

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

ВІСНИК

**НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХПІ»**

Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів

№ 16 (1059) 2014

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2014

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2014. – № 16 (1059). – 184 с.

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

Збірник виходить українською та російською мовами.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ» внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого Постановою президії ВАК України від 26 травня 2010 р., № 1 – 05/4 (Бюлетень ВАК України, № 6, 2010 р., с. 3, № 20).

Координаційна рада: Л.Л. Товажнянський, д-р техн. наук, проф. (голова);
К.О. Горбунов, канд. техн. наук, доц. (секретар);
А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.; Є.І. Сокол, д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України;
Є.Є. Александров, д-р техн. наук, проф.; А.В. Бойко, д-р техн. наук, проф.;
Ф.Ф. Гладкий, 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. Єпіфанов, канд. техн. наук, проф.; Ю.І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.;
П.О. Качанов, д-р техн. наук, проф.; В.Б. Клепіков, д-р техн. наук, проф.;
С.І. Кондрашов, 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.;
О.К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.; В.І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.;
П.Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.; В. А. Пуляєв, д-р техн. наук, проф.;
М.І. Рищенко, 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 серії:

Відповідальний редактор: Л.М. Ульєв, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар: С.І. Бухкало, канд. техн. наук, проф.

Члени редколегії: 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.

*У квітні 2013 р. Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ», серія «Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів», включений у довідник періодичних видань бази даних **Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA)**.*

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ»
Протокол № 4 від 04. 04. 2014 р.

© Національний технічний університет «ХПІ», 2014

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

УДОСКОНАЛЮВАННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

У статті проведений аналіз методичного комплексу навчання й оцінки знань випускників ВНЗ різного рівня навчання з метою вибору способів компетентнісного підходу до активізації технічної творчості студентів. Описані методики комплексного контролю для деяких видів робіт студентів. Наведені в статті методи дозволяють максимально повно використовувати здатності студентів, що сприяє кращому засвоєнню ними матеріалу для вивчення.

Ключові слова: компетентнісний підхід, комплексний контроль, методичний комплекс навчання й оцінки знань.

Вступ. Поняття освіта у загальному вигляді можна розуміти як передачу накопичених суспільством знань молодому поколінню для розвитку в нього пізнавальних можливостей, а також набуття умінь і навичок для практичного застосування професійних знань. В останні десятиліття в країнах Заходу набула широкого розповсюдження наукова експертиза у сфері освіти, яка здійснюється у формах «педагогічного аудиту», «психолого-педагогічної експертизи», «комплексної гуманітарної експертизи» тощо [1 – 5].

У найбільш розвинених країнах через систему вищої освіти проходить до половини населення. Вона сама по собі є значущою галуззю економіки, як джерело наукових знань і освічених працівників для інших галузей. Традиційно вищу освіту поділяють на два етапи: бакалаврат та магістратура/аспірантура, але в Україні (до приєднання до Болонського процесу) такий поділ стосувався лише аспірантури, а замість бакалаврів і магістрів радянські вузи готували фахівців. На останньому етапі навчання студенти і аспіранти зобов'язані не тільки здобувати освіту у звичайному розумінні цього слова, але й брати безпосередню участь у наукових дослідженнях, а отримання диплома або наукового ступеня залежить від результатів наукової роботи.

© С.І. Бухкало. 2014

Аналіз останніх досліджень та літератури. Альтернативна освіта, також відома як нетрадиційна освіти, це широке поняття, яке може бути використане для позначення всіх форм навчання за межами традиційної освіти. Альтернативна освіта може включати в себе не тільки форми навчання призначені для студентів з особливими потребами, а й форми навчання призначені для широкої аудиторії і використання альтернативних освітніх інноваційних проектів і методів.

Альтернативи останнього типу часто є результатом реформи освіти і зазвичай принципово відрізняються від обов'язкової освіти, наприклад, комплексні інноваційні проекти, які можна розглядати як паралельну освіту. Комплексні інноваційні проекти можуть бути різноманітними за формою та вмістом, вони часто підкреслюють значення малого розміру групи, близьких відносин між студентами та викладачами, і розвиток почуття спільності технічної творчості.

Комплексні інноваційні проекти [5 – 12] можливо вводити у навчання студентів вже з другого курсу і до закінчення магістратури вищого навчального закладу – це система засобів, форм і способів організації освітньої взаємодії, що забезпечують ефективне управління і реалізацію освітнього процесу на основі комплексу цілей і певним чином сконструйованих інформаційних моделей освоюваної реальності – вмісту освіти. Якість вищої освіти у цьому випадку можна класифікувати як сукупність якостей особи з вищою освітою, що відображає її професійну компетентність, ціннісну орієнтацію, соціальну спрямованість і обумовлює здатність задовольняти як особисті духовні і матеріальні потреби, так і потреби суспільства.

Науково-методичне забезпечення вищої освіти включає підготовку навчальної і наукової літератури та забезпечення нею вищих навчальних закладів. Підготовка та забезпечення вищих навчальних закладів навчально-методичною документацією повинна відповідати змісту навчання, визначеному стандартами вищої освіти.

Матеріали та результати досліджень. У НТУ «ХПІ» на кафедрі ректора (інтегрованих технологій, процесів і апаратів) ТОВАЖНЯНСЬКОГО Л.Л. розроблена у 2008–2009 рр. концепція комплексного інноваційного ігрового проектування з метою підвищення інтересу студентів до спеціальності, науково-дослідної роботи й технічної творчості. Такі заходи, в

свою чергу, мають позитивний вплив на відношення студентів до методів рейтингового контролю і, загалом, підвищують результати атестації. Результати подальшого розвитку цієї концепції були представлені в роботі педагогічної майстерні «Комплексні інноваційні проекти як фактори забезпечення технічної творчості студентів» на засіданнях XII Міжнародної школи-семінару (керівник Бухкало С.І.).

Багатофакторність методології обговорюваної теми у вигляді презентацій і доповідей викладачів (Бухкало С.І., Ольховська О.І. та ін.), наукових співробітників НДІ (Зіпунніков М.М.) та студентів (гр. І–39) визначила мотивований творчий професійний інтерес і активність всіх учасників семінару. Обговорення результатів проведення комплексних інноваційних проектів показало багатоваріантності проникнення глобалізаційних процесів у сучасні педагогічні технології. Реалізація тенденцій глобалізаційних процесів у контексті комплексних інноваційних проектів дозволяє вирішувати завдання технології та проектування в області ресурсо- та енергозбереження.

Розробки проводяться під керівництвом викладачів, постійно модернізуються і використовуються в навчальному процесі вже чотири роки. Представляється можливим виділити основні складові елементи методу, підвести певні підсумки, а також сформулювати рекомендації з його застосування. Початковим етапом розробки з'явилася постановка навчальних курсів, які утворюють цикл з відповідних дисциплін і спрямовані на формування навичок створення й опису систем різного рівня складності. Теоретична частина курсів включає матеріал про основні методології, засоби й структуру порівняльного аналізу. Поряд з основним теоретичним матеріалом у кожний з курсів включені блоки прикладів аналізу експериментальних досліджень різних актуальних технологій галузей, реально використовуваних у проектах підприємств. Як показує практика введення інноваційних змін у навчання студентів вищих навчальних закладів, різні рівні підготовки для переходу на Болонські вимоги у країнах ЄС привели до визнання необхідності забезпечення порівняння навчальних програм на базі автономії ВНЗ і різноманіття підходів до процесу навчання. Утворення загальних рекомендованих правил навчання студентів ВНЗ, забезпечує взаємозв'язок між різними системами кваліфікації та їх рівнями для загального вищого та професійного навчання. Такі правила у

майбутньому дозволяють досягнути для кожного випускника ВНЗ основної мети – сприяння подальшому навчанню, тобто покращати можливість працевлаштування, підвищити мобільність та соціальну інтеграцію робочої сили та учнів різних рівнів [8 –10].

Удосконалювання рейтингової оцінки знань проводиться на основі аналізу застосовуваних форм контролю з використанням навчальних та методичних матеріалів, що входять в комплексний контроль, наприклад, з курсу «Загальна технологія харчових виробництв» (ЗТХВ). У таблиці 1 наведена рейтингова оцінка знань студентів однієї із груп факультету технології органічних речовин по дисципліні (ЗТХВ).

Таблиця 1. Рейтингова оцінка знань студентів за кількістю контрольних точок

№	Зміст роботи	Строк здачі	Число балів, max/min
1	ПК	2 ПЗ	4/2
2	ЛЗ	4 тиждень	4/2
3	ПК	4 ПЗ	4/2
4	ЛЗ	8 тиждень	4/2
5	ІДЗ 1	8 тиждень	6/4
6	Контрольна робота 1	8 тиждень	20/10
Сума балів до 8-го тижня (поточна успішність)			42/22
7	ПК	6 ПЗ	4/2
8	ЛЗ	10 тиждень	4/2
9	ПК	8 ПЗ	4/2
10	ЛЗ	16 тиждень	4/2
11	ІДЗ 2	16 тиждень	6/4
12	Контрольна робота 2	8 тиждень	20/10
Сума балів за семестр			84/44
Підсумкова атестація або іспит			20/20
Рейтинг			104/64

Багаторічний досвід реалізації рейтингової системи в НТУ «ХПІ» показує, що її продуктивне використання можливе тільки в умовах правильно підбраного та підготовленого навчального й методичного забезпеченні, чіткого й правильно організованого контролю над усіма

видами роботи студентів – лекції, практика, лабораторні роботи, у тому числі самостійна робота студентів – СРС, обсяг якої становить близько 45% від загального обсягу годин.

Бали за певний вид роботи встановлювалися з урахуванням кількості годин, що приділяються на лабораторні й практичні розробки, а також СРС, у рамках якої даний вид роботи виконувався. Умовні визначення до таблиці 1 визначають: ПК – проміжний контроль; ІДЗ – індивідуальне домашнє завдання за практичними та теоретичними матеріалами; ПЗ – практичні заняття; ЛЗ – лабораторні заняття. Навантаження за цією дисципліною складають наступні чинники: число тижнів – 16; усього аудиторних занять – 112 годин: лекції – 62 години, практичні заняття – 16 годин, лабораторні заняття – 32 години.

Рейтингова оцінка за ІДЗ у вигляді участі у комплексному інноваційному проекті дозволяє оцінити самостійну роботу студентів при його підготовці та реалізації на усіх рівнях виконання. При цьому критерієм є не тільки здатність студента працювати з науково-технічною літературою, але і його вміння аналізувати отримані розрахункові та аналітичні матеріали, використовувати їх для більш повного розкриття заданої теми, його здатність захистити представлену роботу. Порівняно невелику кількість балів, що виділена на оцінку даного виду роботи – 12/8, можна пояснити тим, що, на жаль, у ряді випадків студенти використовують можливості інших студентів не для творчої роботи.

Звичайно, для ефективного використання рейтингової системи необхідна безперервна, чітко організована перевірка всіх виконаних видів робіт, наприклад, комплексні інноваційні проекти, що дозволить організувати процес оцінки знань студентів як безперервний з перших занять і до кінця семестру, при цьому важлива роль викладача, який повинен бути готовий витратити свій час на перевірку всіх видів робіт.

Для успішного розв'язку поставлених перед студентами при вивченні курсу завдань необхідно навчально-методичне забезпечення всіх запланованих контрольних заходів – ІДЗ, контрольні роботи, питання до захисту лабораторних робіт, співпраця зі студентами інших ВНЗ при виконанні основних цілей комплексного проекту та ін. У цьому випадку використовуються навчально-методичні матеріали, що входять в на-

вчально-методичний комплекс дисципліни «Загальна технологія харчових виробництв».

До навчально-методичного комплексу дисципліни входять: навчальна й робоча програми по дисципліні, семестрові календарні плани, опис рейтингової системи по дисципліні із вказівкою на види робіт, контрольних точок, балів за кожний вид робіт, контрольні завдання для поточного й підсумкового контролю знань по дисципліні, навчально-методичні рекомендації для викладачів і студентів за критеріями, які пов'язані із проведенням контролю, тематика індивідуальних домашніх завдань і вимоги до їхнього змісту й оформленню, матеріал поточного лекційного контролю за окремими темами дисципліни, навчально-методичні матеріали з організації самостійної роботи студентів, опубліковані й неопубліковані методичні розробки по даній дисципліні, у тому числі їх електронні версії, перелік використовуваних наочних матеріалів і технічних засобів навчання щодо контролю.

Аналіз учбово-методичного комплексу по ЗТХВ, проведений з урахуванням цієї структури, показав, які розділи курсу необхідно додатково забезпечити методичною літературою, які форми контролю й критерії оцінки потребують зміни, доповнення або коректування. При виконанні ІДЗ група підрозділяється на три–п'ять підгруп, кожна з яких виконує певний вид завдання комплексного інноваційного проекту з різними варіантами вихідних даних. Тому, крім учбово-пізнавальної й інформаційної компетенції, робота над індивідуальними домашніми завданнями сприяє формуванню в студентів комунікативної компетенції, тому що при виконанні таких завдань їм доводиться обмінюватися інформацією, консультиватися в більш сильних студентів і консультивати тих, кому потрібна допомога.

Зазвичай правильні дії студентів дозволяють реалізувати розумові здатності кожного в більш короткий термін, ніж при індивідуальній роботі, але захист роботи проходить в тій формі, яка дозволить перевірити вміння кожного студента діяти самостійно в аналогічних ситуаціях – захист у два етапи.

Новими методами оцінки результатів навчання є, наприклад, комплексні інноваційні проекти з додатковим творчими завданнями (рис. 1), які стосуються кожного студента та мають алгоритми оцінювання.

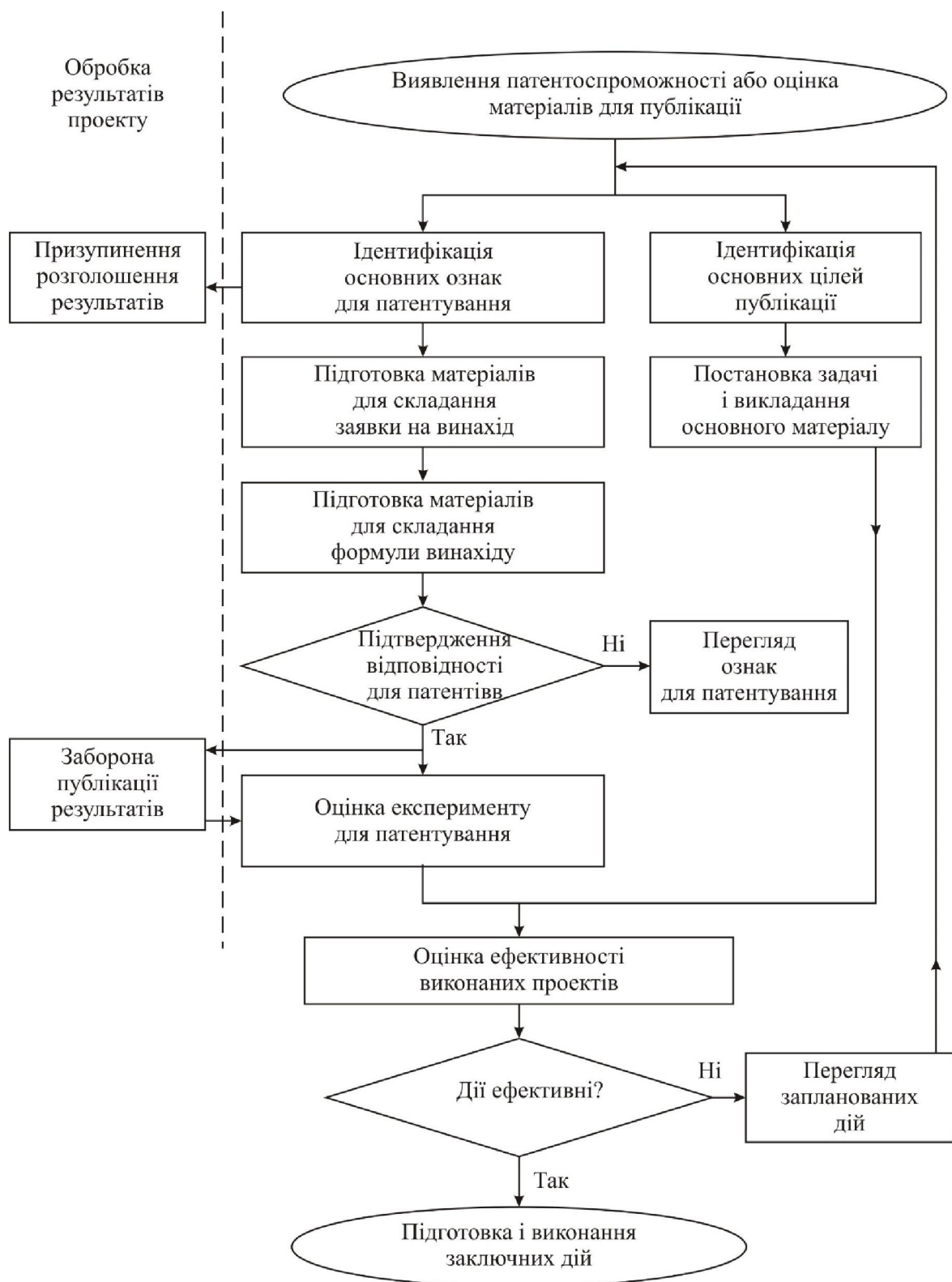


Рис. 1. Алгоритм інформаційної оцінки інноваційного проєкту

Перший етап виконання роботи – це попередній захист, який проходить у присутності викладача та керівника проєкту із метою виявлення

вкладу кожного у спільну працю; другий етап – це остаточний захист, в основному, у вигляді розгорнутої презентації та в присутності фахівців різних рівнів, викладачів, усієї групи студентів й усіх охочих.

