності проблема кліматичних змін набула на тлі питання глобального потепління та впливу діяльності людства на цей процес, дослідженням якої займаються науково-дослідницькі центри та вчені по всьому світу. Дослідження антропогенного впливу на клімат вивчали М.І. Щербань[1], В.Н. Литвин, В.П. Попов, П.І. Колісник[2]. Багато вчених стверджує, що глобальні зміни клімату спричинила діяльність людини, її надмірне зловживання природними ресурсами та неконтрольовані викиди шкідливих речовин в атмосферу. Наприклад, наукові роботи М.І. Щербаня показали, що антропогенна діяльність здатна впливати на формування регіонального клімату [1].

Зміна клімату є однією з найбільш значних проблем антропогенного впливу на навколишнє середовище. Однією з причин цих змін в останньому сторіччі є зростання впливу техногенних чинників, що порушують природну рівновагу кліматичної системи. Це призводить до змін метеорологічних параметрів, збільшення частоти екстремальних явищ погоди тощо, що в свою чергу впливає на екологічну рівновагу.

Про клімат планети відомо, що за останні 65 млн. років Земля пережила чотири льодовикові ери. Останній відступ льодовиків розпочався 10 тис. років назад. Очевидно, що антропогенний фактор в тому потеплінні не приймав участь. Саме потепління виявилось корисним для людства. Крім того, навіть протягом письмової історії людства клімат не раз змінювався. В 982 року вікінг Ейрик Рудий назвав відкриту ним Гренландію Гренландією, тому що вона дійсно була зеленою. В X-XIII століттях Європа була теплішою, ніж сьогодні. В Північній Німеччині і Шотландії зростав виноград. Потім розпочався льодовиковий період. Сніг випадав навіть в Італії. Через холодні зими розпочався масовий голод. В XVI столітті клімат Європи потеплішав, а в XVII столітті почав знову замерзати. В 1621-1669 роках замерзав Босфор, в Москві на початку XVII століття заморозки були в червні-серпні, а сніг стелився на початку осені. В XVI ст. клімат Європи потеплішав не через парниковий ефект. Та-

кож очевидно, що процес потепління X-XIII ст., не привів до зникнення людства.

Враховуючи наведені факти, значна кількість вчених стверджує, що факт глобального потепління зумовлений циклічністю динаміки кліматичних чинників, бо надзвичайно важко змінити кліматичну планетарну систему, адже інертність та енергоємність цієї системи велика.

Завдання дослідження полягає у побудові математичної моделі температурної динаміки середовища окремого регіону за даними ряду середньомісячних температур та проведенні екологічного дослідження результатів. Це дозволяє виявити загальні закономірності, індивідуальні специфічні характеристики, основні тенденції зміни клімату та оцінити внесок діяльності людини на цей процес.

Викладення основного матеріалу. В якості експериментальних даних взято ряд середньомісячних температур міста Москви за період з 1960 по 2010 роки, так як найбільша кількість статистичних даних відома та доступна тільки для цього регіону. Крім того, м. Москва одне з найбільших міст світу, в якому знаходиться велика кількість заводів та фабрик, що викидають значну кількість шкідливих речовин в атмосферу та впливають на регіональний клімат. Загальна кількість даних складає 612 значень. На рис. 1 по осі абсцис відкладено час у місяцях, а по осі ординат – температура в градусах за шкалою Цельсія.

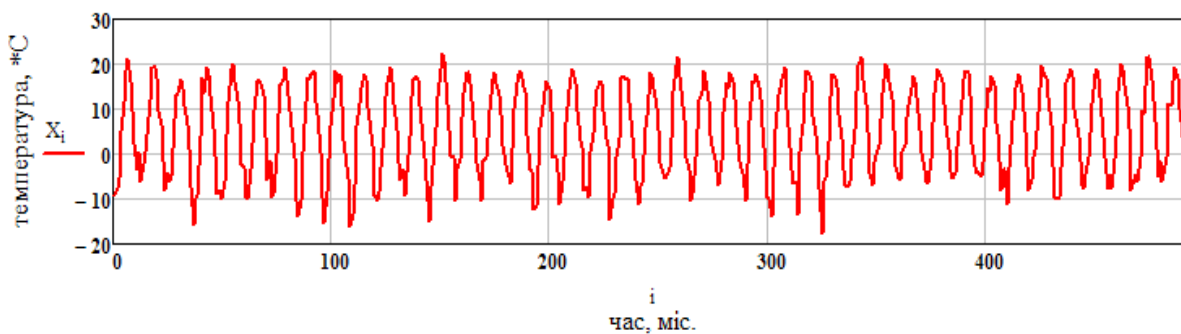


Рис. 1. Зміна середньомісячних температур в часі

Дослідження включало наступні етапи:

- перевірка факту наявності та оцінка параметрів тренду;
- аналіз та оцінка сезонної складової;
- аналіз стаціонарності ряду випадкових залишків та ідентифікація моделі;
- перевірка адекватності сукупної моделі ряду;

– аналіз впливу діяльності людини на формування температурної складової клімату.

В якості моделі, котра описує даний часовий ряд прийнята адитивна модель: $x(t) = f(t) + \phi(t) + \varepsilon(t)$, де $f(t)$ – тренд; $\phi(t)$ – сезонна компонента; $\varepsilon(t)$ – випадкові залишки.

Очевидно, що ряд середньомісячних температур містить у собі компоненту сезонності. Період становить близько 12 місяців. Для оцінки коефіцієнтів сезонності використали дві гармоніки ряду Фур'є, з визначеною частотою та амплітудою. Частина кривої сезонної складової відображена на рис. 2.

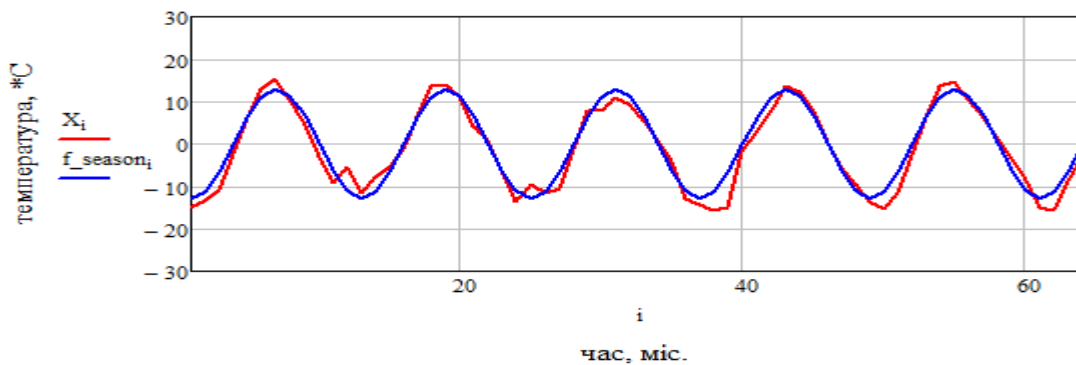


Рис. 2. Сезонна складова ряду динаміки середньомісячних температур

Для перевірки гіпотези про наявність детермінованої складової – тренду скористалися критерієм серій, що оснований на медіані, та критерієм Аббе. Вище зазначені критерії показали, що довготривала складова відсутня. Це говорить про те, що режим динаміки середньомісячних температур в даному регіоні не змінювався впродовж останніх п'ятдесяти років.

Ряд випадкових залишків відповідає процесу авторегресії другого порядку з коефіцієнтами $\alpha_1 = 0.475, \alpha_2 = 0.157$, оскільки необхідні та достатні умови стаціонарності ряду виконуються.

Таким чином, математична модель часового ряду динаміки температур складається з суми вибіркового середнього, перших двох гармонік ряду Фур'є, процесу авторегресії другого порядку та білого шуму:

$$x(t) = 5.5 + \sum_{k=1}^{612} a_k \cos\left(\frac{2\pi}{12} kt\right) + \sum_{k=1}^{612} b_k \sin\left(\frac{2\pi}{12} kt\right) + 0.475\varepsilon(t-1) + 0.157\varepsilon(t-2) + \delta(t)$$

Дана математична модель є адекватною про, що свідчить прогноз значень на липень-грудень 2009 року, побудований на основі навчаючої вибірки на період з січня 1960 по червень 2009 років [4].

Таблиця

Прогнозні значення на основі прийнятої моделі та вже відомі значення з липня по грудень 2009 р.

Місяць	Прогноз	Реальні значення	Відносна точність прогнозу, %
Липень	16.005	15.7	98.1
Серпень	14.007	13.8	98.5
Вересень	8.773	8	90.3
Жовтень	3.073	2.7	86.2
Листопад	-3.682	-6.15	60.9
Грудень	-5.799	-7.275	79.7

Висновки та перспективи подальшого розвитку досліджень в даному напрямку. В процесі виконання роботи було побудовано адекватну математичну модель динаміки температурної складової клімату за даними ряду середньомісячних температур міста Москви.

Внаслідок перевірки гіпотези на наявність довготривалої складової виявилось, що тренд відсутній. Проте стверджувати про однозначність отриманого результату не є доцільним, адже виявити тренд за період в п'ятдесят або навіть сто років не можливо, бо не вистачає статистичних даних. Встановлено, що з XI до XV століття тривав теплий період, відомий як Середньовічна кліматична аномалія, а з тих пір і до кінця XIX століття тривав холодний період, або так званий Малий льодовиковий. З кінця XIX століття температура знову почала підвищуватися і в цей же час відбувся значний науково-технічний прогрес. І тому виникло питання антропогенного впливу на клімат.



Без сумніву діяльність людини значно впливає на стан навколишнього середовища, але щоб відповісти в якій мірі, необхідно провести кореляційний або компонентний аналіз антропогенних чинників на формування температурної та інших складових регіонального клімату. Наслідки впливу людини загалом відомі: забруднені ґрунти, повітря, водойми тощо. Але наголошувати на тому, що тільки від життєдіяльності людини залежить зміна кліматичного режиму всієї планети не є доцільним. Для вирішення визначеного завдання треба провести дослідження впливу значної кількості факторів на стан навколишнього середовища з врахуванням наслідків діяльності людини і побудувати ще не одну математично-екологічну модель.

Дана робота була презентована на шостій міжнародній науково-практичній конференції за участю молодих вчених «Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів» та отримала схвальні відгуки.

Список літератури: 1. Щербань М.И. Влияние хозяйственной деятельности человека на климат // Природа Украинской ССР КЛИМАТ – К.: Наукова Думка, 1984. – С. 176–186. 2. Попов В.П., Литвин В.Н., Колісник П.І. Деякі дані про температурний режим повітря на осушених болотах України // Вісник Київського університету. Сер. Географія / В.П. Попов, В.Н. Литвин, П.І. Колісник – К.: КНУ, 1975. – № 17.–С.37–49. 3. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ, 1998. – С. 1006. 4. Дослідження впливу діяльності людини на формування температурної складової регіонального клімату: зб. матеріалів VI Міжнародн. наук.-практ. конф. при участі молодих вчених [«Еколого-правові аспекти екологічної безпеки»], (Харків 19–20 жовт.,2011 р.) – Х.: ХНАДУ, 2011.– С.92–95.

Надійшло до редколегії:28.11.2011

С.И. БУХКАЛО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
А.В. СЕРИКОВ, канд. физ.-мат. наук, проф., Харьковский
национальный университет строительства и архитектуры
О.И. ОЛЬХОВСКАЯ, ассистент, НТУ «ХПИ»,
Н.Е. ТВЕРДОХЛЕБОВА, ассистент, НТУ «ХПИ»,
Д.С. РЕВА, студентка, НТУ «ХПИ»,
М.Ю. ДАДАШ, студентка, НТУ «ХПИ»,
О.В. СИДОРЧУК, студентка, НТУ «ХПИ»,
А.И. КЛИМАШКО, студентка, НТУ «ХПИ»,
Д.Ю. ЗАДНЕПРОВСКАЯ, студентка, НТУ «ХПИ»,
Д.В. СЕВОСТЬЯНОВА, студентка, НТУ «ХПИ»,
О.К. ПОЗДНЯКОВА, студентка, НТУ «ХПИ»

ОБ УТИЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ КАК КОМПЛЕКСЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

У статті вперше запропоновано ідентифікувати проблему утилізації полімерних відходів з твердих побутових відходів у вигляді комплексу інноваційних проектів. Розглянуті методологічні підходи до реалізації і управління таким комплексом

В статье впервые предложено идентифицировать проблему утилизации полимерных отходов из твердых бытовых отходов в виде комплекса инновационных проектов. Рассмотрены методологические подходы к реализации и управлению таким комплексом

In the article it has been suggested for the first time to identify the problem of polymeric offcuts utilization from hard domestic offcuts as a complex of innovative projects. The methodological approaches have been also considered for the realization and management of such complex

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научно-практическими заданиями. Как известно, в Украине утилизируют незначительную часть так называемых полимерных отходов, которые являются частью твердых бытовых отходов (ТБО). Вместе с тем, эти отходы способны претерпевать шестикратную переработку в новые изделия, что несет с собою возможности ресурсо- и энергосбережения. Каждый из циклов переработки ТБО требует инновационного подхода. Поэтому решение задачи утилизации ТБО в общем случае необходимо рассматриваться как единый комплекс инновационных проектов, требующий адекватных методов управления.

Анализ последних исследований и публикаций. Известные авторам данной работы исследования посвящены, в основном, переработке качественных полимерных отходов, которые не входят в состав ТБО. Вместе с тем, наиболее вероятными крупнотоннажными источниками вторичного полимерного сырья для производства полимерных изделий являются отходы среднего качества и полимерные отходы утратившие свои качества по различным причинам: жесткие условия эксплуатации, смеси с другими полимерами или материалами др. Понятно, что такие отходы требуют применения специальных научно-обоснованных методов переработки, конкретных в каждом случае с учетом заинтересованности общества в переработке полимерных отходов, как фактора улучшения экологии [1–3].

Постановка задачи. С целью успешного развития инновационного проекта по утилизации полимерных отходов из ТБО необходим обстоятельный анализ методологических и методических основ управления инновационными проектами на всех этапах от возникновения идеи до ее реализации в условиях рыночных отношений.

Под проектом принято понимать 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. При этом ставится задача отработки всех фаз выполнения инновационного проекта - инициирование, планирование, выполнение, завершение,- и всех аспектов управления ними, в том числе: управление маркетингом, бизнес-планирование, информационное обеспечение, финансирование инноваций, управление командой проекта, инновационное предпринимательство, правовое регулирование инновационной деятельности.

Изложение основного материала исследований. Методология науки рассматривает развитие теоретических знаний как определенную систему, для которой характерны объективные ступени абстракции и описание соответствующих явлений. Первая ступень развития науки характеризуется накоплением фактов, описанием классификаций, объектов, явлений, событий, констатацией свойств и называется феноменологической, или описательной.