До навчально-методичних матеріалів включено ряд публікацій за цією темою з метою складання компетентнісної моделі вищої професійної освіти, всі форми контролю якої спрямовані на комплексне виявлення компетенцій. Звичайно, об'єктивна оцінка компетентностей можлива тільки при використанні сучасного комплексу оцінних засобів. При цьому ніхто не скасовує такі перевірені письмові форми як завдання в тестовій формі й контрольні роботи.

Висновки. Можна відзначити, що в рамках комплексного проектування постійно вдосконалюються методи розвитку технічної творчості студентів, розширюється кількість учасників проекту з різних факультетів та вищих навчальних закладів. Робота вийшла і на Європейський рівень, беручи участь у енергетичному тижні, що проводився ЄС в 2013 р. Основні методичні положення концепції впровадження в навчальний процес комплексного інноваційного ігрового проектування неодноразово презентувалися:

- в доповідях і презентаціях на засіданнях Методичної ради НТУ «ХП»; на міжнародних науково-методичних конференціях з питань фундаментальної освіти і формування гуманітарно-технічної еліти, а також розвитку науково-технічної творчості студентів;

- в експонатах міжнародних виставок «Інноватика в освіті України» (2009 р.) – перше місце; «Сучасні навчальні заклади 2011» (2011 р.), гран-прі НТУ «ХП», перше місце і золота медаль у номінації «Впровадження системи компетенцій – як основи підготовки конкурентоздатних фахівців у вищій школі» – науковий керівник проф. Бухкало С.І.

За результатами роботи школи-семінару дійшли до спільного висновку, що в результаті проведення комплексного міжвузівського інноваційного проектування студенти отримують глибокі знання з основних курсів та навички для проведення самостійної наукової роботи. Було відзначено, що в підготовці та реалізації таких проектів необхідна участь провідних викладачів відповідних дисциплін НТУ «ХП» та інших ВНЗ, а також наукових співробітників профільних НДІ. Висловлено побажання: з метою подальшого розширення впровадження комплексних іннова-

ційних проектів створити на базі НТУ «ХП» сучасний дослідницький центр, оснащений необхідним обладнанням і приладами, що дозволить перемістити дослідний потенціал у нове русло глобалізаційних процесів .

Список літератури: 1. Чепя М.-Л.А. Психологічна експертиза освіти / Збірник наукових праць Інституту психології імені Г.С. Костюка НАПН України «Проблеми загальної та педагогічної психології». Том XII, ч. 5. – К., 2010. – С. 337–341. 2. Юшкова Е.В., Шанина Е.В. Деятельностная модель обучения: формирование позиций «инженер-исследователь», «инженер-проектировщик» / Е.В. Юшкова, Е.В. Шанина // *Пищевая промышленность* – М. 2011. – № 12. – С. 10. 3. Зеленский В.Е. Деятельностная модель обучения: формирование позиций «инженер-исследователь», «инженер-проектировщик» / В.Е. Зеленский // *Пищевая промышленность* – М. 2011. – № 12. – С. 12. 4. Спасенова Г. Новые формы подготовки специалистов для пищевой промышленности / Г. Спасенова // *Пищевая промышленность* – М. 2011. – № 12. – С. 16. 5. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І. Діяльність вищого навчального закладу по підвищенню якості підготовки фахівців / Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, С.І. БУХКАЛО // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2012. – № 10. – с. 3 – 12. 6. Маюрникова Л.А., Теоретические аспекты инновационного развития пищевой отрасли по приоритетным проектам в региональных условиях / Л.А. Маюрникова, С.В. Новоселов // *Хранение и переработка сельхозсырья* – М. 2007. – № 12. – С. 8. 7. Бухкало С.И. Применение математического моделирования для комплексных предприятий по переработке отходов / С.И. Бухкало, С.Е. Гардер, О.Ю. Химич и др. // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2012. – № 10. – с. 73 – 78. 8. Бухкало С.И., Сериков А.В., Ольховская О.И. и др. Об утилизации полимерных отходов как комплексе инновационных проектов / С.И. Бухкало, А. В. Сериков, О.И. Ольховская и др. // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2012. – № 10. – с. 160 – 166. 9. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І. Можливості упровадження системи компетенцій у сучасних навчальних закладах // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2011. – № 21. – с. 3 – 12. 10. Бухкало С.И., Зипунников Н.Н., Бындыч О.А.. Возможности водородной энергетики в инновационных комплексных предприятиях // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2011. – № 21. – с. 46 – 53. 11. Бухкало С.И., Гардер С.Е., Ольховская О.И. и др. Регулирование эффективности ресурсо- и энергосбережения на комплексных предприятиях по переработке отходов // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2012. – № 10. – с. 72 – 80. 12. Бухкало С.И.. Анализ эколого-правовой базы комплексной утилизации отходов полимеров / С.И. Бухкало, Н.Н. Зипунников, О.И. Ольховская и др. // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2011. – № 21. – с. 140 – 145.

Надійшла до редколегії 18.11.12

УДК 378:65.011.56

Удосконалювання методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів /

С. І. Бухкало // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХП». – 2014. – № 16 (1059). – С. 3 – 11. Библиогр.: 12 назв.

В статье приведены основные положения концепции подготовки специалистов и внедрения системы компетенций как новых форм обучения студентов ВУЗов для комплексных инновационных проектов нового поколения с поддержкой ключевых элементов полного жизненного цикла создания конкурентоспособной наукоемкой продукции

Ключевые слова: комплексные инновационные проекты, методический комплекс обучения и оценки знаний.

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

Keywords: the complex innovation projects, methodical complex of training methods and estimation of knowledges.

И.Г. ГАВРИЛИЧЕНКО, аспирант, НТУ «ХПИ»;
Ю.Б. ДАНИЛОВ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЫПАРИВАНИЯ ПРИ ПЛЁНОЧНОМ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ

Рассмотрены экспериментальные исследования выпарного аппарата плёночного типа с многократным использованием тепла греющего пара. Предложена математическая модель течения плёнки раствора и определения коэффициента теплоотдачи при гравитационном режиме течения.

Ключевые слова: выпаривание, теплопередача, плёночное течение, испарение, теплоотдача.

Введение и постановка задачи. Плёночные процессы выпаривания получили достаточно широкое распространение в химической, пищевой, целлюлозно-бумажной, фармацевтической, атомной энергетике и других отраслях техники. В тонких жидкостных слоях, имеющих незначительное термическое и диффузионное сопротивление, частицы интенсивно перемешиваются, что, в свою очередь, вызывает интенсивный перенос тепла и массы. Этому способствуют процессы волнообразования, искусственная турбулизация потока специальными методами. Однако технологическое оформление плёночных потоков вызывает затруднения связанные с необходимостью создания равномерного распределения по периметру жидкого слоя с обеспечением равномерного распределения жидкости по поверхности. При разрыве плёнки жидкости снижается интенсивность теплообмена и приводит к накипеобразованию. Использование плёночных аппаратов при выпаривании недостаточно чистых жидкостей приводит к загрязнению поверхностей теплообмена, забивке распределительных устройств, что ухудшает распределение жидкостной плёнки.

Анализ последних достижений и литературы. В настоящее время имеется множество литературных источников, рассматривающих теплообмен и выпаривание при плёночном движении раствора. Однако эти процессы достаточно сложны и специфичны для различных конструкций аппаратов, поверхностей теплообмена физико-химических свойств жидкостей, давлений и температур, что требует дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Целью проведения экспериментов является получение уточненных

законов Ньютона, Фурье, Фика о переносе тепла и массы, и использования теории подобия применительно к решаемым прикладным задачам. При проведении экспериментальных исследований, как известно, наиболее сложными и труднодостижимыми результатами являются: достаточно точное определение температур теплопередающих стенок и потоков теплоносителей (для получения значений температурного напора) и интенсивности переноса тепла в функции «полезных» гидросопротивлений. И, если первая задача (о распределении температур) в результате многочисленных исследований и обобщений решена достаточно полно (от простейшего движения в трубах до течений в каналах сложной формы), то вторая – определяется множеством частных решений, зависящих от геометрической формы каналов, их удобообтекаемости, траектории течений, режимов движений, изменений физических параметров, термодинамических свойств и другое.

Для турбулентных (квазистационарных) течений, широко используемых для интенсивной передачи тепла, локальный коэффициент теплоотдачи определяется по закону Ньютона – Рихмана:

$$dQ = \alpha \cdot (t_{ct} - t_{жс}) \cdot dF \quad (1)$$

Среднее значение коэффициента теплоотдачи α находится с помощью интегрирования уравнения и осреднения локальных значений температур:

$$\bar{\alpha} = \frac{Q}{F \cdot (\bar{t}_{ct} - \bar{t}_{жс})} \quad (2)$$

Как уже ранее сказано современные направления развития и совершенствования ресурсосберегающих технологических процессов открывает большие возможности и перспективы использования пленочных течений при упаривании растворов. Оптимальные режимы работы пленочных аппаратов имеют место при невысоких температурных напорах, что позволяет создавать выпарные аппараты с многократным использованием тепла греющего пара.

Рассматриваемые выпарные аппараты (рис.1) являются аппаратами пленочного типа, обладают высокими коэффициентами теплопередачи и низкими энергозатратами, ввиду исключения из конструкции многочисленных гидropотерь в громоздких системах и устройствах коммуникаций для перетоков раствора, пара и конденсата, имеющих место в действующих многокорпусных установках. Они имеют низкую металлоемкость из-за оригинального решения вопросов сепарации между теплообменными элементами, а принятые конструктивные решения обеспечивают высокую устойчивость конструкций, что позволяет применять тонколистовой конструкционный материал.

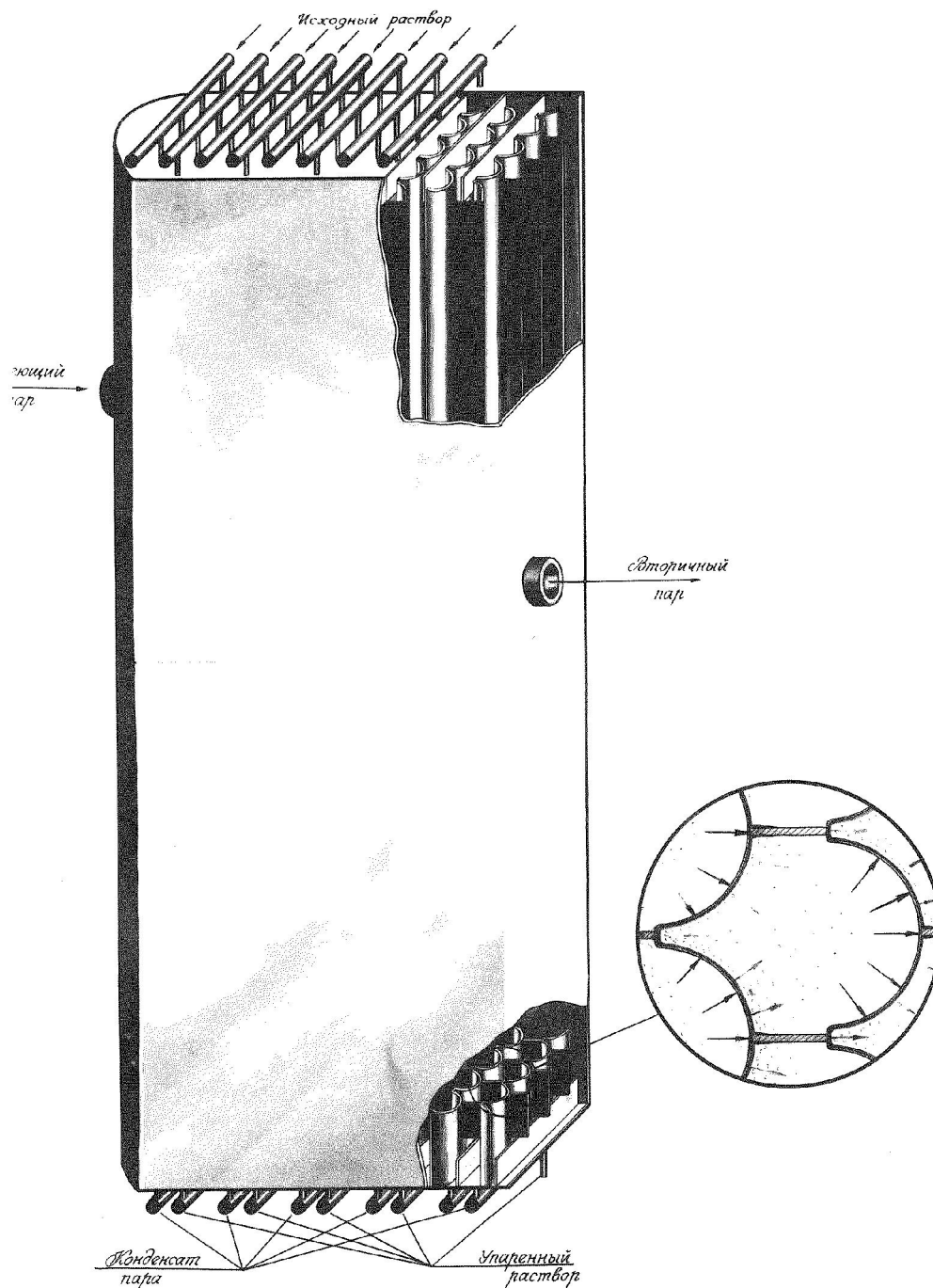


Рис.1 Выпарной аппарат плёночного типа с многократным использованием тепла греющего пара

Технические решения, заложенные в конструкции выпарных аппаратов с многократным использованием тепла греющего пара, в едином агрегате не имеют аналогов в отечественной и зарубежной технике. Для создания промышленных образцов выпарных аппаратов плёночного типа с многократным использованием тепла греющего пара, поверхности теплообменных элементов, которые выполнены в виде из листа, созданы

теории и методы расчетов и проведены экспериментальные исследования и подтверждена их работоспособность, изучена их гидродинамика и теплообмен.

Экспериментальные исследования многоступенчатого выпаривания в едином агрегате. Предложенные исследования конструкций выпарных аппаратов позволяют изучить процессы выпаривания растворов при многократном использовании тепла греющего пара и найти оптимальные пути высокоэффективного использования теплоты греющего пара, выпариваемого раствора и конденсата.

Программа и методика исследований. Целью работы является экспериментальное подтверждение работоспособности и эффективности применения выпарных аппаратов пленочного типа, поверхности теплообмена которых выполнены из листа и имеют форму вертикальных полуцилиндров, что позволит создать выпарные аппараты нового типа.

Задачами работы являются: исследование влияния на теплообмен плотности орошения, полезной разности температур, конструктивных особенностей аппаратов и свойств раствора; подтверждение работоспособности конструкции, распределение тепловой нагрузки между стадиями упаривания, получение теплотехнических характеристик; создание методики расчета коэффициента теплопередачи данных конструкций теплообменных элементов.

Схема экспериментальной установки и условия проведения работ. Установка для исследования выпарного аппарата с теплообменными элементами выполненными в виде вертикальных цилиндров.

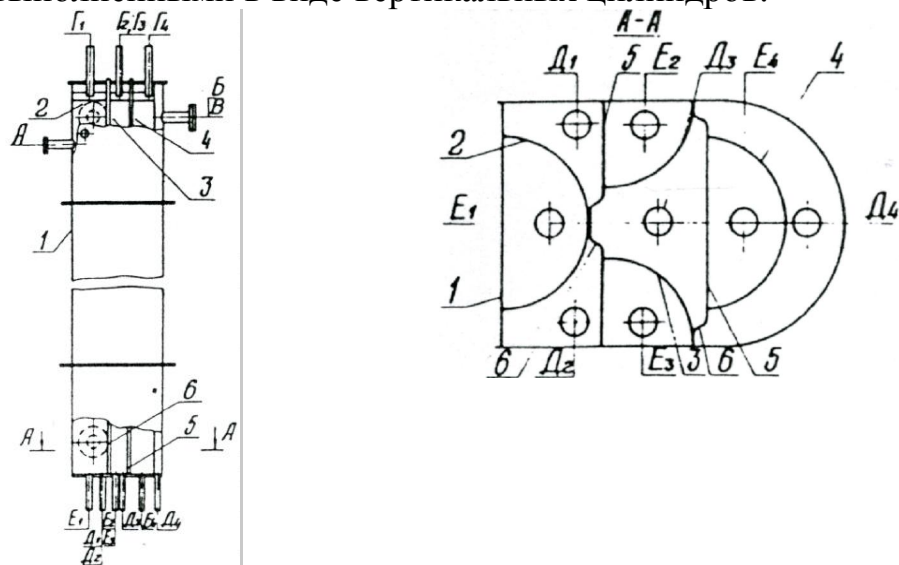


Рис.2. Экспериментальный выпарной аппарат пленочного типа с трехкратным использованием тепла с вертикальными теплообменными элементами, исполненными в виде полуцилиндров: 1 – корпус аппарата; 2, 3, 4 – теплообменный элемент; 5 – нижняя разделительная перегородка, 6 – вертикальный упор

Объектом исследования является выпарной аппарат пленочного типа с трехкратным использованием тепла греющего пара, теплообменные элементы которого выполнены в виде вертикальных полуцилиндров. Конструкция аппарата представлена на рис. 2 и 3.