Вторая ступень – аналитико-синтетическая, предсказательная. На этой ступени теория позволяет дать элементарное объяснение природы, свойств объектов, закономерностей явлений, а также создается возможность для предсказания возможных исходов явлений и процессов.

На третьей ступени – прогностической – происходит моделирование основных процессов с аналитическим представлением законов и принципов, прогнозированием сроков и конечного результата процессов и явлений. Четвертая ступень – аксиоматическая – характеризуется высокой степенью обобщения явлений с глубоким проникновением в их сущность. Возможен точный и долгосрочный прогноз. Разрешая сформулированную выше проблему с позиции озвученного методологического подхода, необходимо отметить, что одной из основных целей введения инноваций в рыночной экономике является удовлетворение потребностей общества, как основы его развития, а именно: 1) потребности человека; 2) потребности коллективов людей и организаций.

Инновационные процессы, формируемые в виде инновационных программ и проектов, относятся к категории объектов наиболее высокого риска для инвестиций. Следует отметить, что расходы на НИОКР являются, конечно, одной из необходимых составляющих для успешного стратегического развития бизнеса. Большинство предприятий во всем мире достаточно осторожно относятся к принципиально новым разработкам, предпочитая идти по пути незначительных усовершенствований уже существующих продуктов/технологий, то есть по так называемой адаптивной стратегии инновационного бизнеса. Только крупные корпорации в состоянии осуществлять значительные вложения в инновации. Все перечисленное относится и к предприятиям постсоветского пространства, но еще и с учетом поправки на функционирование в условиях социально-политической и финансовой нестабильности. Вероятность получения средств из различных источников возрастает со степенью готовности инновации к внедрению.

Сегодня под инновацией принято понимать создание новой улучшенной продукции или производственного процесса; инновацией является и использование более дешевого сырья для производства уже известного товара, изменение маркетинговой политики, выход на новые рынки или новый уровень сервиса. При этом необходимо учитывать сле-

дующее: источники появления инноваций; роль инноваций в экономическом развитии страны; структуру инновационного процесса; стадии инновационного процесса; методы планирования и контроля инновационного процесса; классификации стадий инновационного процесса; методы повышения эффективности использования научных разработок для создания инноваций; венчурные фонды и их роль в создании инноваций; возможности государственного регулирования инновационной деятельности и др. Инновации являются основным средством повышения прибылей, ключом к новым рынкам сбыта. Правительства делают ставку на инновации, когда пытаются преодолеть экономический кризис. Приоритеты инновационного развития давно заменили популярную концепцию «благополучной экономики». Варианты инновационных проектов должны иметь одинаковую маркетинговую разработку, одинаковый подход к оценке риска инвестиционных затрат и неопределенности исходной информации (рис. 1).



Рис. 1. Функциональная схема этапов инвестиционного проекта

Рынок вспененного полиэтилена как часть объекта исследования инновационного комплекса наиболее «молодой» из всех вспененных полимеров, поэтому и характеризуется большими темпами роста потре-

ния и производства. Пенополиэтилен благодаря своей структуре является хорошим теплоизолятором, гидроизолятором, шумопоглотителем, легко гнется и режется, а также способен держать заданную форму (рис. 2).



Рис. 2. Пример использования вспененного полиэтилена на объектах строительства

К тому же пенополиэтилен совместим практически с любыми строительными материалами – древесиной, бетоном, цементом, гипсом и т.д. Основными показателями, характеризующие изоляционные материалы из вспененного полиэтилена: низкая объемная масса; высокие теплоизоляционные свойства; минимальное водо- и влагопоглощение; достаточная механическая прочность; био- и химическая стойкость; низкая коррозионная активность; отсутствие специфических запахов и токсичности; экономичность и долговечность в конкретных условиях эксплуатации. Материалы из химически сшитого пенополиэтилена настолько успешно выполняют свои функции и конкурентны по цене, что западные строители предпочитают их применять везде, где возможно, по отношению к другим типам изоляции. Такой современный и перспективный

способ изоляции позволяет решить проблему сохранения тепла при условиях максимальной выгоды и минимально затраченных усилиях.

Цель анализа инвестиционной привлекательности инновационных проектов – классифицировать данные объекты по двум основным критериям, а именно: 1) уровню качества инновационного проекта; 2) уровню риска не достижения запланированных результатов при осуществлении проекта [4]. Под качеством инновационного проекта как объекта управления будем понимать те его характеристики, которые относятся к способности результатов проекта и процесса его осуществления удовлетворять установленным требованиям к конкурентоспособности инновационного продукта, к эффективности результата для инвестора и уровню инновационного менеджмента проекта. Таким образом, все инновационные проекты можно позиционировать в виде матрицы «уровень качества инновационного проекта» / «риск, связанный с не достижением результата проекта». Качество проекта с точки зрения будущего потребителя обусловлено востребованностью его результатов в определенном сегменте рынка.

Рыночная ценность инновационного продукта определяется его способностью удовлетворять установленные или предполагаемые потребности. Конкурентоспособность результатов выполнения инновационного проекта связана с планируемым уровнем качества инновационной продукции, потребительской ценой и уровнем конкуренции в тех сегментах рынка, где будет реализовываться инновационная продукция. Таким образом, на уровень качества инновационного проекта влияют три группы факторов: 1) конкурентоспособность инновационного продукта, так называемый уровень потребительской ценности; 2) эффективность результатов проекта для инвесторов и общества; 3) качество менеджмента проекта – качество процесса управления проектом. В результате применения причинно-следственных диаграмм и экспертной методики распределения приоритетов на основе метода парных сравнений ряд авторов формирует следующие критерии второго уровня, оказывающие, по мнению экспертов, определяющее влияние на качество инновационного проекта: конкурентоспособность функциональных потребительских характеристик инновационного продукта в данный момент и в течение 3–5 лет после выпуска продукта на рынок – динамическая конкурентоспо-

способность; устойчивость рыночного спроса за период окупаемости проекта; востребованность результатов выполнения проекта группами рыночного потребления за период окупаемости проекта; завершенность этапов жизненного цикла проекта; правовая устойчивость результатов проекта; обеспеченность этапов жизненного цикла проекта ресурсами; экономическая эффективность проекта; социальная эффективность проекта; экологическая эффективность или безопасность. При этом следует помнить, что удачные инновации очень редко получаются в результате улучшения или модификации существующего продукта. Не помогает и исследование настроений крупных заказчиков, которым обычно необходимы лишь постоянные текущие улучшения продукта. Удачные инновации требуют коренного осмысления проблемы и принятия научно-обоснованных решений. Иногда приходится повторно рассматривать идеи и проекты, которые не получили должного внимания в прошлом.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Резюмируя, подчеркнем, что в данной работе впервые предложено идентифицировать проблему утилизации полимерных отходов из ТБО в виде комплекса инновационных проектов. Рассмотрены методологические подходы к реализации и управлению таким комплексом. Учитывая актуальность проекта утилизации для Украины, следует продолжить начатые исследования для более конкретных условий и с целью разработки 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. 4. *Бухкало С.И., Смоловик Р.Ф., Ольховская О.И.* Анализ возможностей экономической оценки комплексной утилизации отходов полимеров // Вестник НТУ «ХПИ». 2011. № 21. С. 140 – 146.

Поступила в редколлегию 01.02.12

Л.О. КРЕМЕНЧУТСЬКА, ст.викл., НТУ «ХП»,
О.О. ДЕМЬОХІНА, доцент, НТУ «ХП»,
О.І. ОЛЬХОВСЬКА, асистент, НТУ «ХП»,
Л.В. КВАРЦХАВА, магістр, НТУ «ХП»

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ КАПІТАЛЬНИХ ВКЛАДЕНЬ У ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ СТАНЦІЇ

В основу Методики БКВ покладено принцип оцінки ефективності використання первинно витрачених для будівництва конкретної ВЕС державних коштів на подальше реінстрування у розширенні будівництва ВЕС за рахунок амортизаційних відрахувань і прибутку, які формуються у процесі діяльності ВЕС

В основу Методики БКВ закладено принцип оценки эффективности использования затраченных первично для строительства конкретной ВЭС государственных средств на последующее реинвестиционирование в расширение строительства за счет амортизационных отчислений и прибыли, которые формируются в процессе деятельности ВЭС

Methods Based on the principle of BKV evaluation using primarily spent for specific construction WPP state funds for further expansion in construction reinstuvannya WPP through depreciation and profits, which are formed in the process of WPP

Ключові слова: Критерії ефективності, вітроенергетичні станції (ВЕС), капітальні вкладення.

Вступ. Енергетична безпека є важливою складовою національної та економічної безпеки кожної країни. Залежність України від імпорту нафти, зокрема російської, спонукає шукати нові альтернативні джерела енергії. Підвищення цін на енергоносії та невпевненість в стабільності, та надійності постачальників нафти призвело до занепокоєння серед країн-імпортерів нафти в усьому світі. Це в свою чергу підвищило зростання інтересу до визначення економічної ефективності використання таких відновлюваних джерел енергії, як біопальне, енергія вітру, сонячної енергії. Енергетика, як стратегічна складова економіки, обумовлює рівень її розвитку, характер міжгалузевих зв'язків, статус держави на міжнародній арені, її привабливість як партнера [1, 2]. В Україні в 2003 р. прийнятий Закон про альтернативні джерела енергії, що визначає правові, еко-

номічні й організаційні основи використання альтернативних джерел енергії й сприяє розширенню їхнього використання в паливно-енергетичному комплексі. Закон в істотній мері конкретизує раніше існуючий закон у цій області й наближається до найбільш прогресивного законодавства в області альтернативної енергетики в ЄС.

Постановка задачі. Мета комплексної програми полягає у підвищенні обсягів видобутку екологічно чистої електроенергії із поновлювального джерела енергії – вітру. Відтак, показники ефективності будівництва ВЕС, яке здійснюється за бюджетні кошти відповідно до комплексної програми, повинні відтворювати ступінь досягнення саме цієї мети. Методика БКВ дозволяє оцінити можливість подальшого реінвестування у розширення будівництва ВЕС за рахунок амортизаційних відрахувань і прибутку, які формуються у процесі діяльності ВЕС. Такий підхід ґрунтується на положеннях «Концепції амортизаційної політики», схвалено Указом Президента України від 07.03.2001 р. №169/2001. Зокрема в «Концепції амортизаційної політики» наголошено наступне: «Амортизаційна політика має бути спрямована на підвищення фінансової заінтересованості суб'єктів господарювання у здійсненні інвестицій в основний капітал за рахунок коштів власних амортизаційних фондів».

Відповідно до чинного Законодавства України право використання оборотних активів підприємства, у тому складі коштів амортизаційних відрахувань та прибутку підприємства, закріплено суб'єктами господарювання. Виходячи з цього положення в даній Методиці БКВ запропоновано механізм обчислення економічного ефекту, що може бути досягнутий у разі свідомих дій керівництва ВЕС, спрямованих на фактичне реінвестування набутих грошових активів, тобто при поєднанні підприємницьких і загальнодержавних інтересів. Методика БКВ виступає мірою потенційного економічного ефекту, єдиною для проектів будівництва різних ВЕС.

Фактичне спрямування грошових потоків після введення ВЕС у дію в напрямках відмінних від схеми реінвестування, яка передбачена Методикою БКВ, не є підставою для ствердження про фактичне зниження економічної ефективності станції. Аналіз ситуації, яка призводить до відсутності активного реінвестування під час дії ВЕС, та прийняття заходів щодо його здійснення є компетенція відповідних упроваджених дер-

жавних органів, які діють у межах чинного Законодавства (наприклад, здійснюють фінансування, встановлюють тарифи, укладають контракти з керівництвом ВЕС, тощо).

Результати дослідження. Дуже важливо усвідомити, що економічно виправдана експлуатація поновлюваних джерел енергії можлива при виконанні двох умов:

1) чітко зрозумілі й використані принципові переваги таких джерел енергії;

2) максимально ефективний весь процес перетворення поновлюваної енергії в енергоустановках завдяки мінімізації втрат і максимізації економічних і соціальних показників.

Коли ці умови виконані, можна проводити порівняльні вартісні розрахунки стосовно до конкретної установки й робити економічні оцінки. Невиконання першої умови приводить, як правило, до технічно недосконалих рішень і як наслідок – до низьких економічних показників. Механізм Методики БКВ передбачає обчислення грошових потоків в діяльності ВЕС на перспективний період її роботи в межах терміну її корисного використання. Цей принцип повністю відповідає загальним методичним положенням чинного галузевого нормативного документа Мінпаливенерго ГКД 340.000.001-95 «Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику. Методика. Загальні методичні положення». Та на відміну від означеної галузевої методики, де абсолютна економічна ефективність капіталовкладень визначається як різниця між дисконтуванню сумою накопичених та витрачених коштів за термін дії об'єкту, у Методика БКВ ефективність оцінюється за критеріями можливості нарощування вироблення електроенергії на ВЕС за рахунок первинно вкладених коштів.

У такий спосіб Методика БКВ враховує ефективність досягнення мети, за ради якої здійснюється інвестування будівництва ВЕС за кошти бюджету. Інші принципові особливості ВЕС, які враховані в Методиці БКВ полягають у наступному:

- тариф на електроенергію, за яким визначається доход ВЕС, приймається на рівні єдиного тарифу на екологічно чисту електроенергію, встановленого НКРЕ («зелений тариф»);
- норма дисконтування грошових потоків приймається нульовою.

Останнє положення враховує, що цільові бюджетні кошти КП не мають ніякого альтернативного застосування, окрім будівництва ВЕС. До цього ж відсутні ризики, пов'язані з:

- кредитуванням,
- зміною обсягів запланованого у КП фінансування,
- падіння попиту на продукцію ВЕС - екологічно чисту електроенергію,
- зміною тарифу на відпущену електроенергію.

Економічна ефективність капітальних вкладень визначається за допомогою системи основних визначальних і додаткових показників.

Критерії ефективності покликані надавати можливість приймати рішення щодо найбільш доцільних напрямків вкладання коштів. Відрізняють ситуації порівняння варіантів з однаковими і різними умовами капітальних вкладень. До цих умов відносяться:

- суми капітальних вкладень;
- графіки введення в дію капітальних вкладень;
- будівельні лаги;
- терміни корисного використання ВЕС тощо.

Нижче подано критерії ефективності капітальних вкладень для обох загальних випадків.