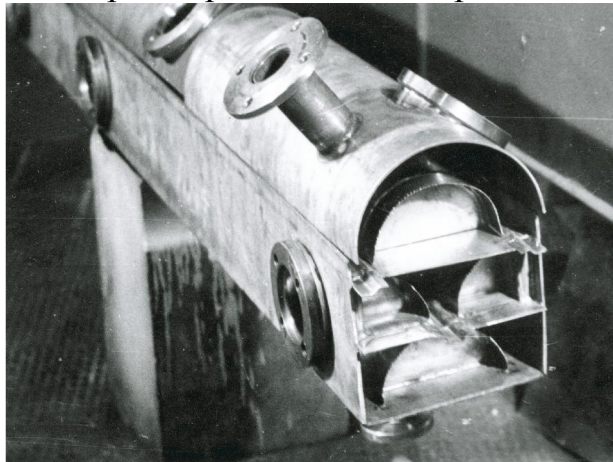


Рис.3. Общий вид выпарного аппарата при сборке

Схема экспериментальной установки для изучения гидродинамики и теплообмена в выпарном аппарате с многократным использованием тепла греющего пара, выполненного в виде полуцилиндров, представлена на рис. 4.

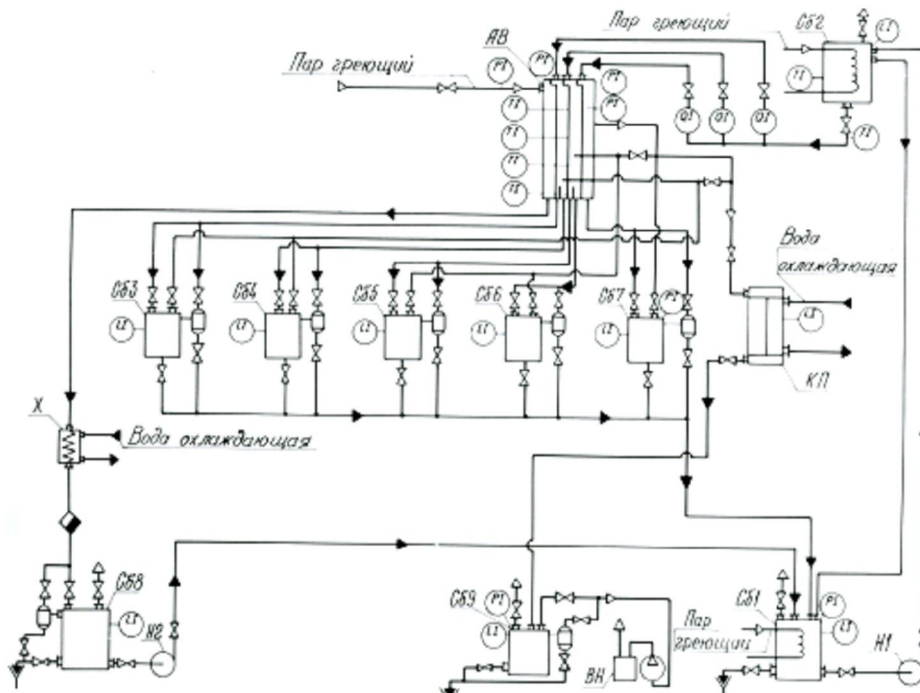


Рис. 4. Схема экспериментальной установки с выпарным аппаратом многократного использования тепла греющего пара с теплообменными элементами, выполненными в виде полуцилиндров: АВ – выпарной аппарат; Сб 1, Сб 2 – сборник исходного раствора; Сб 3, Сб 5, Сб 7 – сборник упаренного раствора; Сб 4, Сб 7, Сб 9 – сборники конденсата вторичного пара; Сб 8 – сборник конденсата греющего пара; КП – конденсатор; X – холодильник; Н1, Н2 – насосы; ВН – вакуумный насос.

Экспериментальный выпарной аппарат имеет следующие характеристики: размеры теплообменного аппарата: радиус – 0,075 м, длина – 1,83 м; количество стадий – 3; поверхность нагрева каждой стадии – 0,432 м²; материал теплообменного элемента – сталь 12Х18Н10Т.

Установка работает следующим образом (рис. 5.). Исходный раствор,

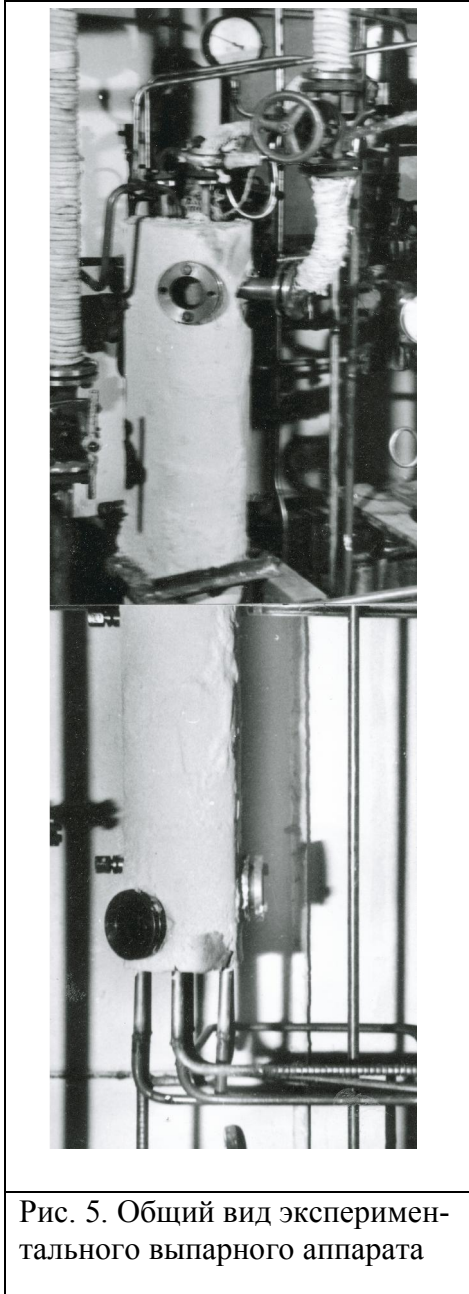


Рис. 5. Общий вид экспериментального выпарного аппарата

подогретый до температуры кипения раствора на первой стадии выпаривания в сборнике Сб2, через ротаметры, позволяющие поддерживать необходимый расход жидкостного раствора на каждую из трех стадий выпаривания, поступает в выпарной аппарат АВ и в виде тонкой пленки стекает по выпуклой поверхности теплообменных элементов. Первая ступень выпаривания обогревается греющим паром заданного давления. Выпаренная на первой стадии вода обогревает вторую стадию выпаривания. Вторичный пар второй стадии обогревает третью ступень выпаривания, с которой вторичный пар конденсируется в поверхностном конденсаторе и собирается в мерном сборнике Сб9. Конденсат греющего пара, предварительно охладившись в холодильнике Х, собирается в сборнике Сб8. Упаренный раствор первой стадии выпаривания собирается в сборнике Сб8, а конденсат вторичного пара – Сб4. Упаренный раствор и конденсат вторичного пара второй стадии собирается соответственно в сборниках Сб 5 и Сб 6. Упаренный раствор и конденсат третьей стадии собирается в сборниках Сб 7 и Сб 8. Раствор и конденсат из сборников сливается в емкость приготовления исходного раствора Сб1, с которого насосом Н1 исходный раствор подается в растворный бак исходного раствора Сб2.

Перечень замеров и средства измерения. В процессе работы измерялись и фиксировались параметры работы установок. Давление греющего пара, вторичного пара первой стадии выпаривания измерялось образцовыми пружинными манометрами класса 0,4 со шкалой 0–1 кгс/см² с ценой деления 0,01 кгс/см². Разрежение измерялось мановакууметром со шкалой – 1-1 кгс/см² с ценой деления 0,05 кгс/см² класса 0,4;

образцовым вакуумметром со шкалой – 1–0 кгс/см² с ценой деления 0,01 кгс/см² класса 0,4.

Температура исходного раствора, вторичного и греющего пара измерялась лабораторными термометрами с ценой деления 0,1 град со шкалами 0 ÷ 100 °С, 50 ÷ 150 °С, 100 ÷ 150 °С.

Расходы исходного раствора, конденсата греющего пара, вторичного пара первой, второй и третьей стадии, упаренного раствора первой, второй и третьей стадий замерялись с помощью мерных баков с перехватчиками (предварительно тарированными), и секундомера, погрешность измерения ± 1,0 %.

В ручном режиме поддерживались параметры работы установки: давление греющего пара; разрежение вторичного пара последней стадии; расход исходного раствора стабилизировался на каждую стадию выпаривания по показаниям ротаметров РС-7 и РС-5. Общая погрешность измерения составила не более 10 %

Результаты исследований выпарного аппарата с теплообменными элементами, выполненными в виде цилиндров. Результаты испытаний представлены на рис. 6 и 7. На рис. 6 отражены результаты испытаний выпарного аппарата, на примере работы первой ступени выпаривания, а именно, влияние на коэффициент теплопередачи объемной плотности орошения от $1 \cdot 10^{-4}$ м²/с до $4 \cdot 10^{-4}$ м²/с при вакууме 0,08 МПа. Из графика видно, что при плотности орошения свыше $2 \cdot 10^{-4}$ м²/с среднее значение коэффициента теплопередачи резко возрастает. Связано это с переходом ламинарно-волнового течения пленки в турбулентное.

В общем полученная закономерность изменения среднего коэффициента теплопередачи в зависимости от плотности орошения (числа Рейнольдса). Зависимость среднего значения коэффициента k от объемной плотности орошения представлены на рис. 6.

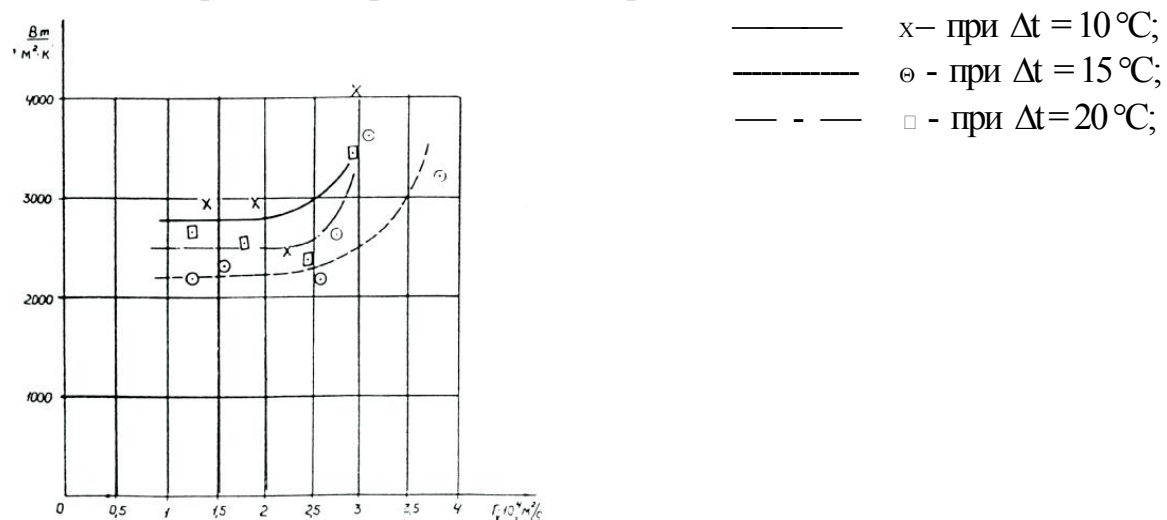


Рис. 6. Среднее значение k от объемной плотности орошения Γv

На рис. 7 представлены зависимости изменений удельной тепловой нагрузки от полезной разности температур Δt при объемных плотностях орошения от 0,00012 до 0,000381 м²/с.

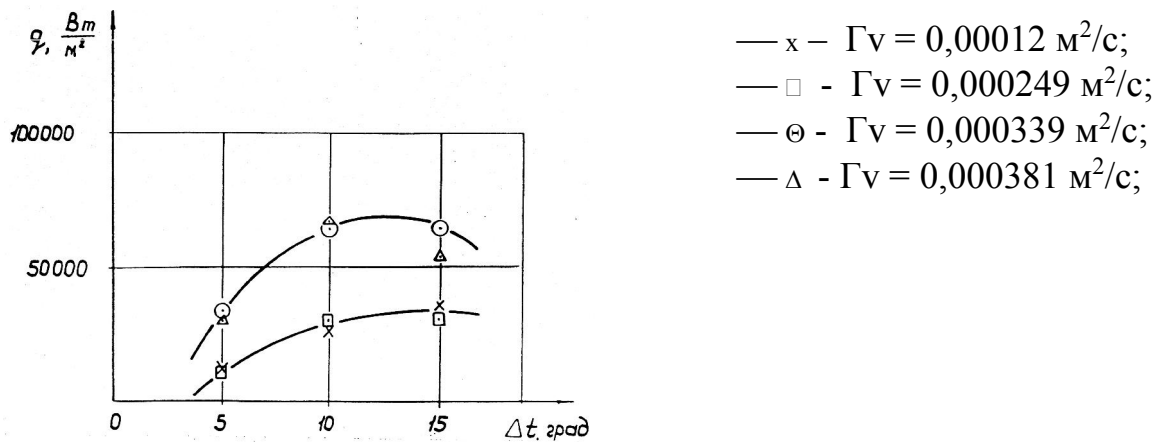


Рис. 7. Зависимость удельной тепловой нагрузки q от полезной разности температур

Из графика видно, что в области поверхностного испарения удельный тепловой поток растет пропорционально полезной разности температур. С ростом полезной разности температур тепловая нагрузка достигает предела, начиная с которого число центров парообразования возрастает, паросодержание потока достигает максимума, и процесс идет на границе устойчивой пленки, что приводит к снижению тепловой нагрузки и коэффициента теплоотдачи. Следовательно, работу выпарного аппарата *выгодно осуществлять при малых разностях температур, что целесообразно и возможно при многократном использовании тепла греющего пара.*

Результаты испытаний показали устойчивую и высокоэффективную работу выпарного аппарата с многократным использованием тепла греющего пара на примере аппарата с трехкратным использованием. На работоспособность теплообменного элемента, выполненного в виде вертикального полуцилиндра, влияет целый ряд конструктивных и технологических факторов. С точки зрения связанной задачи гидродинамики и теплообмена можно выделить следующие факторы: уменьшение поверхности теплообмена при движении раствора от периферии к центру и увеличение при этом толщины стекающей пленки; уменьшение толщины пленки за счет испарения растворителя; изменение плотности теплового потока от греющего пара к раствору, связанное, прежде всего, с изменением толщины пленки раствора; изменение температуры кипения раствора при изменении его концентрации.

Методика расчета коэффициента теплопередачи. На работоспособность теплообменного элемента, выполненного в виде вертикального полуцилиндра, влияет целый ряд конструктивных и технологических

факторов. С точки зрения связанной задачи гидродинамики и теплообмена можно выделить следующие факторы: за счет изменением толщины пленки раствора при испарения растворителя; изменение плотности теплового потока от греющего пара к раствору; изменение температуры кипения раствора при изменении его концентрации.

Исходными данными для расчета являются: G_0 (кг/с), R_0 (м), L (м), φ (°), t_{rn} (°C), t_{bn} (°C), δ_s , r , λ_p , λ_s , ρ_p , μ_p . Вычисляем комплексы:

$$\eta = \frac{\delta_p}{\delta_0}; \quad \xi = \frac{x}{R_0}; \quad S_p = \frac{\lambda_s \cdot (t_{zp} - t_k) \cdot R_0^2}{r \cdot G_0 \cdot \delta_0}; \quad k_\lambda = \frac{\lambda_s}{\lambda_Q}; \quad k_s = \frac{S_s}{S_0}, \quad (3)$$

Проводим численное решение задачи Коши для уравнения:

$$\frac{d_\eta}{d_\xi} = \frac{\eta \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)}{3 \cdot \left(1 - \xi \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)\right)} - \frac{2 \cdot \pi}{3 \cdot S_p \cdot k_i \cdot \eta^2 \cdot (k_i \cdot \eta + k_s)}, \quad (4)$$

с начальным условием $\eta(\xi = 0) = 1,0$.

Для значения $\xi = \frac{L}{R_0}$ находим численным интегрированием значение

$$\eta_0 = \eta(\xi_0), \quad (5)$$

Определяем локальный коэффициент теплопередачи:

$$k_L = \frac{\lambda_s \cdot (t_{rn} - t_k)}{k_\lambda \cdot (\delta_L + \delta_s)}. \quad (6)$$

Определяем средний коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{\lambda_s \cdot (t_{zp} - t_k)}{k_\lambda \cdot \left(\frac{(1 + \eta_0) \cdot \delta_0}{2} + \delta_s\right)}. \quad (7)$$

Перечень принятых условных обозначений: G – расход раствора, кг/с; W – расход выпаренной воды, кг/с; t – температура, °C; c – удельная теплоемкость, кДж/кг, °C; Γ – поверхность теплообмена, м²; Π – периметр теплообменного элемента, м; d – диаметр, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; L – длина, м; P – давление, Па; Q – тепловая нагрузка, Вт; q – удельная тепловая нагрузка, Вт/м²; R – радиус, м; r – скрытая теплота парообразования, Дж/кг; U – скорость, м/с; U_x – ось координат в направ-

лении течения, м; y – ось координат, направленная нормально к направлению течения, м; y_z – ось координат, м; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² К); Γ – массовая плотность орошения, кг/(м · с); Γ_y – объемная плотность орошения, м²/с; δ – толщина пленки, м; Θ – краевой угол смачивания, град.; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К); μ – динамическая вязкость жидкости, Па · с; ν – кинематическая вязкость жидкости, м²/с; Q – плотность, кг/м³; σ – поверхностное натяжение жидкости, Н/м; τ – время, с; φ – угол, град.; $k_{nl} \frac{\sigma^3 \cdot Q}{q^4 \cdot \mu}$ – пленочное число, (критерий

Капицы); $Ku = \frac{q}{\rho_n \cdot U_x}$ – критерий кипения; $Re = \frac{4 \cdot \Gamma_v}{\nu}$ – критерий Рейнольдса для пленочного течения.

Индексы: ρ – раствор; b – выпаренная вода; k – кипение; 0 – начальная величина; bn – вторичный пар; gn – греющий пар; s – стенка элемента; $исх.$ – исходный раствор; $1, 2, 3$ – стадия выпаривания.

Заключение и выводы. Современное состояние отечественной нефтегазохимической техники, мировые тенденции ее развития, а также национальные научные разработки, включающие экспериментальные исследования опытных и опытно-промышленных образцов высокоэффективных теплообменных и выпарных устройств, представляющих энерго-сберегающую технику новых поколений, позволяют сформировать приоритетные направления работ и пути реализации.

Список литературы: 1. Данилов Ю.Б, Гавриличенко И.Г. Выпаривание при гравитационном течении плёнки раствора // Вестник НТУ «ХПИ», 2013. – №55. – С.148–154. 2. Данилов Ю.Б, Ульев Л.М. Теоретические и экспериментальные исследования теплопередачи и кипения в выпарных аппаратах со стекающей плёнкой// Интегрированные технологии энергосбережения. –Х.: НТУ «ХПИ», 2012. – №3. – С 84–96. 3. Гимбутис Г. Теплообмен в гравитационном течении плёнки жидкости // Вильнус. Моксла. 1988. 232с. 4. Воронцов Е.Г., Татанайко Ю.М. Теплообмен в жидкостных плёнках // Киев. Техника. 1972. – 196с.

УДК 696.41

Экспериментальные исследования теплогидродинамических процессов выпаривания при плёночном течении жидкости / Гавриличенко И.Г., Данилов Ю.Б. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х.: НТУ «ХПІ» – 2014. – № 16 (1059). – С. 12 – 21. Бібліогр.: 4 назв.

Проведені експериментальні дослідження випарного апарату плівчатого типу з багатократним використанням тепла гріючої пари. Запропонована математична модель течії плівки розчину та визначення коефіцієнту тепловіддачі при гравітаційному режимі течії.

The experimental study of the film type evaporator with multiple use heat heating steam. A mathematical model of film flow solution and determine the coefficient of heat transfer in a gravitational flow regime.

Keywords: evaporation, heat transfer, film flow, evaporation, heat.

М.С. МАЛЬОВАНИЙ, д-р техн. наук, НУ «Львівська політехніка»,
Львів;

О.Г. АБЛЕЄВ, асистент, СумДУ, Суми

КІНЕТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ТОКСИЧНИХ КОМПОНЕНТІВ ОКИСНИКІВ РАКЕТНОГО ПАЛИВА

Предметом дослідження є процес утилізації токсичних газів, що містяться в окиснювачі ракетного палива, в азотну кислоту. Досліджено процес взаємодії розчину карбаміду з розчином тетроксиду діазоту (N_2O_4) в азотній кислоті. У статті розглядаються експериментально отримані залежності та кінетичні характеристики, а саме порядок реакції та енергія активації, які необхідні для визначення механізму процесу, та встановлення оптимальних умов проходження реакції з метою збільшення виходу продукту реакції.

Ключові слова: окиснювачі ракетного палива, тетроксид діазоту, порядок реакції, енергія активації

Вступ. На сучасному етапі розвитку України її техногенна безпека стає рівноцінною за своїм значенням національній безпеці. Однією з основних загроз в природно-техногенній сфері є об'єкти оборонного комплексу. Особливе побоювання викликають токсичні компоненти - окиснювачі, які використовуються в ракетах, що працюють на рідкому паливі. Не дивлячись на те, що з України вже вивезено на утилізацію до Росії декілька тисяч тонн таких некондиційних відходів, проте залишаються на озброєнні та використовуються в даний час ракети з аналогічними окиснювачами.

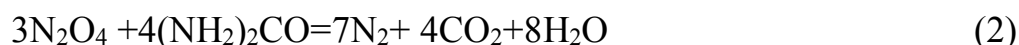
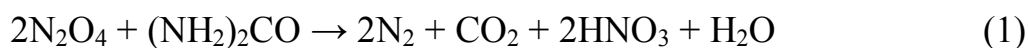
Аналіз останніх досліджень та літератури. Кабінет Міністрів України видав Постанову (№ 874 від 29.09.2010) про затвердження Державної цільової програми утилізації компонентів рідкого ракетного палива на 2010-2014 роки. Метою Програми є поетапна утилізація всіх надлишкових запасів компонентів рідкого ракетного палива і його компонентів, з використанням технологічних процесів, що відповідають чинним вимогам техногенної та екологічної безпеки [1, 2, 3].

© М.С. Мальований, О.Г. Аблеев. 2014

Мета досліджень, постановка проблеми. З метою переробки азотнокислого окиснювача в мінеральне добриво, в роботі планується отримати з нього проміжний продукт - азотну кислоту. Процеси, що відбуваються, пов'язані із взаємодією тетроксиду діазоту (N_2O_4), що міститься в окиснювачі, з водними розчинами. У роботі вивчався один з етапів переробки некондиційних азотнокислих окиснювачів ракетного палива в добриво з використанням розчинів карбаміду ($(NH_2)_2CO$). Метою досліджень є вивчення кінетичних закономірностей процесів утилізації токсичних газів (тетроксиду діазоту (N_2O_4)), що містяться в окиснювачі, з одержанням азотної кислоти.

Матеріали досліджень. Як вихідні речовини використовували меланж, який є складною сумішшю складу (%): HNO_3 -75; N_2O_4 -22; H_2O -2; інші домішки – 1, а також карбамід (по ГОСТ 2081-92), з якого готували водні розчини із масовою часткою 5 %. Процес досліджували з використанням експериментальної установки, що складається з лабораторного міксера та термостата з колбою, в яку заливали модельний розчин (водний розчин карбаміду) і додавали певний об'єм окиснювача.

Результати досліджень. Досліджуваний процес в узагальненому вигляді може бути описаний такими рівняннями реакцій:



Приведені рівняння реакцій є орієнтовними, оскільки реакції, що відбуваються за участю азотної кислоти та її оксидів, це багатостадійний гетерогенний процес, швидкість якого залежить не тільки від концентрацій компонентів та температурних режимів, а і від гідродинамічних умов в апараті [4, 5, 6]. Однак, за показниками об'ємів газів, що виділяються під час реакції, а також за визначенням виходу продукту реакції (азотної кислоти) можна стверджувати, що наведені реакції відбуваються в досліджуваній системі.

На рис. 1 представлений графік залежності виходу продукту реакції – утворення азотної кислоти з N_2O_4 за рівнянням реакції (1), від кількості окиснювача, що вводиться в реактор. Як видно з рис.1, збільшення кількості окиснювача, що вводиться в реактор, приводить до зменшення перетворення тетроксиду діазоту N_2O_4 в азотну кислоту.

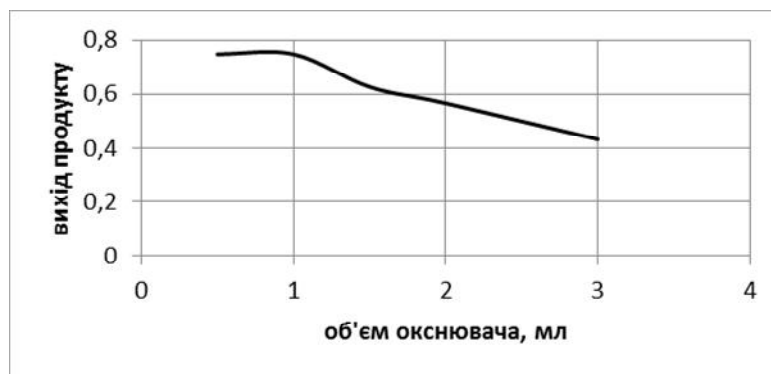


Рис 1. Залежність виходу продукту реакції (утворення азотної кислоти з N_2O_4 по рівнянню (1)) від кількості окиснювача, що вводиться в реактор

Це свідчить про можливість проходження паралельної реакції (2), в якій кислота не утворюється. На користь цього свідчить і той факт, що об'єми газів, які виділяються під час реакції, не відповідають теоретично прогнозованим за рівнянням реакції (1). На рис.2 представлена залежність об'ємів газів, що утворюються в системі, від кількості окиснювача, що вводиться.

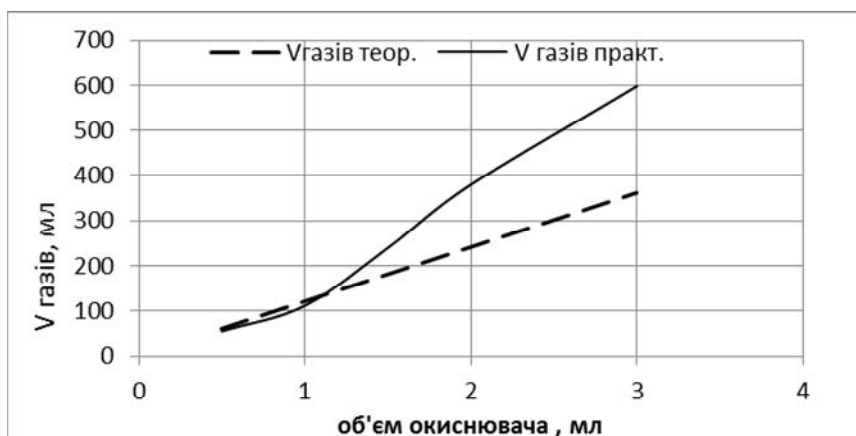


Рис 2. Залежність об'ємів газів, що утворюються, від кількості окиснювача, що вводиться в систему

Як видно з рис 2, у випадку збільшення об'єму окиснювача, що вводиться в реактор, кількість газів збільшується. Однак, збільшення об'ємів газів не відповідає реакції (1). Теоретично розраховані об'єми газів за реакцією (1) значно менші, ніж практично одержані в ході експерименту. Реакція, що описується рівнянням (2), відрізняється значним виділенням газів, і саме її проходження спричиняє збільшення газовиділення в сис-

темі. Таким чином можна стверджувати, що у випадку збільшення кількості окиснювача, внесок реакції, що відбувається за рівнянням (2), в загальний процес збільшується.

Отже, у досліджуваній нами системі відбувається паралельне протікання кількох різних реакцій. Все це вимагає встановлення кінетичних характеристик процесу, а саме, визначення порядку реакції та енергії активації.

Для визначення порядку реакції за одним із компонентів - окиснювачем тетроксиду діазоту (ТД) N_2O_4 , використовували так званий метод надлишкових концентрацій (реакції псевдопершого порядку), коли концентрацію одного з компонентів роблять свідомо надлишковою. У нашому дослідженні була прийнята кількість карбаміду в розчині з великим надлишком в порівнянні з кількістю ТД (N_2O_4). Як відомо, в такому випадку витрачанням надлишкового реагенту в процесі реакції можна знехтувати і вважати постійним. Тоді кінетичне рівняння реакції буде мати вигляд :

$$w = k' \cdot C_{ТД}^n, \quad (3)$$

де $k' = k \cdot C_{КА}^n$,

n – порядок реакції за досліджуваним компонентом,

$C_{КА}$ концентрація карбаміду (моль/л),

$C_{ТД}$ – концентрація тетроксиду діазоту N_2O_4 (моль/л).

Логарифмування рівняння (3) дає рівняння прямої в координатах $\ln W - \ln C_{ТД}$:

$$\ln w = \ln k' + n \cdot \ln C_{ТД} \quad (4)$$

Тангенс кута нахилу цієї прямої до осі дорівнює порядку реакції за тетроксидом діазоту N_2O_4 . Як вихідні дані для побудови графіка, за яким визначається порядок реакції (рис. 3), використовували результати отримані в ході експериментальних досліджень.

Показник швидкості процесу оцінювали, як час (сек.) від початку введення окиснювача в розчин карбаміду, до припинення активного виділення газів в ході реакції. Концентрація окиснювача визначалася кількістю речовини N_2O_4 в заданому об'ємі модельного розчину (моль/л). Значення вказаних показників наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати експериментальних досліджень швидкості реакції від концентрації одного з компонентів – окиснювача N_2O_4

Об'єм окиснювача, мл	$v_{\text{вих}} N_2O_4, \text{моль}$	Об'єм 5% розчину карбаміду, мл	Час реакції, с
0,5	0,0018	50	210
1	0,0036	50	150
1,5	0,0054	50	125
2	0,0072	50	90
3	0,0108	50	60

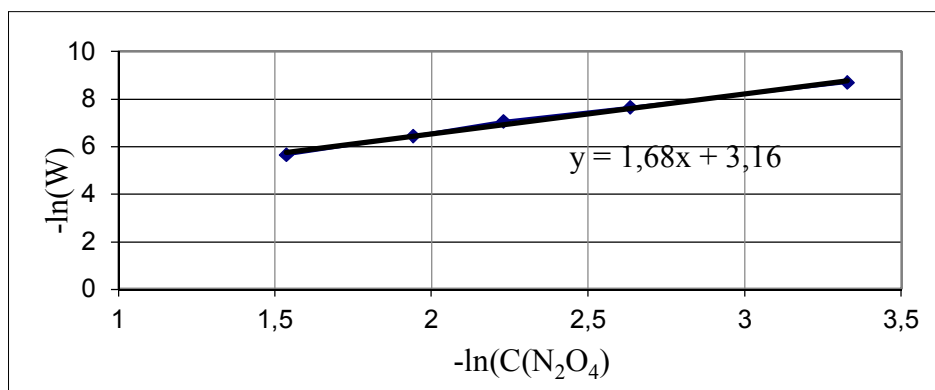


Рис.3. Графік для визначення порядку реакції

За графіком на рис.3 і за лінією тренду, представленої на графіку, визначили порядок досліджуваної реакції за одним із компонентів окиснювача – N_2O_4 . Порядок реакції відповідає числу що стоїть перед аргументом в рівнянні лінії тренда, представленою на графіку, тобто $n = 1,68$.

Таким чином, кінетичне рівняння реакції може бути записано у вигляді:

$$w = k' \cdot C_{\text{ГД}}^{1,68} \quad (5)$$

Неціле значення порядку реакції підтверджує, що в системі проходять паралельні реакції.

Важливою характеристикою будь-якого процесу є значення енергії активації, що дозволить прогнозувати можливість протікання реакцій за

певних температурних режимів. Відомо, що термодинамічно можливі реакції часто не відбуваються за рахунок достатньо високих значень енергії активації, що не дозволяє молекулам долати енергетичний бар'єр реакції. З метою прогнозування можливості проходження взаємодії у нашій системі слід визначити енергію активації процесу.

Для визначення енергії активації реакції (E_a) використовували залежність константи швидкості реакції від температури у відповідності з рівнянням Арреніуса

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad (6)$$

Після логарифмування його отримуємо рівняння прямої у координатах $\ln k - 1/T$, тангенс кута нахилу якої, дорівнює E_a / R . Як відомо, за постійних концентрацій реагентів константа швидкості та швидкість реакції прямо пропорційні одна одному. Отже, енергію активації хімічної реакції можна визначити графічно із залежності $\ln w$ від $1 / T$.

Вимірювання швидкості реакції за зміни температури проводили в процесі взаємодії окиснювача об'ємом 2 мл з 50 мл 5% розчину карбаміду за встановленої температури термостату. Значення вказаних показників наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Результати експериментальних досліджень залежності швидкості реакції від температури

Температура термостату, К	1000/T К ⁻¹	Час реакції, с	V _{окислювача} , МЛ
276	3,62	240	2
278	3,60	180	2
283	3,53	100	2
288	3,47	40	2
293	3,41	26	2
298	3,36	18	2

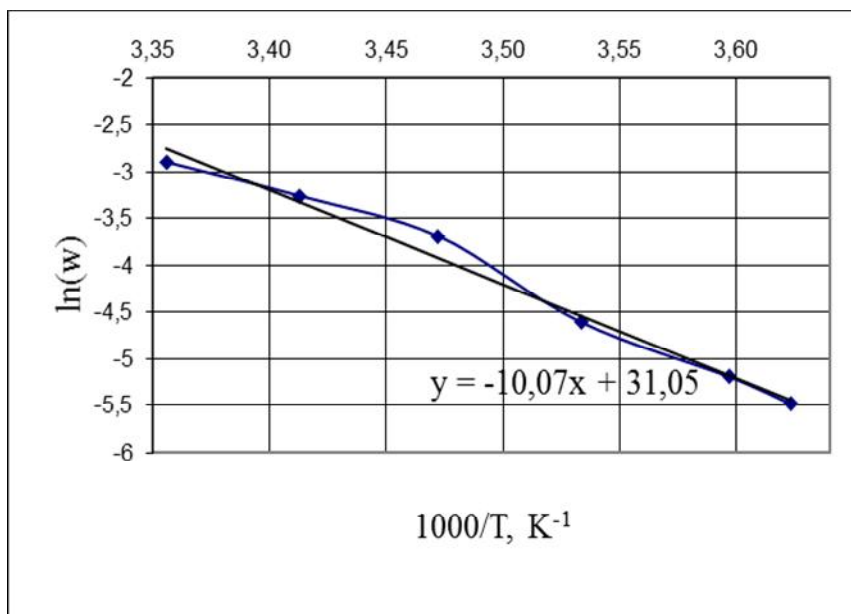


Рис.4 Графік для визначення енергії активації хімічної реакції

За графіком, представленим на рис. 4, і за лінією тренду, представленою на графіку, була розрахована енергія активації реакції E_a як добуток коефіцієнта перед аргументом в рівнянні лінії тренда і універсальної газової сталої $R = 8,314$ Дж/моль·К. Із врахуванням того, що аргумент – показник температури, отримане значення множили на 1000:

$$E_a = 10,07 \cdot 8,314 \cdot 1000 = 83,68 \text{ кДж/моль}$$

$$A = e^{31,05} = 2,9 \cdot 10^{10}$$

Розрахунок енергії активації реакції показав, що досліджуваний процес, відноситься до реакцій з енергією активації до 150 кДж / моль, що свідчить про легкість протікання реакцій вже за низьких температур.