Критерієм ефективності капітальних вкладень в даному випадку має виступати максимум обсягу електроенергії, виробленої ВЕС за весь термін її корисного використання. Ця електроенергія виробляється на потужностях, введених в дію як за рахунок первісних капіталовкладень, так і за рахунок вторинних джерел – амортизаційних відрахувань і прибутку, отриманих ВЕС від продажу виробленої електроенергії. Для обчислення даного показника термін корисного використання ВЕС обумовлюється терміном експлуатації ВЕУ, наведеним в її паспортних даних.

Таким чином, у випадку однакових умов капітальних вкладень критерієм ефективності інвестиційного проекту ВЕС виступає:

$$\max E = \max \sum_{t=1}^T E_t \quad (1.1)$$

де: T – термін корисного використання ВЕС; E – виробіток електроенергії ВЕС за весь термін її корисного використання; E_t – виробіток електроенергії ВЕС в t -ому році.

Для зіставлення варіантів інвестиційного проекту ВЕС з різними умовами капітальних вкладень використовується критерій максимуму відносної величини – коефіцієнт розширення виробництва (КРВ) електроенергії ВЕС. КРВ являє собою відношення виробітку електроенергії ВЕС за весь термін її корисного використання, що досягається за умов нарощування потужностей з використанням власних активів, до виробітку електроенергії, який міг бути отриманий на потужностях, введених за рахунок лише первинних капітальних вкладень:

$$\max \text{КРВ} = \max \frac{\sum_{t=1}^T E_t}{\sum_{t=1}^T E'_t} \quad (1.2),$$

де: E'_t – виробіток електроенергії в t -ому році, отриманий на потужностях, введених за рахунок первинних капітальних вкладень, млн. кВт·г; E_t – виробіток електроенергії в t -ому році, отриманий на всіх потужностях ВЕС, млн. кВт·г; T – термін корисного використання ВЕС, років.

Наведені вище показники характеризують внутрішній потенціал ефективності проекту ВЕС інтегрально за всіма чинниками ефективності – вітропотенціалом, тарифами, експлуатаційними витратами, умовами будівництва, первинними капіталовкладеннями, інтенсивністю та тривалістю реінвестування. Останній чинник – тривалість реінвестування – має суттєвий вплив на всі показники ефективності ВЕС і має бути встановлений нормативно.

В даній Методиці тривалість реінвестування визначається на підставі таких обставин:

1. Як правило, існують певні обмеження процесу нарощування потужностей на одній площадці ВЕС. Ці обмеження випливають з умов відведення земельних ділянок, підключення до електромережі, рівня споживання електроенергії тощо. В той же час за 10 років реінвестування потужність ВЕС може зрости у 1,7 рази, за 15 років – у 2,5 рази, за 20 років – майже у 4 рази і так далі. Тривалість реінвестування більша за 20

років виводить потужності ВЕС за межі фактичних можливостей площадок, а врахування можливості розширення ВЕС на нових ділянках не є методично виваженим з огляду на зміни у вихідних параметрах ділянок (вітропотенціалу, умов будівництва тощо).

2. За умови максимізації прибутковості ВЕС тривалість реінвестування має оптимальну зону, яка становить 16 – 18 років.

З урахуванням викладених обставин доцільно встановити в Методиці БКВ тривалість реінвестування 20 років в якості нормативу для розрахунків усіх показників ефективності. Така тривалість є достатньою для прояву економічної ефективності проекту будівництва і експлуатації ВЕС. ВЕС, яка розвивається, за час своєї дії набуває нових можливостей з виробництва електроенергії.

Показники, що характеризують стан ВЕС на кінець терміну корисного використання, є додатковими до показників економічної ефективності. Потужність ВЕС на кінець терміну корисного використання розраховується за виразом:

$$P_T = P_T^0 + P_T^R$$

де: P_T – потужність ВЕС на кінець терміну корисного використання, МВт; P_T^0 – потужність, введена за рахунок первинних капіталовкладень, МВт; P_T^R – потужність, введена за рахунок реінвестування, МВт;

Річний виробіток електроенергії ВЕС на кінець терміну корисного використання розраховується за формулою:

$$E_T = 8760 \sum k_j P_T^j$$

де: E_T – річний виробіток електроенергії ВЕС на кінець терміну корисного використання, млн. кВт·г; P_T^j – встановлена потужність усіх ВЕУ j -того типу на кінець терміну використання, МВт; k_j – коефіцієнт використання номінальної потужності ВЕУ j -того типу; m – кількість ВЕУ на ВЕС. Середньорічна потужність ВЕС розраховується за формулою:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{t=1}^T P_t}{T} \quad (1.5)$$

де: $\bar{P}$ – середньорічна потужність ВЕС, МВт; P_t – середня потужність ВЕС у t -тому році, МВт.

Середньорічний виробіток електроенергії ВЕС розраховується за формулою:

$$\bar{E} = \frac{E}{T} \quad (1.6)$$

де: $\bar{E}$ – середньорічний виробіток електроенергії ВЕС, млн. кВт·г.

Обсяг електроенергії, виробленої ВЕС за весь термін її корисного використання розраховується за виразом і використовується як додатковий у разі застосування показника КРВ у якості критерію економічної ефективності.

Якщо різні варіанти будівництва ВЕС будуть мати приблизно однакові основні показники, то для подальшого порівняння слід використовувати додаткові показники. Більш ефективний слід вважати той варіант, в якому додаткові показники є більшими.

Висновки. Методика визначення економічної ефективності капітальних вкладень, які здійснюються за бюджетні кошти відповідно до комплексної програми будівництва вітроенергетичних станцій (ВЕС) (методика БКВ) представлена у статті має наступні показники:

- термін корисного використання ВЕС – 30 років;
- річні амортизаційні відрахування від основних фондів – 3,3% за лінійною схемою;
- річні експлуатаційні витрати – 1% від основних фондів, або розрахункові данні за досвідом експлуатації;
- тариф відпущеної електроенергії – тариф на екологічно чисту електроенергію, який встановлює НКРЕ;
- ставка податку на прибуток – 30%;
- норма дисконту U (приймається інвестором).

У разі кредитування будівництва стандартні данні мають бути доповнені даними щорічної сплати відсотків по кредиту.

Список літератури: 1. Шульга Ю.И Государственное регулирование энергосбережения и природоохранной деятельности. Энергоэффективность – проблема государственная // Энергетика. Экология. Человек: Тр. междунар. энергетич. конгр. (30 марта – 2 июля 2004 г.). – К.: 2003. С. 6–8. 2. Забарний Г. М., Шурчаков А.В. Энергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України. – К.: Інститут технічної теплотехніки НАНУ, 2002. 211 с.

Поступила в редколлегию 18.01.2012

Г.І. КЛИМАШКО, МАГІСТРАНТ, «НТУ ХП»

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ СТИМУЛЮВАННЯ РОБОТИ ПЕРСОНАЛУ В ІННОВАЦІЙНОМУ ПРОЕКТІ

В процессе выполнения работы был разработан маркетинговый план; производственный и организационный планы; определение рисков и способов их предотвращения; финансовый план, который дает экономическое обоснование финансовых показателей проекта; резюме

У процесі виконання роботи був розроблений маркетинговий, виробничий і організаційний плани; визначені ризики і способи їхнього запобігання; фінансовий план, що дає економічне обґрунтування фінансових показників проекту; резюме

In the process of work on the basis of the conducted analysis of findings a marketing plan was developed, production and organizational plan were described, the estimation of risks of this project is conducted, the financial indexes of efficiency of project are expected

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. В сучасних умовах ефективно управління інноваційними проектами є неможливим без якісного стимулювання роботи персоналу. Персонал є найважливішим ресурсом та рушійною силою будь-якого проекту. При цьому слід відмітити, що єдиним шляхом зростання і зміцнення ринкових позицій для інноваційного виробництва є безперервний його розвиток за одним з двох шляхів впровадження інновацій: 1) хаотичний характер; 2) відповідно з корпоративною стратегією і логікою розвитку бізнесу. Другий шлях більш ефективний і перспективний. Але навіть у рамках вірної стратегії може виникнути питання про реалізацію інновацій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Перш за все треба провести теоретичний огляд моделей стимулювання персоналу: психологічні аспекти поведінки працівника; мотиваційні типи персоналу; деталізація уявлення про мотиваційні типи; форми стимулювання і їх відповідність мотиваційним типам [1]. Кожна людина є суб'єктом, тобто має інтереси і можливості, а можливості працівника у нашому дослідженні – це його професійні знання, вміння і навички, які визначають його здатність ви-

конувати певні функції, що природно застосовується при підборі персоналу на роботу, розподілі посадових обов'язків, дорученні виробничих завдань та ін.

Теоретичну базу дослідження становлять праці вітчизняних та зарубіжних фахівців з питань мотиваційної діяльності, оплати праці, способів покращення мотивації в сучасних умовах, зокрема, найбільш повно ці проблеми висвітлені у роботах Анісімова О.С., Бовикіна В.І., Бурлакова Г.Р., Виханського О.С., Наумова А.І., Галенка В.П., Страхової О.А., Файбушевича С.І., Гнездовського Ю.І., Поварича І.П., Грачева М.В., Журавльова П.В., Карташова С.А., Маусова Н.К., Одегова Ю.Г., Кабушкіна Н.І., Келлер-Пфрундера А., Комарової Н., Леонтьєва А.Н. та ряду ін. У дослідженні використано ряд загальнонаукових та спеціальних методів дослідження процесів і явищ у їх взаємозв'язку і розвитку. Серед загальнонаукових методів пізнання необхідно виділити абстрактно-теоретичний, історичний, індукції та дедукції, аналізу й синтезу, порівняння та узагальнення, експертний метод. Інформаційну базу дослідження склали нормативна, законодавча база, статистичні дані, публікації вітчизняних та зарубіжних вчених, матеріали науково-практичних конференцій, періодичні видання, а також фінансова та статистична документація.

Інтереси, представляючи собою прояв системи цінностей, визначають схильність суб'єктів стосовно, зокрема, виробничої діяльності. Співробітники в організації об'єднані в різні колективи (структурні підрозділи, проектні групи під конкретну мету та ін.). Для одержання загального результату колективної діяльності необхідно здійснювати взаємодію між працівниками, що полягає в комунікації між ними, і подальшу інтеграцію результатів виконання функцій в єдиний загальний результат. Значною мірою поведінка людини залежить від його особистих якостей, узагальнено званих характером. Оскільки дві складові частини, що визначають поведінку людини – характер та інтереси – різноманітні, система стимулювання повинна враховувати це розмаїття, прилаштовуватися під нього. Це визначає постановку завдання – виходячи з аналізу інтересів і характеру членів трудового колективу, побудувати таку систему стимулювання, яка викликала б гранично конструктивну

поведінку, що забезпечує ефективну комунікацію і досягнення сукупного результату діяльності колективу.

Формулювання цілей статті. В рамках роботи необхідно здійснити огляд існуючих моделей стимулювання роботи персоналу, а також встановити основні недоліки та переваги існуючих моделей для різних мотиваційних типів. При розробці бізнес-плану інноваційного проекту необхідно дослідити предметну область його виконання. Розробити маркетинговий план, у якому встановити цінову політику підприємства та ціни на послуги, зробити аналіз ринку послуг, визначити прогнозовані обсяги надання послуг та маркетингову стратегію підприємства. Бізнес-план присвячено відкриттю приватної школи. Адже традиційна державна шкільна освіта не відповідає вимогам сучасного суспільства щодо формування вільної та творчої особистості. Педагогічні технології, що використовуються, застарілі та неефективні для досягнення цієї мети. Альтернативи мало представлені на ринку шкільної освіти Харкова, тому бізнес-план присвячено саме створенню школи із сучасним підходом до навчання та використанням педагогічних технологій, що засновані на активізації діяльності учнів. Оскільки персонал є вирішальним фактором в роботі такої організації значну увагу слід приділити формуванню команди для чого ми розглядаємо мотиваційні типи та моделі стимулювання роботи персоналу.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Реалізація завдання, на наш погляд, має наступні складові: огляд літературних джерел з теми науково-дослідної роботи; складання плану маркетингу інноваційного об'єкту, до якого треба внести аналіз та розробку ціни та цінової політики, канали збуту продукції та послуг, розробка реклами, прогноз обсягів продаж, план виробництва, процес виробництва, виробничі приміщення, обладнання, джерела постачання сировини, матеріалів, обладнання та робочих кадрів, субпідрядники. Організаційний план та управління персоналом передбачає урахування форми власності підприємства; вибір власників та партнерів компанії; склад керівництва; організаційна структура та ін. Вищезначені складові дослідження об'єкту потребують аналізу за наступними показниками: оцінка ризику та страхування; слабкі сторони компанії та ймовірність

появи нових технологій; альтернативні стратегії та ін. Для реалізації інноваційного проекту необхідно скласти фінансовий план, до якого входять наступні складові: звіт про прибуток; звіт про рух грошових коштів; баланс підприємства; показники ефективності та ін.

Розглянемо тепер детальніше сформульовану вище постановку задачі. Для цього введемо понятійну модель «Мотивація-стимул». Мотивація – це внутрішня властивість людини, складова частина його характеру, пов'язана з його інтересами і визначає його поведінку в організації. Стимул – це деякий вплив на людину, метою якого є направити його діяльність, скоректувати поведінку в організації. Існує кілька мотиваційних типів, кожен з яких описує характерна поведінка людини в організації[1–4]. Мотиваційні типи можна розділити на два класи:

- 1) клас унікаючої мотивації: унікаюча мотивація – людина прагне уникнути небажаних для себе наслідків своєї поведінки;
- 2) клас досяжної мотивації: досяжна мотивація – людина веде себе так, щоб досягти певних рубежів, до яких він прагне.

Однієї з основних проблем сучасної кадрової роботи є проблема ефективної мотивації трудової діяльності. Мотивація праці формується ще до початку професійної трудової діяльності, у процесі соціалізації індивідуума шляхом засвоєння їм цінностей і норм трудової моралі й етики, а також за допомогою особистої участі в трудовій діяльності в рамках родини й школи. У цей же час закладаються основи віднесення до праці як цінності, і формується система цінностей самої праці, розвиваються трудові якості особистості: працьовитість, відповідальність, дисциплінованість, ініціативність і т.д., здобуваються первинні трудові навички. Мотивація праці – найважливіший фактор результативності роботи, і в цій якості вона становить основу трудового потенціалу працівника, тобто всієї сукупності властивостей, що впливають на виробничу діяльність. Трудовий потенціал складається із психофізіологічного потенціалу й особистісного (мотиваційного) потенціалу. Можна уявити наступну діаграму, що показує вплив стимулу (впливу) на людину з мотивацією з того чи іншого класу (рисунок).