Висновки. Експериментально підтверджено та теоретично доказано, що процес утилізації токсичних компонентів окиснювача – тетроксиду діазоту (ТД) в цінний продукт – азотну кислоту, реально можливий, стадійний процес, що включає ряд паралельних реакцій.

Показано, що збільшення вмісту ТД в системі не сприяє виходу цільового продукту – азотної кислоти, а прискорює паралельні реакції. Встановлені кінетичні характеристики процесу, а саме порядок реакції, який становить 1,68.

Одержане кінетичне рівняння дає можливість розраховувати швидкість процесу за будь-яких концентрацій компонентів в системі.

Розрахована енергія активації процесу ($E_a = 83,68$ кДж/моль) підтверджує можливість і легкість протікання реакцій вже за низьких температур.

Список літератури: 1. Закон України Про охорону атмосферного повітря / Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, N 50, ст.678. 2. Постанова Кабінету Міністрів України № 874 29.09.2010. 3. Шмандій В.М., Шмандій О.В. Екологічна безпека – одна з основних складових національної безпеки держави // Екологічна безпека 1/2008(1). С.9-153. 4. Аблеев А. Г., Вакал С. В., Карпович Э. А. Особенности утилизации окислителя ракетного топлива, содержащего серную кислоту / Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 4/2011 (69). Частина 1, С. 138-141). 5. Алексей Аблеев, Артём Артюхов, Светлана Большанина, Мирослав Малеваный. Экологически безопасная технология утилизации азотнокислых окислителей // Международный журнал. Устойчивое развитие: наука и практика. – Электрон. журн. – 2013. – №11, С. 153 -159. 6. Alain Lasalle, Christine Roizard, Noel Midoux, Pierre Bourret, Pierre J. D. “Removal of NO_x from flue gases using the urea acidic process: Kinetics of the chemical reaction of nitrous acid with urea” // Ind. Eng. Chem. Res. 1992, 31, – 777–780 p.

Надійшла до редколегії 20.01.14

УДК 661.938.2.004.3

Кінетичні особливості екологічної безпеки технології утилізації токсичних компонентів окиснювача ракетного палива / Малеваный М.С., Аблеев А.Г. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження в наукових роботах студентів. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 16 (1059). – С. 22 – 29. Бібліогр.: 6 назв.

Предметом исследования является процесс утилизации токсичных газов, содержащихся в окислители ракетного топлива, в азотную кислоту. Исследован процесс взаимодействия раствора карбамида с раствором тетроксид азота (N₂O₄) в азотной кислоте. В данной статье рассматриваются экспериментально полученные зависимости и кинетические характеристики, а именно, порядок реакции и энергия активации, которые необходимы для определения механизма процесса, и установления оптимальных условий прохождения реакции с целью увеличения выхода продукта реакции.

Ключевые слова: окислители ракетного топлива, тетроксид азота, порядок реакции, энергия активации.

Studying subject is a utilization process of toxic gases contained in the liquid rocket propellant oxidizers, into nitric acid. Interaction process between urea solution and nitrogen tetroxide (N₂O₄) investigated. Chemical kinetic characteristic, reaction order and activation energy, needed to set optimal parameters of the reaction, in a purpose of getting maximum reaction yield, are obtained and shown in this article.

Keywords: rocket propellant oxidizers, nitrogen tetroxide, reaction order, activation energy

К.О. ІЛЬІНА, аспірантка, ОНПУ, Одеса;

А.Є. ДЕНИСОВА, д-р техн. наук, проф., ОНПУ, Одеса

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ

Розглянуто перспективи розвитку геотермальної енергетики. Представлено потенціал геотермальної енергії України по областях. Проаналізовано переваги та недоліки використання даного виду енергії. Приведені принципові теплові схеми паротурбінної та турбокомпресорної енергоустановок.

Ключові слова: альтернативне джерело енергії, геотермальна енергія, економічно ефективні технології, електроенергетика, екологічна чистота, геотермальна електростанція, економія палива, паротурбінна енергоустановка, турбокомпресорна енергоустановка.

Вступ. Дефіцит енергії і обмеженість паливних ресурсів з все наростаючою гостротою показують неминучість переходу до нетрадиційних, альтернативних джерел енергії. Одним з варіантів видобутку теплоти, який суттєво відрізняється від інших, є геотермальна енергія (табл. 1). Її можна використовувати в різних кліматичних умовах і в різні пори року, адже інтенсивність енергопотоків не залежить від сонячної активності.

Таблиця 1. Потенціал геотермальної енергії України [1].

№ п/п	Області	Кількість теплоносія, який видобувається при експлуатації з підтримкою пластового тиску, тис.м ³ /добу	Тепловий потенціал термальних вод, МВт	Річна економія, тис. т.у.п.
1	Закарпатська	239,4	490	510
2	Миколаївська	1620	2820	1900
3	Одеська	1350	2350	1600
4	Полтавська	5,9	9,2	9,9
5	Сумська	4,2	15,8	17
6	Харківська	0,4	1,3	1,4
7	Херсонська	2430	4230	2900
8	Чернігівська	37,2	58,3	62,7
9	АР Крим	21600	37600	25600
ВСЬОГО		27287,1	47574,6	32601

Коефіцієнт використання геотермальних електростанцій, як правило, перевищує 90%. В енергобалансі України їх частка на сьогоднішній день складає 0,02%, а наявність значних геотермальних ресурсів країни,

© К.О. Ільїна, А.Є. Денисова. 2014

що перевищують за своїм тепловим еквівалентом запаси традиційного енергетичного палива, підтверджує доцільність розвитку такої енергетичної галузі в Україні.

Україна має значні ресурси геотермальної енергії, потенційні запаси якої оцінюються величиною 1022 Дж. Це еквівалентно запасам палива $3,4 \cdot 10^{11}$ т. у. п. Потенційна потужність геотермальних електростанцій з урахуванням вилучення запасів і ККД перетворення геотермальної енергії становить 230 ГВт [2]. На рис. 1 наведено потенціал геотермальної енергії деяких регіонів України[3].

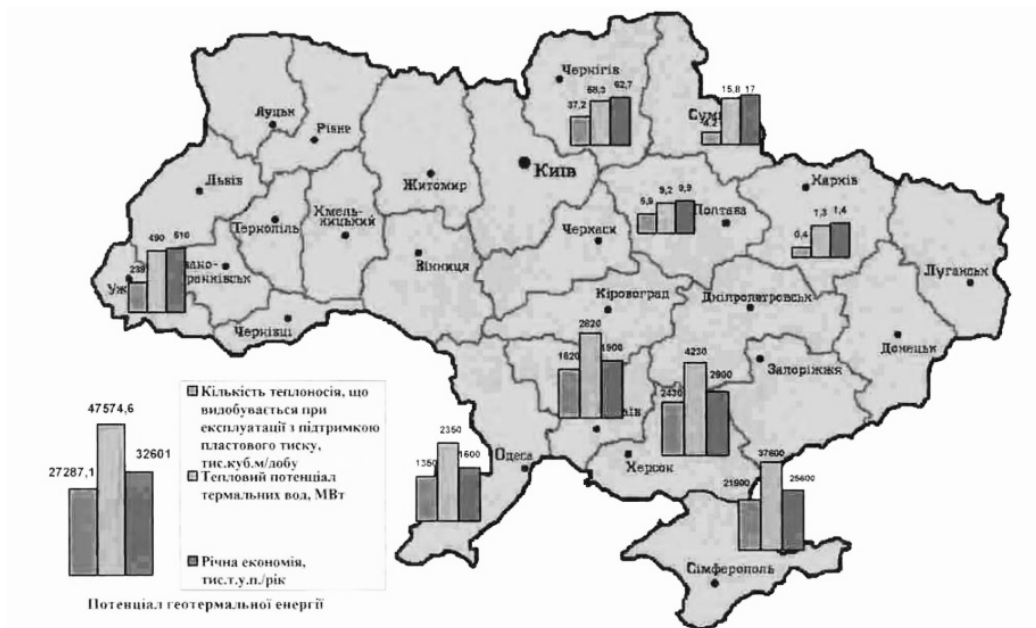


Рис. 1. Потенціал геотермальної енергії України

Серед районів України, перспективними для розвитку геотермальної енергетики, потрібно виділити Закарпаття, де за геологічними і геофізичними даними на глибинах до 6 км температури гірських порід досягають 230–275 °С. Також одним з перспективних регіонів для розвитку геотермальної енергетики є АР Крим. Завдяки неглибокому проходженню термальних вод, глибини пробурених свердловин можуть досягати 2000 м, при цьому температура термальних вод на виході становить 50–70 °С. На сьогодні, дані геотермальні енергоресурси Криму використовуються для теплопостачання, а запаси геотермальної енергії в основному сконцентровані в Тарханкутському районі та на Керченському півострові. Для поліпшення енергопостачання в Криму заплановано будівництво геотермальних електростанцій потужністю по 6 МВт в західній частині півострова, де на глибині 4 км є вода з температурою 250 °С. Їх загальна потужність буде складати більше 100 МВт.

Таблиця 2. Прогнозні ресурси геотермальної енергії на території України для електроенергетики

№ п/п	Родовища регіонів	Глибина, км	Середня температура, °С	Площа родовища, км ²	ККД, %	Потужність ГеоТЕС, тис. МВт
1	Закарпаття	3–6	210–250	50–130	1,7	5,8
2	Передкарпаття	4–7	200	600	1,3	4,6
3	Крим	4–7	200–220	300–500	3,1	10,5
4	Східно-Українська область	5–7	185–217	660–2800	14,0	48,0
ВСЬОГО						70

Як видно з таблиці 2, значними ресурсами геотермальної енергії відрізняється Крим, при цьому, найбільш перспективними є Тарханкутський і Керченський півострова, для яких характерні найбільші геотермічні градієнти, а температура гірських порід у цих районах на глибинах 3,5–4 км досягає 160–180 °С.

Щодо екологічного стану, негативний вплив на навколишнє середовище при експлуатації геотермальних джерел енергії значно менше, ніж при застосуванні традиційних енергосистем.

Основний недолік використання геотермальних енерготехнологій—це необхідність забезпечення зворотного закачування відпрацьованої води в підземний водоносний горизонт. Крім того, висока мінералізація термальних вод більшості родовищ і наявність у воді токсичних сполук і металів, у більшості випадків виключає можливість скидання цих вод в розташовані на поверхні природні водні екосистеми [4].

Зазначені негативні сторони використання геотермальних джерел енергії призводять до необхідності вкладення значних капітальних витрат на буріння свердловин, зворотне закачування відпрацьованої геотермальної води, а також коштовного корозійностійкого теплотехнічного обладнання. Проте, слід ураховувати, що використання новітніх менш витратних технологій буріння свердловин й застосування ефективних способів очищення води від токсичних речовин, призводить до зменшення капітальних витрат на утилізацію теплоти геотермальних вод. Слід зауважити, що геотермальна енергетика останнім часом суттєво просунулася у своєму розвитку. Так, останні розробки показали можливість вироблення електроенергії при температурі пароводяної суміші нижче 80 °С, що дозволяє набагато ширше застосовувати ГеоТЕС для вироблення електроенергії. Для перетворення теплової енергії геотермального теплоносія в технічну роботу можна використовувати принципи теплові схеми паротурбінної й турбокомпресорної енергоустановок [5].

При видобутку геотермального теплоносія в рідкому виді (гідротерми), паротурбінні установки виконуються одно- і двоконтурними. При заданих параметрах геотермального теплоносія одноконтурні паротур-

бінні установки дозволяють одержувати пару більш високих параметрів, ніж у двоконтурних установках. При цьому зменшуються капітальні витрати й збільшується питома потужність турбіни. Принцип дії паротурбінної установки (рис. 2) полягає у тому, що геотермальний теплоносієй як правило, у вигляді недогрітої води зі свердловини 1 направляється в грязевіддільник, у якому відділяються й скидаються сторонні механічні домішки.

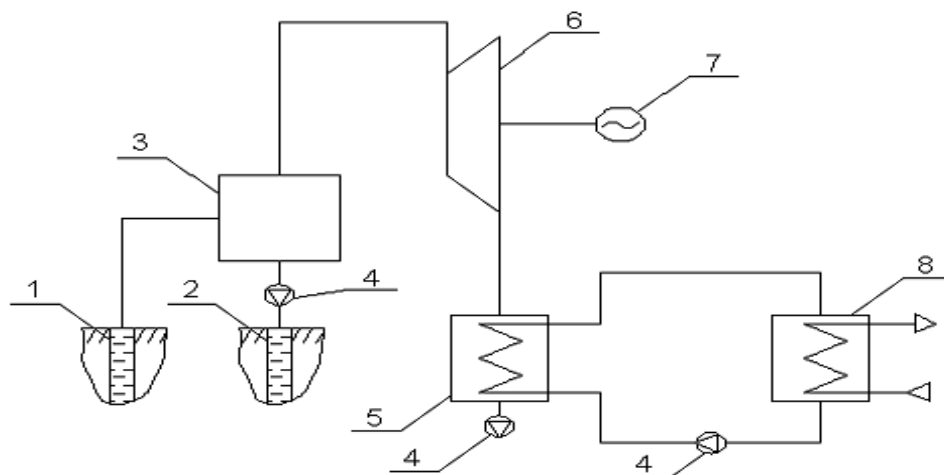


Рис 2. Принципова тепла схема паротурбінної геотермальної енергоустановки: 1 – свердловина експлуатаційна; 2 – свердловина нагнітальна; 3 – парогенератор; 4 – насос; 5 – конденсатор; 6 – турбіна; 7 – генератор; 8 – градирня

Далі очищена і освітлена вода подається в парогенератор 3, де розширюється в ізентальпійному процесі. У результаті цього частина її перетворюється в пару. Тут же проводиться поділ теплоносія на рідку й пароподібну фази. Рідина надходить до насоса 4 і накачується в нагнітальну свердловину, а пара подається в турбіну 6. У турбіні пара розширюється в політропному процесі, перетворюючи свою потенційну енергію в технічну роботу, яка за допомогою електрогенератора 7 перетворюється в електроенергію. Отримана після турбіни пароводяна суміш надходить у конденсатор 5, де конденсується в ізотермічному процесі за рахунок передачі теплоти охолодній воді, яка подається насосом із градирні 8. Вода, що утворилася при цьому, видаляється з конденсатора насосом і подається або в нагнітальну свердловину, або використовується для інших цілей [5].

Незважаючи на великий прогрес і позитивні результати в розв'язку проблеми солевідкладення на поверхнях теплообмінного устаткування й трубопроводах геотермального теплоносія, поки ще немає чітких відпрацьованих технологій його використання в одноконтурних паротурбінних енергоустановках. У цьому зв'язку кращі двоконтурні паротурбінні установки, які позбавлені цього недоліку. Правда, використання двоконтурних паротурбінних установок знижує параметри пари робочого тіла на

вході в турбіну, що веде до зниження питомої потужності й ККД, суттєво збільшуючи капітальні витрати й витрати на експлуатацію ГеоЕС. При роботі турбокомпресорної установки (рис. 3) парогазовий потік з високим паровмістом надходить у конденсатор 9, куди з іншої сторони насосом із градирні 10 подається охолоджена вода.

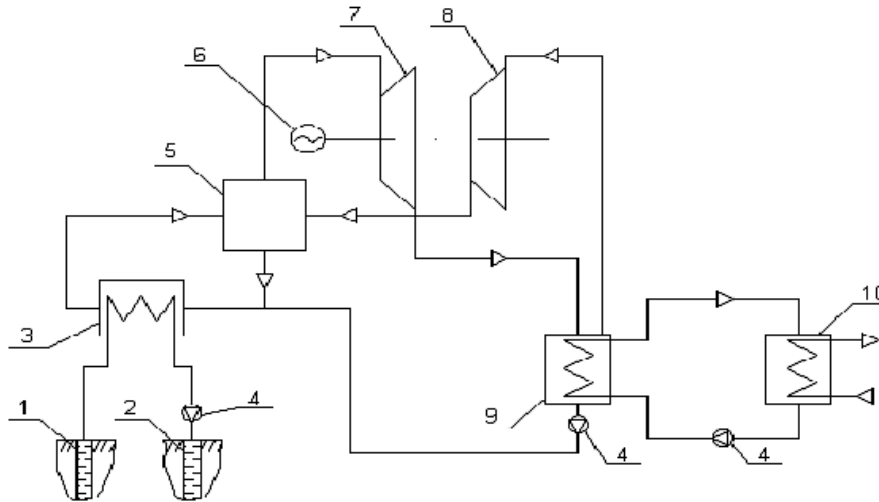


Рис. 3. Принципова тепла схема турбокомпресорної геотермальної енергоустановки: 1 – свердловина експлуатаційна; 2 – свердловина нагнітальна; 3 – теплообмінник; 4 – насос; 5 – парогенератор; 6 – генератор; 7 – турбіна; 8 – компресор; 9 – конденсатор; 10 – градирня

При їхньому контакті внаслідок конденсації парогазовий потік осушується, і з малим паровмістом направляється в компресор 8, де стискається в політропному процесі за рахунок підведеної від турбіни 7 роботи. При цьому паровміст потоку залишається постійним, але його відносна вологість зменшується. Після компресора стиснений газ надходить у нижню частину парогенератора 5, а в його верхню частину в зустрічному напрямку газовому потоку насосом у диспергованому вигляді подається циклічна вода, попередньо підігріта в теплообміннику 3 геотермальним теплоносієм, що подається зі свердловини 1. Після теплообмінника геотермальний теплоносій насосом направляється в нагнітальну свердловину.