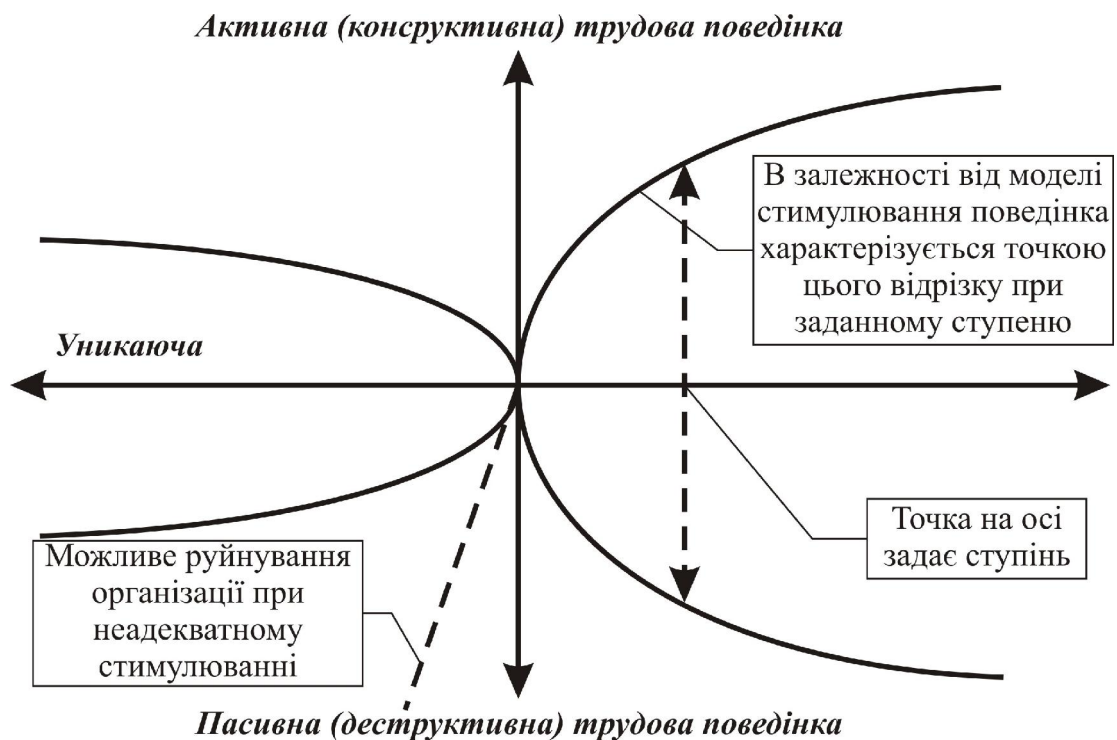


Рис. Вплив стимулювання на поведінку людини при різних типах і ступенях мотивації

Проаналізуємо наведений графік. На горизонтальній осі точки відповідають ступеню мотивації. Чим більший результат бажаний для людини з досяжною мотивацією, тим правіше лежить точка, що описує ступінь мотивації (у правій половині графіка). Відповідно, чим більш небажаний вплив при унікаючій мотивації, тим лівіше лежить відповідна точка на осі (у лівій половині). На людину виявляється стимулююча дія, яка може бути як адекватною, так і ні. У разі гранично адекватного стимулу, поведінка людини гранично активно (конструктивна) – відповідна точка лежить на кривій у верхній половині графіка. Чим більше стимул відрізняється від гранично адекватного, тим нижче лежить точка, що описує поведінку людини на вертикальному відрізку, що проходить через точку, що описує ступінь мотивації людини. При якомусь характері впливу людина перестає реагувати на стимул і її поведінка ніяк з ним не пов'язана. Це відповідає нульовий (по вертикалі) точці відрізка – точці його перетину з горизонтальною віссю. Якщо ж стимулюючий вплив не-

адекватний, то поведінка людини стає пасивною або деструктивною. Це відбивається точками, що лежать нижче горизонтальної осі.

При гранично неадекватній системі стимулювання поведінка стає гранично деструктивною, відповідна точка лежить на кривій в нижній частині рисунку. У правому верхньому квадранті графіка крива має насичення – перехід до більш високого ступеня мотивації при гранично ефективному стимулі призводить до непропорційно меншої зміни поведінки. Це обумовлено природними межами, створюваними технологією і бізнес-процесами в організації. При досягненні цих меж навіть найефективніша поведінка не призводить до зростання ефективності організації, так як ми стикаємося з обмеженням ефективності на рівні технології та бізнес-процесів [5–7]. Аналогічно можна описати залежність у правому нижньому квадранті. Деструктивна поведінка обмежена «міцністю» технології та бізнес-процесів, системою захисту від ризиків і іншими особливостями організації. У лівій частині рисунку криві мають такий же характер, але рівень насичення істотно нижче, ніж для досяжної мотивації. Це пояснюється тим, що:

- по-перше, психологічно наростання страху обмежено і швидко досягає порогу;
- по-друге, в арсеналі організації можливості покарання досить обмежені (максимальне покарання – звільнення, що займає в шкалі цінностей людини місце далеко від страху за життя і т.п.);
- по-третє, є важлива особливість – щоб застосувати покарання (санкцію), треба довести відхилення в поведінці людини від запланованого, а для доказу є обмежені можливості.

Таким чином, в результаті проведеного дослідження літературних джерел було розглянуто існуючі моделі стимулювання персоналу. Основними моделями виступають: грошові, натуральні, моральні, негативні, патерналізм, організаційні, залучення до співволодіння та участі в управлінні. Визначено їх відповідність до мотиваційних типів персоналу. В процесі подальшої розробки бізнес-плану на основі проведеного дослідження та аналізу ринку послуг на прикладі приватних шкіл у роботі виявлені перспективи розвитку даної галузі. Визначена актуальність даного бізнесу та маркетингова стратегія. Як показує практика, мало ставити перед підлеглими конкретні завдання й під строгим

контролем домагатися їхнього виконання. Важливо запалити співробітників, надихнути їх новою ідеєю й об'єднати. У той же час, для того щоб програми по мотивації персоналу працювали з найбільшою ефективністю, необхідно враховувати індивідуальні особливості кожного співробітника, його побажання й прагнення.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідувальних у даному напрямку. У процесі виконання роботи визначено актуальність даного бізнесу та маркетингова стратегія: розроблений маркетинговий план, який дозволяє визначити цільову аудиторію послуг, що надаються; визначені ціни на послуги, виробничий план, в якому надані розрахунки для закупівлі необхідного устаткування і розрахунки витрат на комунальні послуги; організаційний план, який описує форму власності організації, що показує організаційну структуру і розрахунки по заробітній платні для працівників підприємства; визначення ризиків і способів їх запобігання; фінансовий план, який дає економічне обґрунтування фінансових показників проекту; резюме, яке включає основні моменти перелічених вище розділів. Визначено, що для ефективного функціонування будь-якої інноваційної організації, необхідно, щоб була виконана одна важлива умова – забезпечено використання кожного працівника у всьому різноманітті прояву психофізіологічного й мотиваційного потенціалів.

В результаті аналізу показників економічної ефективності встановлено, що запланований інноваційний проект «Школа Майбутнього» є прибутковим, та його слід прийняти до реалізації.