Розглянута турбокомпресорна геотермальна установка дозволяє значно зменшити втрати теплоти за рахунок недоохолодження води в парогенераторі. Однак вона має ряд великих недоліків, які перешкоджають її реалізації. Ці недоліки, пов'язані зі складністю конструкції й низькими значеннями корисної питомої роботи.

На відміну від паротурбінної геотермальної установки у розглянутій турбокомпресорній установці немає необхідності у процесі дегазації геотермального теплоносія для зменшення вмісту газів, що несконденсу-

валися, в конденсаторі. Тут процес передачі теплоти від геотермального теплоносія в теплообміннику може здійснюватися без зниження його тиску. Це виключає порушення вуглекислої рівноваги, а отже й випадання солей.

Висновки. Перспективи використання геотермальних енерготехнологій в Україні обумовлені достатнім геотермальним потенціалом її регіонів та перевагами в порівнянні з традиційною енергетикою: екологічною чистотою, відсутністю транспортних витрат на доставку палива, мінімальним обладнанням та відносно короткими термінами будівництва. Турбокомпресорна геотермальна установка дозволяє значно глибше використовувати теплоту геотермальної води в порівнянні з паротурбінною установкою. Одночасно вона має набагато меншу складність і металоємність, а використання як охолодженого джерела атмосфери обіцяє їй гарну перспективу як тепловому двигуну, тобто перетворювачу геотермальної енергії води в механічну роботу [5].

Список літератури: 1. Кудря С.О. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України / С.О. Кудря, Л.В. Яценко та ін. – Національна академія наук України – Київ 2001. С.21-23. 2. Геотермальная энергетика Украины. http://www.esco-ecosys.ru/2005_11/art07_30.htm. 3. Потенциал геотермальной энергии в Украине. http://esco-ecosys.narod.ru/2005_11/art07_71_5.htm. 4. Магомедов А.М. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии / А.М. Магомедов – Махачкала – АОЗТ «Юпитер», 1996. – 245 с. 5. Германович В., Альтернативные источники энергии. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы. / Германович В., Турилин А. – СПб.: Наука и техника, 2011. – 320 с.

УДК 697.329

Перспективи використання геотермальних ресурсів України / К.О. Ільїна, А.Є. Денисова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 16 (1059). – С. 30 – 35. – Бібліогр.: 5 назв.

Рассмотрены перспективы развития геотермальной энергетики. Представлен потенциал геотермальной энергии Украины по областям. Проанализированы достоинства и недостатки использования данного вида энергии. Приведены принципиальные тепловые схемы паротурбинной и турбокомпрессорной энергоустановок.

Ключевые слова: альтернативный источник энергии, геотермальная энергия, экономически эффективные технологии, электророзенергетика, экологическая чистота, геотермальная электростанция, экономия топлива, паротурбинная энергоустановка, турбокомпрессорная энергоустановка.

The prospects for development of geothermal energy. Presents the potential of geothermal energy by regions of Ukraine. The advantages and disadvantages of using this type of energy. Shown the fundamental thermal circuit and steam turbine power plants turbocompressor power plants.

Keywords: alternative energy source, geothermal energy, cost-effective technologies, electricity, environmental friendliness, geothermal power, fueleconomy, steam turbine power plant, turbocompressor power plant.

И.А. БОДНАРЬ, аспирант, ОНПУ, Одесса;

А.Е. ДЕНИСОВА, д-р техн. наук, проф., ОНПУ, Одесса;

С.И. БУХКАЛО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛА ГРУНТОВЫХ ВОД

Предложены системы теплоснабжения, которые обеспечивают эффективное использование теплонасосных установок с источником тепла грунтовых вод. Предложена методика оценки энергетической эффективности систем, выполнено сопоставление параметров их расчетных циклов. Получены зависимости показателей энергетической эффективности систем теплоснабжения от температуры наружного воздуха. Приведены рекомендации по применению предложенных систем теплоснабжения в зависимости от температуры наружного воздуха.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, теплонасосная установка, низкопотенциальный источник тепла, высокопотенциальный источник тепла.

Введение. Проблема энергосбережения становится одной из самых важных в энергетике. Увеличение потребностей в энергии обусловлено ростом мирового населения, развитием мировой промышленности и индустриализацией развивающихся стран. Это ведет к значительному истощению мировых запасов углеводородных видов топлива, таких как газ, нефть и уголь, которые являются источниками традиционного теплоснабжения. При современном уровне добычи разведанных запасов угля хватит на 400 лет, нефти на 42 года и газа на 61 год. Со временем будут освоены новые источники традиционного теплоснабжения, но стоимость их добычи будет постоянно расти. Кроме того, что традиционные источники теплоснабжения со временем исчерпают свои запасы, они имеют и существенные недостатки: низкую энергетическую, экономическую и экологическую эффективность.

Постановка проблемы. Перечисленные недостатки могут быть устранены путем применения альтернативных методов энергообеспечения, одним из которых является использования низкотемпературного естественного тепла грунтовых вод земли на основе применения теплонасосных установок (ТНУ).

© А.И. Боднарь, А.Е. Денисова, С.И. Бухкало. 2014

Анализ схем ТНУ геотермального теплоснабжения. В работе рассмотрены перспективные схемы ТНУ (рис. 1...3), приведена методика их расчета. Схема установки отопления от источника грунтовых вод земли (рис. 1) включает в себя заборную скважину 1 оснащенную откачивающим специальным насосом 3, который подает низкопотенциальный источник тепла (грунтовую воду) в испаритель 4, где отдает свое тепло хладагенту и поступает в поглощающую скважину 2. В испарителе хладагент закипает, пар которого всасывается компрессором 5, где происходит его сжатие, при этом температура и давление хладагента значительно повышается. Затем хладагент подается в конденсатор 6, охлаждающийся водой, которая и будет высокопотенциальным источником тепла, который подается в систему отопления 9, оснащенную циркуляционным насосом 8. Отдав свое тепло пар хладагента конденсируется и в состоянии жидкого хладагента через дроссельный вентиль 7, где его температура и давление падает, поступает обратно в испаритель.

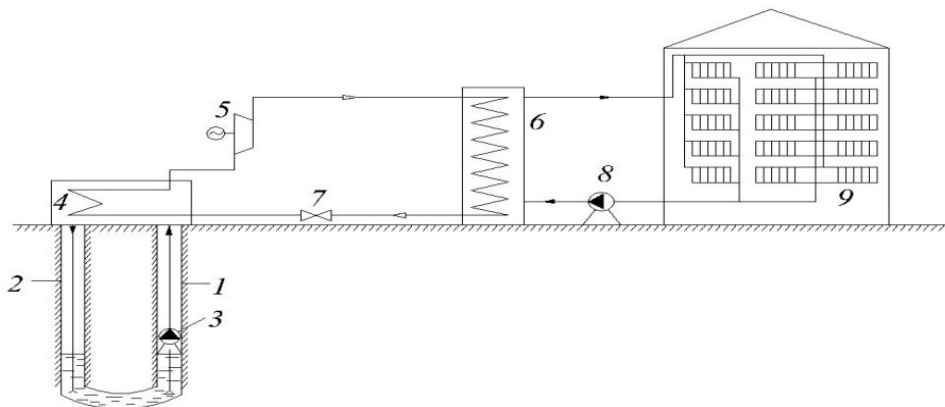


Рис. 1. Схема ТНУ от источника грунтовых вод

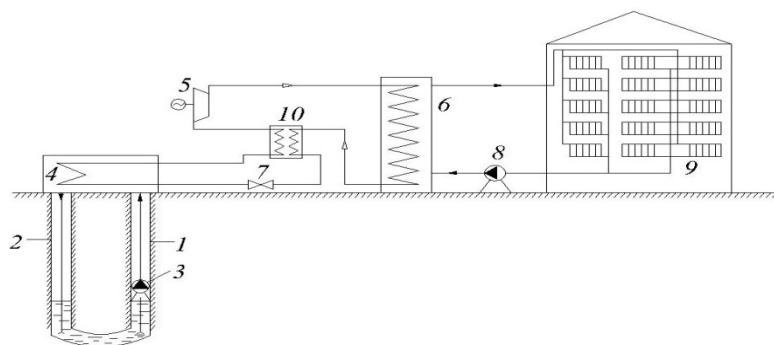


Рис. 2. Схема ТНУ от источника грунтовых вод с промежуточным теплообменником

На рис. 2 представлена схема ТНУ с дополнительным промежуточным теплообменником 10, в котором совмещается переохлаждение жид-

кого хладагента и перегрева его пара, которая позволяет горячему хладагенту после конденсатора нагревать холодный хладагент после испарителя, что ведет к повышению эффективности применения данной установки за счет повышения температуры хладагента на входе в компрессор.

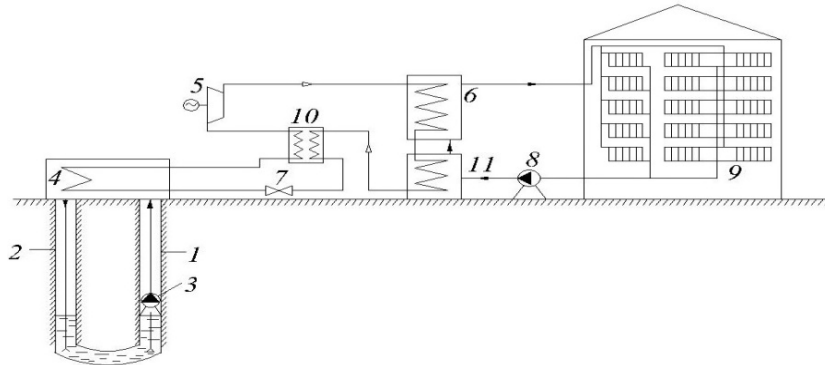


Рис. 3. Схема ТНУ от источника грунтовых вод с промежуточным теплообменником и переохладителем

На рис. 3 представлена схема ТНУ с дополнительным теплообменником – переохладителем 11, который служит для дополнительного охлаждения высокопотенциального источника тепла [1, 2, 3].

Методика расчета ТНУ на базе геотермальных источников. Для анализа показателей энергетической эффективности применения рассматриваемых схем ТНУ воспользуемся методикой [1], реализованной с помощью программы CoolPack в p, h -диаграмме (рис. 4).

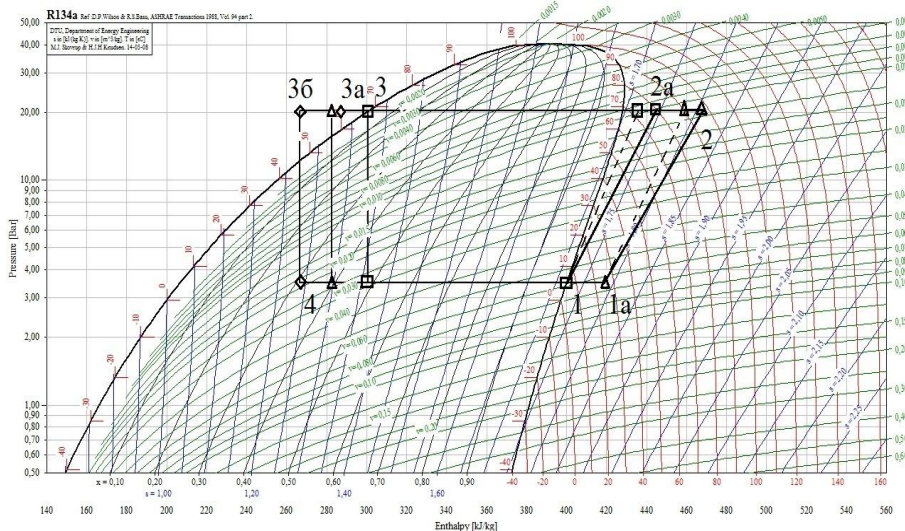


Рис. 4. Циклы ТНУ на базе грунтовой энергии: □ – ТНУ (рис. 1); Δ – ТНУ (рис. 2); ◊ – ТНУ (рис. 3)

Температура испарения хладагента $t_{и}$, по которой можно определить энтальпию h_1 и давление $P_{и}$ фреона после испарителя

$$t_{и} = t_{н2} - \Delta t_{и}, \quad (1)$$

где $t_{н2}$ – температура низкопотенциального источника тепла, °С;

$\Delta t_{и}$ – перепад температур на выходе из испарителя, °С.

Температура конденсации хладагента $t_{к}$, по которой можно определить энтальпию h_3 и давление $P_{к}$ фреона после конденсатора

$$t_{к} = t_{в2} + \Delta t_{к}, \quad (2)$$

где $t_{в2}$ – температура высокопотенциального источника тепла на выходе из испарителя, °С;

$\Delta t_{к}$ – перепад температур на выходе из конденсатора.

Адиабатный КПД компрессора

$$\eta_a = 0,98(273 + t_0)/(273 + t_k), \quad (3)$$

где t_0 – температура наружного воздуха, °С .

Энтальпия хладагента после компрессора

$$h_2 = h_1 + (h_{2a} - h_1)/\eta_a, \quad (4)$$

где h_{2a} – энтальпия фреона после конца адиабатного сжатия, кДж/кг.

Удельная тепловая нагрузка конденсатора

$$q_k = h_2 - h_3, \text{ кДж/кг} \quad (5)$$

Удельная тепловая нагрузка ТНУ

$$q_{тн} = q_k, \text{ кДж/кг} \quad (6)$$

Работа сжатия в компрессоре

$$l_{сж} = h_2 - h_1, \text{ кДж/кг} \quad (7)$$

Удельная энергия, потребляемая электродвигателем

$$W = l_{сж} / (\eta_{э.м} \eta_э), \text{ кДж/кг} \quad (8)$$

Коэффициент сжатия в компрессоре

$$\varepsilon = P_k / P_{и} \quad (9)$$

Коэффициент преобразования теплоты

$$\mu = q_{тн} / l_{сж} \quad (10)$$

Удельный расход первичной энергии

$$\text{ПЕ} = 1 / (\eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{э}} \eta_{\text{э.с}} \eta_{\text{пер.}} \mu) , \quad (11)$$

где $\eta_{\text{э.с}}$ – КПД энергоустановки;

$\eta_{\text{пер.}}$ – КПД системы энергоснабжения.

Для схем ТНУ (рис. 2, 3) необходимо рассчитать температуру хладагента на входе в компрессор t_{1a}

$$t_{1a} = t_{\text{и}} - \Delta t_{\text{п}} , \quad (12)$$

где $\Delta t_{\text{п}}$ – температура перегрева пара в промежуточном теплообменнике.

Энтальпия хладагента после компрессора

$$h_2 = h_{1a} + (h_{2a} - h_{1a}) / \eta_a \quad (13)$$

Энтальпия хладагента на входе в промежуточный теплообменник (рис. 3, 4)

$$h_{3б} = h_3 - (h_{1a} - h_1) \quad (14)$$

Работа сжатия в компрессоре

$$l_{\text{сж}} = h_2 - h_{1a} , \text{ кДж/кг} \quad (15)$$

Для схемы ТНУ (рис. 3, 4) необходимо дополнительно рассчитать температуру хладагента после конденсатора

$$t_{3a} = (c'_{p3} t_{\text{к}} + c_{\text{в}} (\Delta t_{\text{по}} + t_{\text{в1}})) / (c'_{p3} + c_{\text{в}}) , \quad (16)$$

где c'_{p3} – теплоемкость фреона после конденсатора, кДж/(кг·К);

$c_{\text{в}}$ – теплоемкость воды, кДж/(кг·К);

$t_{\text{в1}}$ – температура высокопотенциального источника тепла на входе в испаритель.

Удельная тепловая нагрузка переохладителя $q_{\text{по}}$, кДж/кг:

$$q_{\text{по}} = h_3 - h_{3a} \quad (17)$$

Удельная тепловая нагрузка ТНУ $q_{\text{тн}}$, кДж/кг:

$$q_{\text{тн}} = q_{\text{к}} + q_{\text{по}} \quad (18)$$

Для расчета энергетической эффективности рассматриваемых схем ТНУ (рис. 1–3) будем использовать следующие исходные данные:

– температура низкопотенциального источника тепла на входе в испаритель ТНУ $t_{н1} = 20$ °С;

– температура низкопотенциального источника тепла на выходе из испарителя ТНУ $t_{н2} = 10$ °С;

В зависимости от температуры наружного воздуха $t_0 = -16...8$ °С температуры высокопотенциального источника тепла на входе в систему отопления и на выходе из системы отопления $t_{в2}$ и $t_{в1}$ получены графики (рис. 5) изменения нагрузки на отопление 5-ти этажного здания на 60 квартир [2, 3, 4], т.е. тепловой нагрузки ТНУ $Q_{ТН}$, кВт (рис. 6).

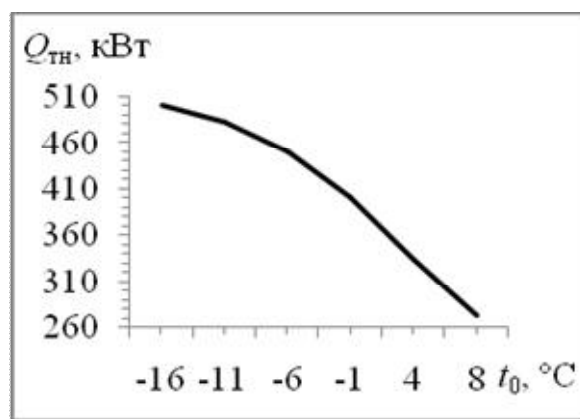
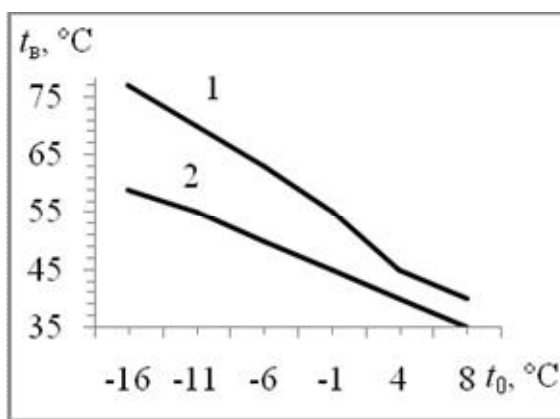


Рис. 5. Зависимость подающего теплоносителя $t_{в2}$ – 1; обратного теплоносителя $t_{в1}$ от температуры наружного воздуха t_0 – 2

Рис. 6. Зависимость тепловой нагрузки ТНУ $Q_{ТН}$ от температуры наружного воздуха t_0

– перепады температур на выходе из теплообменников $\Delta t_k = \Delta t_n = \Delta t_{но} = 5$, К;

– температура перегрева пара в промежуточном теплообменнике $\Delta t_k = 20$ К;

– КПД электродвигателя $\eta_s = 0,85$;

– электромеханический КПД компрессора $\eta_{э.м} = 0,95$;

– КПД электростанции $\eta_{э.с} = 0,4$;

– КПД систем энергоснабжения $\eta_{пер.} = 0,95$.

Для анализа энергетической эффективности были получены следующие зависимости (рис. 7 – 9).

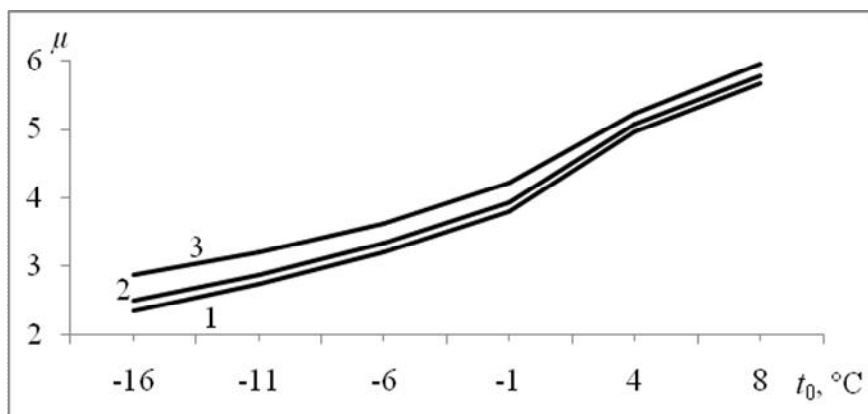


Рис. 7. Зависимость коэффициента преобразования теплоты μ от температуры наружного воздуха t_0 : 1 – ТНУ (рис. 1); 2 – ТНУ (рис. 2); 3 – ТНУ (рис. 3)

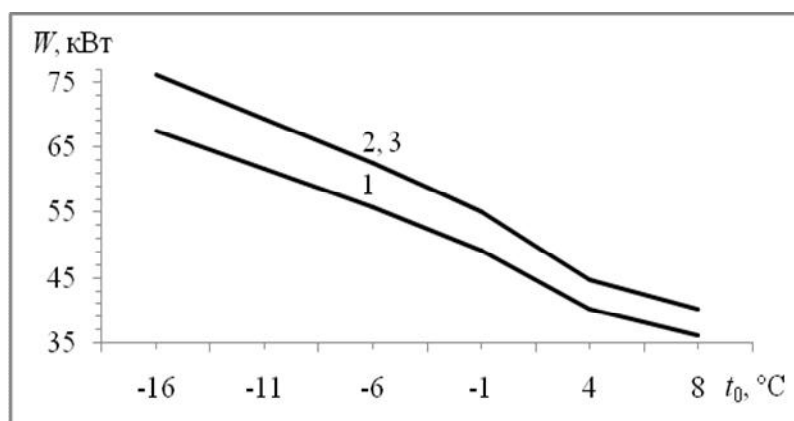


Рис. 8. Зависимость удельной энергии потребляемой электродвигателем W от температуры наружного воздуха t_0 : 1 – ТНУ (рис. 1); 2 – ТНУ (рис. 2); 3 – ТНУ (рис. 3)

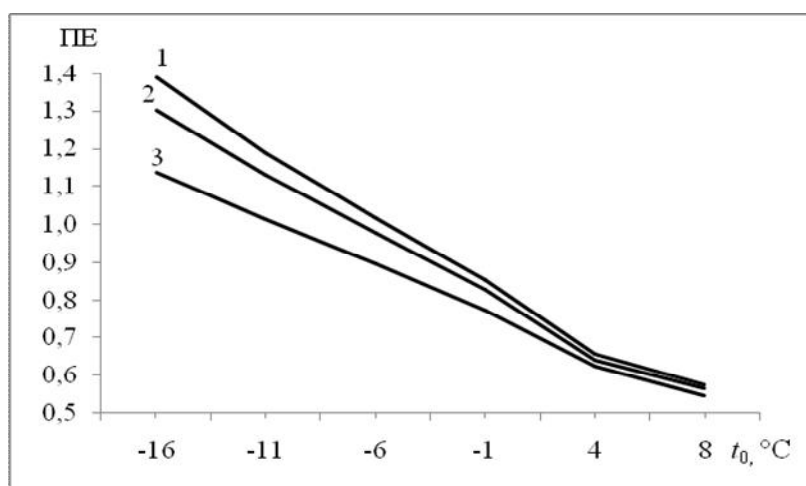


Рис. 9. Зависимость удельного расхода первичной энергии ПЕ от температуры наружного воздуха t_0 (1 – рис. 1; 2 – рис. 2; 3 – рис. 3)

Анализ результатов расчета.

Расчетные циклы для схем ТНУ, выполненные при помощи программы CoolPack, представлены в p, h -диаграмме при температуре окружающей среды $t_0 = -6 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 4). В качестве хладагента был выбран фреон R134a, который относится к озонобезопасным [1].

Анализ зависимостей показывает, что чем выше температура окружающей среды, тем требования по температуре к теплоносителю, подаваемому в систему отопления, снижаются. В свою очередь это приводит к уменьшению разности температур между низкопотенциальным источником тепла грунтовых вод и высокопотенциального источником тепла системы теплоснабжения. Так при повышении температуры наружного воздуха удельная энергия W , потребляемая электродвигателем, интенсивно уменьшается, что свидетельствует о меньшей работе сжатия $l_{\text{сж}}$ хладагента компрессором, а коэффициент преобразования теплоты μ растет, что позволяет сделать вывод о более эффективной работе ТНУ.

С энергетической точки зрения теплоснабжение с использованием ТНУ выгоднее, чем при сжигании природного топлива, использованного для выработки электроэнергии при условии, что удельный расход первичной энергии ПЕ < 1 .

Так было установлено, что систему теплоснабжения ТНУ (рис. 1) при температуре грунтовой воды на входе в испаритель $t_{\text{н1}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ целесообразно применять в регионах, где температура наружного воздуха не ниже $t_0 = -5,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Системы теплоснабжения с промежуточным теплообменником рекомендуется применять при температурах наружного воздуха ниже $t_0 = -6,5 \text{ }^\circ\text{C}$, а системы теплоснабжения с дополнительным переохладителем при температурах наружного воздуха не ниже $t_0 = -10,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Выводы.

Таким образом, наиболее эффективной из трех рассмотренных схем ТНУ (рис. 1 – 3) при прочих равных условиях является система теплоснабжения ТНУ с промежуточным теплообменником и дополнительным переохладителем (рис. 3), о чем свидетельствуют такие основные показатели энергетической эффективности как удельная энергия W , потребляемая электродвигателем, коэффициент преобразования теплоты μ и удельный расход первичной энергии ПЕ.

Что касается применения данных схем ТНУ в регионах с более суровыми климатическими условиями, то следует использовать в качестве низкопотенциального источника тепла грунтовые воды в интервале температур выше 20 °С.

Список литературы: 1. Трубаев П.А. Тепловые насосы : учеб. пособ. / П.А. Трубаев, Б.М. Гришко. – Белгород : Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 142 с. 2. Рей Д. Тепловые насосы : пер. с англ. / Рей Д., Макмайкл Д. – М. : Энергоиздат, 1982. – 244 с. 3. Соколов Е.Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения : учеб. пособ. для вузов. – 2-е изд., перераб. / Соколов Е.Я., Бродянский В.М. – М. : Энергоиздат, 1981. – 306 с. 4. Справочник по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей / [Манюк В.И., Каплинский Я.И., Хижа Э. и др.] – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1982. – 215 с.

Поступила в редколлегию 22.03.14

УДК 697.329

Анализ энергетической эффективности теплонасосных установок с использованием тепла грунтовых вод / И.А. Боднар, А.Е. Денисова, С.И. Бухкало // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 16 (1059). – С. 36 – 44. – Бібліогр.: 4 назв.

Запропоновані системи теплопостачання, які забезпечують ефективне використання теплонасосних установок з джерелом тепла ґрунтових вод. Запропонована методика оцінки енергетичної ефективності систем, виконано зіставлення параметрів їх розрахункових циклів. Отримані залежності показників енергетичної ефективності систем теплопостачання від температури зовнішнього повітря. Наведені рекомендації по застосуванню запропонованих систем теплопостачання залежно від температури зовнішнього повітря.

Ключові слова: енергетична ефективність, теплонасосна установка, низькопотенційне джерело тепла, високопотенційне джерело тепла.

The systems of heat supply, which provides the effective use of heatpump plants with a source of heat of ground waters, are offered. The method of an assessment of power efficiency of systems is offered, comparison of parameters of their calculation cycles is executed. Dependences of indexes of power efficiency of systems of heat supply on temperature of external air are received. Resulted to recommendation on application of offer systems of heat supply depending on the temperature of external air.

Keywords: power efficiency, heatpump plant, low-potential source of heat, high-potential source of heat.

Л.М. УЛЬЄВ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХП»;

А.О. ГАРЄВ, асистент, НТУ «ХП»;

А.М. МИРОНОВ, студент, НТУ «ХП»

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ТАБЛИЧНОГО АЛГОРИТМУ «КАСКАД» ТА РОБОТА З СІТКОВОЮ ДІАГРАМОЮ

Завдання цієї роботи – зробити огляд методології користування основними методами теплової інтеграції процесів («Каскад») та пінч-аналізу (сіткова діаграма), а також дослідити коректне використання екстрагованих вихідних даних безвідносно до технологічної схеми, знаючи задану лише мінімальну різницю температур.

Ключові слова: інтеграція процесів, пінч-аналіз, «Каскад», сіткова діаграма.

Постановка проблеми. Використання ЕОМ для розрахунку великих технологічних систем, які включають колони, теплообмінники, інше допоміжне устаткування, дозволяє прорахувати два або декілька варіантів з подальшим вибором найкращого як на стадії проектування, так і на стадії реконструкції. Проте невеликі установки можуть бути легко обчислені вручну за допомогою базових методів пінч-інтеграції хіміко-технологічних процесів.

Аби уникнути недоліків і труднощів, а також досягти бажаного результату при синтезі оптимальної структури ХТС необхідно використовувати методи, що володіють наступними специфічними властивостями: можливість знаходження альтернативних структур в районі оптимуму, мінімальний об'єм необхідної інформації, можливість обліку якісно різних вимог до властивостей синтезуючих ХТС, здобуття простих структур, можливість діалогу між проектувальником і обчислювальною машиною, можливість легкого внесення особистого досвіду проектувальника в алгоритм, застосування до вирішення великих промислових завдань [1]. У випадку безпосереднього прямого розрахунку подібної системи власне людиною, кількість таких суперечливостей різко зменшиться.

© Л.М. Ульєв, А.О. Гарєв, А.М. Миронов. 2014

Актуальність і доцільність роботи. Оскільки людина має покладатися не тільки на машинну працю, але й на власний мозок, є доцільним розглянути простий та ефективний метод покрокової побудови сіткової діаграми через розрахунок «каскаду».

Такі обчислення безумовно будуть коректними, навіть незважаючи на те, що при цьому власне технологічний процес не є нам відомим. Сам метод буде корисним як студентам-технологам, так і сторонній зацікавленій особі.

Метод проектування, що володіє вказаними властивостями, з'явився на Заході під час енергетичної кризи середини 70-х років та особливо інтенсивно розвивається останні два-три десятиріччя. Відомий він під назвою пінч-аналізу.

Завдяки розробці теорій інтеграції теплових процесів і методів пінч-аналізу, які дозволяють на базі основних термодинамічних принципів визначити граничні можливі норми споживання тепла від зовнішніх джерел і потреби в охолодженні, а потім створити оптимальну структуру і розрахувати оптимальні параметри теплообмінної мережі, був досягнутий значний прогрес в вирішенні багатьох задач проектування і модернізації ХТС усіх сфер застосування [2].

Ціль роботи. Огляд можливих правил розміщення теплообмінників на сітковій діаграмі, з використанням методу табличного алгоритму «Каскад».

Розгляд необхідних даних. Задля наочності демонстрації можливостей методу, що розглядається, задамося мінімальними вхідними даними.

Уявімо собі, що за результатами аналізу схеми хіміко-технологічного процесу були розраховані матеріальний і тепловий баланс для всіх потоків установки.

Відомі значення цільової температури, температури постачання, величини теплових навантажень на холодні («хол.») та гарячі («гар.») потоки та їхні потокові теплоємності. Потім задля нашого комфорту ці дані зведено в потокову таблицю 1, яка, власне, і дійшла до нас.

Безумовна об'єктивність результатів зумовлена тим, що усі подальші розрахунки будуть наведені, абстрагуючись від будь-яких конкретних хіміко-технологічних процесів.

Таблиця 1. Потоківі дані технологічної схеми

№ потоку	Тип потоку	Температура постачання, T_s , °C	Цільова температура, T_T , °C	Теплова потужність, Q , кВт	Потокова теплоємність, CP , кВт/°C
1	Гар.	98	30	201,137	2,9579
2	Гар.	100	30	776,503	11,0929
3	Гар.	98	98	899,264	899,264
4	Хол.	30	98,6	963,8984	14,051
5	Хол.	10	80	776,503	11,0929

Розв'язання проблеми. Нам відомо, що у існуючому процесі рекуперація відсутня. Для того, щоб вона з'явилася, скористаємося методом табличного алгоритму, або «каскадом».

Маючи задану мінімальну різницю температур $\Delta T_{\min} = 4^\circ\text{C}$, почнемо обчислювати цільові енергетичні значення.

Алгоритм складається з:

- визначення величин навантаження на утилітні теплообмінники;
- визначення локалізації пінча;
- розгляду підсистем вище та нижче пінча;
- висновків.

Послідовне виконання всіх цих етапів забезпечить логічне перетікання «каскадного» методу у закінчену сіткову діаграму із зазначенням усіх розглянутих елементів [3].

Для цього спочатку визначимо зрушені температурні інтервали з реальних температур постачання й цільових температур технологічних потоків процесу.

Необхідно всі гарячі потоки зрушити по температурній осі вниз на $\Delta T_{\min}/2$ (гаряча складова крива на $\Delta T_{\min}/2$ холодніше, ніж у дійсності), а холодні потоки підніmemo на $\Delta T_{\min}/2$ (холодна складова крива на $\Delta T_{\min}/2$ гарячіше, ніж насправді).

Побудуємо спеціальну таблицю (табл. 2), де запишемо реальні й зрушені температури.

Таблиця 2. Зрушені температури потоків

Потік	Тип	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_T, ^\circ\text{C}$	$T^*_s, ^\circ\text{C}$	$T^*_T, ^\circ\text{C}$
1	Гар.	98	30	96	28
2	Гар.	100	30	98	28
3	Гар.	98	97	96	95
4	Хол.	30	98,6	32	100,6
5	Хол.	10	80	12	82

Зрушені складові криві зараз стикаються в точці пінча. Холодна та гаряча температури пінча також змінилися на $\Delta T_{\min}/2$, і зараз мають одне й теж значення.

У результаті такого зрушення стає можлива передача тепла між потоками у межах кожного температурного інтервалу. Дуже важливо відзначити, що вертикальне переміщення кривих не змінює величини основних ентальпійних інтервалів.

Розташовуємо зрушені температурні інтервали й технологічні потоки уздовж у порядку зменшення. Це буде виглядати наступним чином, $^\circ\text{C}$:

$$100,6 - 98 - 96 - 95 - 82 - 32 - 28 - 12.$$

Як бачимо, в нас сім температурних інтервалів.