Список літератури: 1. Мотивація та стимулювання персоналу: основи побудови системи стимулювання [Електронний ресурс] / Ю. К. Балашиов, А. Г. Коваль // Кадри предприятия – 2002. – № 7. – Режим доступу до журн. : <http://kapr.ru/articles/2002/7/444.html> 2. Генкін Б.М. Основи управління персоналом / Генкін Б.М., Конакова Г.А., Кочетков В.И. – М.: Вища шк., – 2010. – 280 с. 3. Андреев В.В. Проблемы мотивации керівників та спеціалістів // Управління персоналом. – 2008. – №10. 4. Гадушаурі Г. В. Управління сучасним підприємством: Маркетинг. Менеджмент. Право. Інтегров. системи упр. : Підручник / Г. В. Гадушаурі, Б. Г. Літвак. – Асоц. авт. и изд. «Тандем», М.: ЭКМОС, – 2006. – 336 с. 5. Веснін В. Р. Практичний менеджмент персоналу / Веснін В. Р. – М.: ЮРИСТЪ, – 2001. – 496 с. 6. Мотиваційний клімат організації / Г.Р. Бурлаков //Управління персоналом.– 2006. – №87. – С.14-16.

Надійшла до редколегії 21.11.11

Содержание

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ Й НАУКОВІ РОЗРОБКИ

1. **Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, С.І. БУХКАЛО**
ДІЯЛЬНІСТЬ ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ ПО ПІДВИЩЕННЮ ЯКОСТІ
ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ 3
2. **О.П. АРСЕНЬЕВА**
УМЕНЬШЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ СО СТОРОНЫ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ
ВОДЫ В ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ 13
3. **Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, Л.М. УЛЬЕВ, К.И. СТАВРОВА**
ЭКСТРАКЦИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ
ПЯТИКОЛОННОГО АГРЕГАТА ПРОИЗВОДСТВА СПИРТА 29
4. **Л.М.УЛЬЕВ, Л.А. МЕЛЬНИКОВСКАЯ**
РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ НА УСТАНОВКЕ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
НЕФТИ АВТ А12/2 В РЕЖИМЕ РАБОТЫ БЕЗ ВАКУУМНОГО БЛОКА 38
5. **В.Б. ТРОШЕНЬКИН, Н.Н. ЗИПУННИКОВ, Б.А. ТРОШЕНЬКИН**
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА ИЗ ВОДЫ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЛАВОВ 47
6. **С.В. ЕРЕМЕНКО, А.Г. ТРОШИН**
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТРАНСПОРИРОВКУ ОСАДКА В
КОНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РОТОРА ОСАДИТЕЛЬНОЙ ШНЕКОВОЙ ЦЕНТРИФУГИ 55

МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ

7. **Л.М. УЛЬЕВ, О.А. ЯЦЕНКО**
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ
СЕТЕЙ – HINT 61
8. **С.И. БУХКАЛО, С.Е. ГАРДЕР, О.Ю. ХИМИЧ, К.И. СТАВРОВА, А.С. КАБАНЕЦ,
А.Н. МИРОНОВ, А.А. БОРХОВИЧ, Д.И. ШУЛЬГА**
ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ
КОМПЛЕКСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ 73
9. **Л.М. УЛЬЕВ, Д.Д. НЕЧИПОРЕНКО, О.А. ЯЦЕНКО**
ЭКСТРАКЦИЯ ДАННЫХ ПРОЦЕССА ДЕЭТАНИЗАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ
КАТАЛИЗАТА НА УСТАНОВКЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА 79
10. **А.О. САМИЛОВА, М.М. ЛАТИШЕВА**
ДОСЛІДЖЕННЯ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ МЕТОДАМИ
КОРЕЛЯЦІЙНОГО ТА КОМПОНЕНТНОГО АНАЛІЗІВ 85

ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ЯК ЗАДАЧІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ІННОВАЦІЙ

11. **Л.М. УЛЬЕВ, Д.Д. НЕЧИПОРЕНКО, О.Ю. ВАЛЕНОВА**
ЭКСТРАКЦИЯ ДАННЫХ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА НА
УСТАНОВКЕ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ Л-35-11/600 90

12. В.В. СИВАК, Л.М. УЛЬЕВ, М.В. СОКОЛОВ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ТЕТРАХЛОРИДА ТИТАНА	96
13. Л.М. УЛЬЕВ, А.А. КОВАЛЬЧУК ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ЦЕЛЕВОГО ПРОДУКТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПИГМЕНТНОЙ ДВУОКИСИ ТИТАНА	106
14. С.Д. ДЕМЕНКОВА ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ГЕНЕРАТОРЕ- РЕКТИФИКАТОРЕ АБСОРБЦИОННО-ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК АГРЕГАТОВ СИНТЕЗА АММИАКА	116
15. В.В. БЕРЕЗУЦКИЙ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ ЖИДКОСТИ ДО И ПОСЛЕ ИСТЕЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ В ЗАТОПЛЕННОЙ ПЛОСКОЙ СТЕНКЕ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯТОРА	121
16. Л.М. УЛЬЕВ, О.И. ХИМИЧ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ПОТЕНЦИАЛ И ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДЕВОНСКОЙ НЕФТИ	126
17. И.А. ТЕЛЬНОВ, С.И. ЗАВИНСКИЙ, А.Г. ТРОШИН, В.Ф. МОИСЕЕВ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СУШКИ ОПИЛОК И СТРУЖКИ В ИНТЕНСИВНОМ РЕЖИМЕ	139
18. С.И. ЗАВИНСКИЙ, И.А. ТЕЛЬНОВ, А.Г. ТРОШИН, В.Ф. МОИСЕЕВ ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА СВОЙСТВА БРИКЕТОВ ИЗ ДРЕВЕСНОЙ СТРУЖКИ	145
19. В. Е. ВЕДЬ, А. Г. ТРОШИН, Е. В. КРАСНОКУТСКИЙ, Е.А. ХОМЕНКО ИССЛЕДОВАНИЕ КЛЕЯЩИХ СОСТАВОВ ДЛЯ ДУБЛИРОВАНИЯ АВТОРСКОГО ХОЛСТА	150

ІННОВАЦІЙНІ ЗАХОДИ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНОГО СТАНУ ПІДПРИЄМСТВ

20. М.О. САМИЛОВА, Т.С. ПАВЛЕНКО ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ НА ФОРМУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ СКЛАДОВОЇ РЕГІОНАЛЬНОГО КЛІМАТУ	154
21. С.И. БУХКАЛО, А.В. СЕРИКОВ, О.И. ОЛЬХОВСКАЯ, Н.Е. ТВЕРДОХЛЕБОВА, Д.С. РЕВА, М.Ю. ДАДАШ, О.В. СИДОРЧУК, А.И. КЛИМАШКО, Д.Ю. ЗАДНЕПРОВСКАЯ, Д.В. СЕВОСТЬЯНОВА, О.К. ПОЗДНЯКОВА ОБ УТИЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ КАК КОМПЛЕКСЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ	160
22. Л.О. КРЕМЕНЧУТСЬКА, О.О. ДЕМЬОХІНА, О.І. ОЛЬХОВСЬКА, Л.В. КВАРЦХАВА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ КАПІТАЛЬНИХ ВКЛАДЕНЬ У ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ СТАНЦІЇ	167
23. Г.І. КЛИМАШКО ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ СТИМУЛЮВАННЯ РОБОТИ ПЕРСОНАЛУ В ІННОВАЦІЙНОМУ ПРОЕКТІ	174

Наукове видання

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«Харківський політехнічний інститут»**

Збірник наукових праць

Тематичний випуск
«Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів»

№ 10'2012

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

Обл.-вид. № 101-11

Підп. до друку 10.04.2012 р. Формат 60х84 1/16. Папір офісний.
RISO-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 10. 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