Визначмо значення ΔT_i для кожного інтервалу та його ентальпійний баланс:

$$\Delta H_i = (\sum^n_i CP_{Ci} - \sum^n_i CP_{Hi})_i \cdot \Delta T_i,$$

де ΔH_i – тепловий баланс для i -го зрушеного інтервалу, кВт;

ΔT_i – величина i -го температурного інтервалу, $^\circ\text{C}$;

CP_{Ci} та CP_{Hi} – потокова теплоємність холодного та гарячих потоків i -го інтервалу, кВт/ $^\circ\text{C}$.

Для кожного з семи зрушених температурних інтервалів обчислимо величину ентальпії (ΔH_i).

Згідно методології, задля полегшення екстрагування даних при побудові теплового каскаду, результати обчислень заносимо в табл. 3.

Таблиця 3. Тепловий баланс у температурних інтервалах

Номер інтервалу	Температури на межах інтервалів, T, °C	Розподілення потоків	$\Delta T_{\text{інт}}, ^\circ\text{C}$	$\Sigma C_{pC} - \Sigma C_{pH}, \text{кВт}/^\circ\text{C}$	$\Delta H_{\text{інт}}, \text{кВт}$	Надлишок/нестача
1	100,6 °C		2,6	14,051	36,5326	Нестача
2	98 °C		2	2,9581	5,9162	Нестача
3	96 °C		1	-896,3059	-896,3059	Надлишок
4	95 °C		13	0,0002	0,0026	Нестача
5	82 °C		50	11,0931	554,655	Нестача
6	32 °C		4	-2,9579	-11,8316	Надлишок
7	28 °C		16	11,0929	177,4864	Нестача
	12 °C					

Розташуємо наші температурні інтервали уздовж температурної шкали, спадаючим донизу каскадом. Користуючись даними таблиці розберемо кожен температурний інтервал окремо.

Спочатку припустимо, що перший температурний інтервал не одержує теплової енергії від зовнішніх енергоджерел – рис. 1.

Перший інтервал має нестачу теплової потужності 36,5326 кВт, що передається наступному інтервалу.

Другий інтервал має нестачу теплової потужності 5,9162 кВт, що зменшується завдяки енергії, отриманій з першого інтервалу до -42,4488 кВт, що й передається третьому температурному інтервалу процесу.

Третій інтервал має надлишок теплової потужності -896,3059 кВт, що збільшує нестачу енергії до 853,8571 кВт, що й передається четвертому температурному інтервалу процесу.

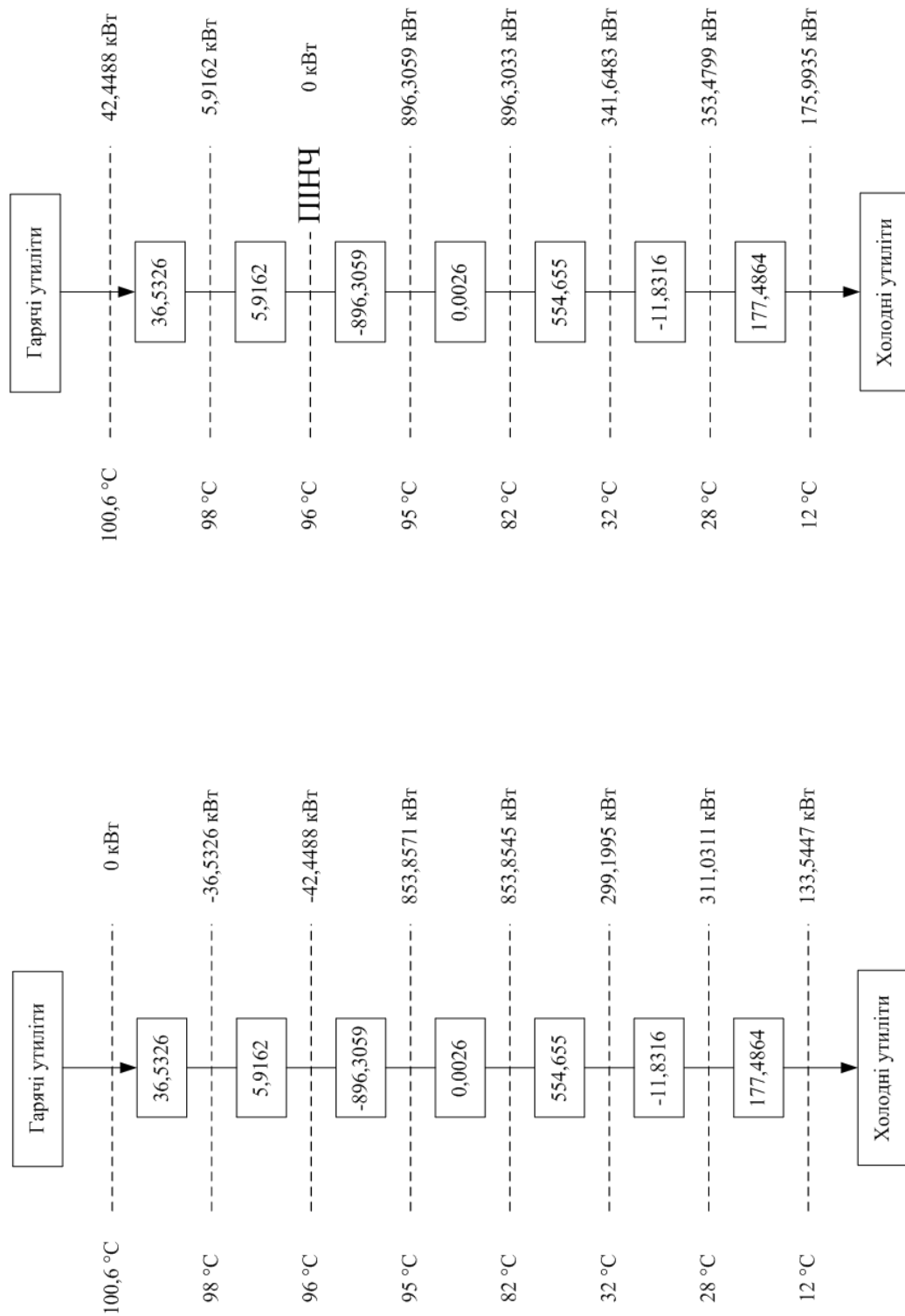


Рис. 1. Тепловий каскад табличного алгоритму при нульових значеннях гарячих утиліт

Рис. 2. Тепловий каскад табличного алгоритму при цільових значеннях гарячих утиліт

Четвертий інтервал має нестачу теплової потужності 0,0026 кВт, що зменшує нестачу енергії до 853,8545 кВт, що й передається четвертому температурному інтервалу процесу.

П'ятий інтервал також має нестачу теплової потужності 554, 655 кВт, що зменшується до 299,1995 кВт, що й передається четвертому температурному інтервалу процесу.

Шостий інтервал теж має надлишок теплової потужності –11,8316 кВт, що збільшує нестачу енергії до 311,0311 кВт, що й передається четвертому температурному інтервалу процесу.

Сьомий інтервал має нестачу теплової енергії 177,4864 кВт, що підсумується з нестачею енергії, переданою з шостого інтервалу, та дає нестачу в 133,5447 кВт, яка й передається холодним утилітам.

Наступним кроком побудуємо каскад позитивних теплових потоків. Для цього до гарячих утиліт додаємо найбільшу нестачу тепла 42,4488 кВт і знаходимо тепловий баланс для кожного температурного інтервалу таким же чином, як наведено вище. У результаті маємо каскад табличного алгоритму при цільових значеннях гарячих утиліт – рис. 2.

В результаті виконання розрахунку методом табличного алгоритму отримали, що $Q_{Hmin} = 42,4488$ кВт, а $Q_{Cmin} = 175,9935$ кВт. Наразі ми визначили температури пінча для гарячих $T_{Hпінч} = 98$ °С та холодних потоків $T_{Cпінч} = 94$ °С.

Наступний великий етап – побудова сіткової діаграми.

На звичайній технологічній схемі при проектуванні дуже важко провести поділ технологічної схеми ректифікації на підсистему, що перебуває вище пінча, і підсистему нижче пінча. Найбільше зручно це зробити, якщо представити технологічні потоки технологічної схеми ректифікації за допомогою сіткової діаграми, на якій показуються тільки операції теплопередачі.

Розділяємо технологічні потоки ректифікації на дві підсистеми, де вертикальні лінії показують локалізацію пінча. Ліворуч від вертикальних ліній перебуває підсистема потоків, що розташована вище пінча, праворуч – нижче пінча (рис. 3).

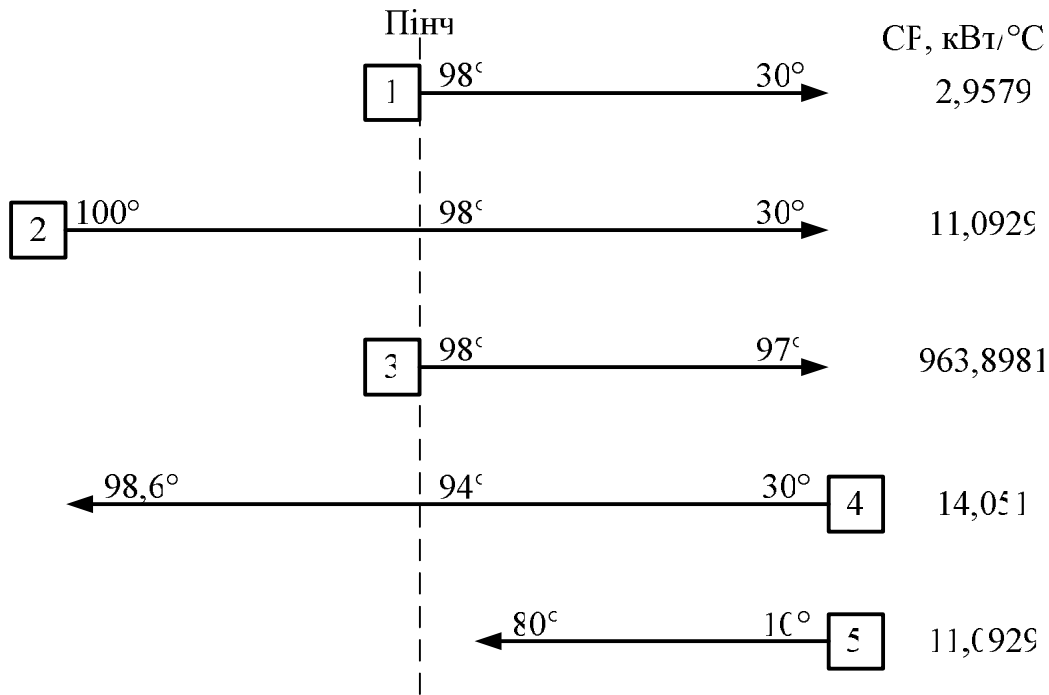


Рис. 3. Сіткова діаграма технологічної системи:
1–3 – гарячі потоки; 4–5 – холодні потоки

В області пінча діють найменші рушійні сили теплопередачі, тому це найбільш стиснута область для можливих розміщень рекуперативних теплообмінників. Дійсно, на всіх теплообмінних апаратах у районі пінча мінімальна різниця температур повинна строго дорівнювати $\Delta T_{\min} = 4^{\circ}\text{C}$. Починати проектування теплообмінної мережі необхідно в точці пінча, рухаючись від нього убік.

Розгляньмо підсистему, що знаходиться вище пінча, рис.3.

Для того, щоб вище пінча здійснити рекуперацію теплової енергії гарячих потоків холодними, необхідно, щоб кількість гарячих потоків була меншою або дорівнювала числу холодних потоків. Для нашої технологічної схеми ця умова виконується, бо кількість гарячих та холодних потоків однакова і дорівнює одиниці.

Виходячи з загальних умов, необхідно починати розміщення теплообмінних апаратів з гарячого потоку №2, що має максимальну потокову теплоємність $CP_2 = 11,0929 \text{ кВт/}^{\circ}\text{C}$. Знайти йому партнера для теплообміну серед холодних потоків неважко, але при цьому має виконуватися умова: $CP_H \leq CP_C$, де CP_C і CP_H – потокова теплоємність холодного та гарячого потоків, $\text{кВт/}^{\circ}\text{C}$.

Для гарячого потоку № 2 – це холодний потік № 4 з потоковою теплоємністю $CP_2 = 14,051$ кВт/°С.

Щоб скоротити кількість теплообмінних апаратів будемо використовувати принцип максимального навантаження кожного рекуперативного теплообміннику у тепловій мережі технологічної системи, що розглядається.

Для того, щоб максимізувати навантаження в теплообмінниках обчислимо зміну потокової ентальпії кожного потоку.

Зміна ентальпії гарячих потоків:

$$\Delta H_i = CP_i \cdot (T_{Ti} - T_{Si}),$$

де T_S – температура постачання, °С;

T_T – цільова температура, °С.

Зміна ентальпії гарячого потоку №2: $\Delta H_2 = 22,1858$ кВт.

Для холодних потоків обчислюється так само: $\Delta H_4 = 64,6346$ кВт.

Запишемо ці значення на потоковій діаграмі поруч із відповідними потоками. Максимізуємо теплове навантаження теплообмінного апарата, розміщеного на потоках № 2 і № 4. У цьому випадку мінімальна зміна ентальпії гарячого потоку дорівнює $\Delta H_2 = 22,1858$ кВт, тому й теплове навантаження цього теплообмінного зв'язку буде таке ж. Відзначимо потік № 2.

Запишемо значення теплових навантажень під відповідним зображенням теплообмінного апарата на сітковій діаграмі рис 4.

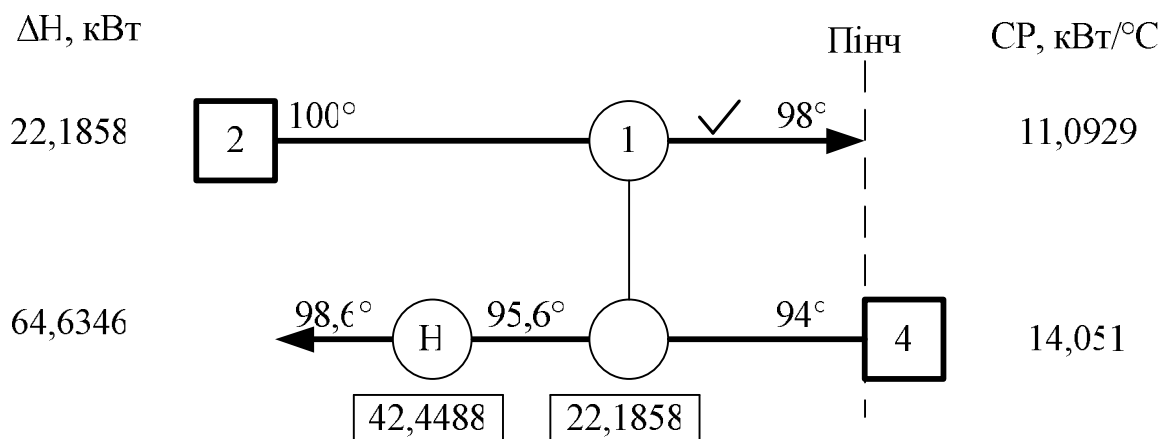


Рис. 4. Підсистема вище пінча:

1 – теплообмінник; 2 – гарячий потік; 4 – холодний потік; Н – нагрівач

Після розміщення на сітковій діаграмі цього теплообмінника в нас залишилося невдоволеним навантаження на холодному потоці № 4 потужністю, яка необхідна для нагрівання четвертого потоку після рекуперативного теплообмінника до його цільової температури, що дорівнює 98,6 °С.

Визначаємо цю потужність: $\Delta H = \Delta H_4 - \Delta H_2 = 42,4488$ кВт.

Вся теплота гарячого потоків під пінчем вже рекуперована завдяки холодному за допомогою розміщення теплообмінника. Тому, щоб довести потік № 4 до його цільової температури, нам необхідно використовувати гарячі утиліти, наприклад, нагрівати потік паром. Відзначаємо це на сітковій діаграмі.

Нам невідома температура холодного потоку на гарячому боці встановленого теплообмінника. Використовуючи рівняння балансу ентальпії, обчислюємо відсутню температуру.

Температура холодного теплоносія на вході в нагрівач з рівняння теплового балансу визначиться величиною:

$$T_{\text{вх.н.}} = T_T - (\Delta H / CP_4) = 95,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розгляньмо підсистему, що знаходиться нижче пінча.

Для того, щоб нижче пінча здійснити рекуперацію теплової енергії холодних потоків гарячими, необхідно, щоб кількість холодних потоків була меншою або дорівнювала числу гарячих потоків. Хоч для нашої схеми ця умова й виконується, задля більш ефективної рекуперації енергії із мінімальною кількістю втрат, розщепимо холодний потік № 5 на два паралельних потоки. Початкову потокову теплоємність п'ятого холодного потоку $CP_5 = 11,0929$ кВт/°С розділяємо (рис. 5) на дві неоднакові теплоємності $CP_{5.1} = 10,776$ кВт/°С та $CP_{5.2} = 0,3169$ кВт/°С.

Необхідно починати розміщення теплообмінників з холодного потоку № 4, що має максимальну потокову теплоємність $CP_4 = 14,051$ кВт/°С. Знайдемо йому партнера для теплообміну серед гарячих потоків, при цьому має виконуватися умова: $CP_H \geq CP_C$.

Для холодного потоку № 4 – це гарячий потік № 3 з потоковою теплоємністю $CP_3 = 963,8981$ кВт/°С.

Таким же чином підбираємо партнера для інших холодних.

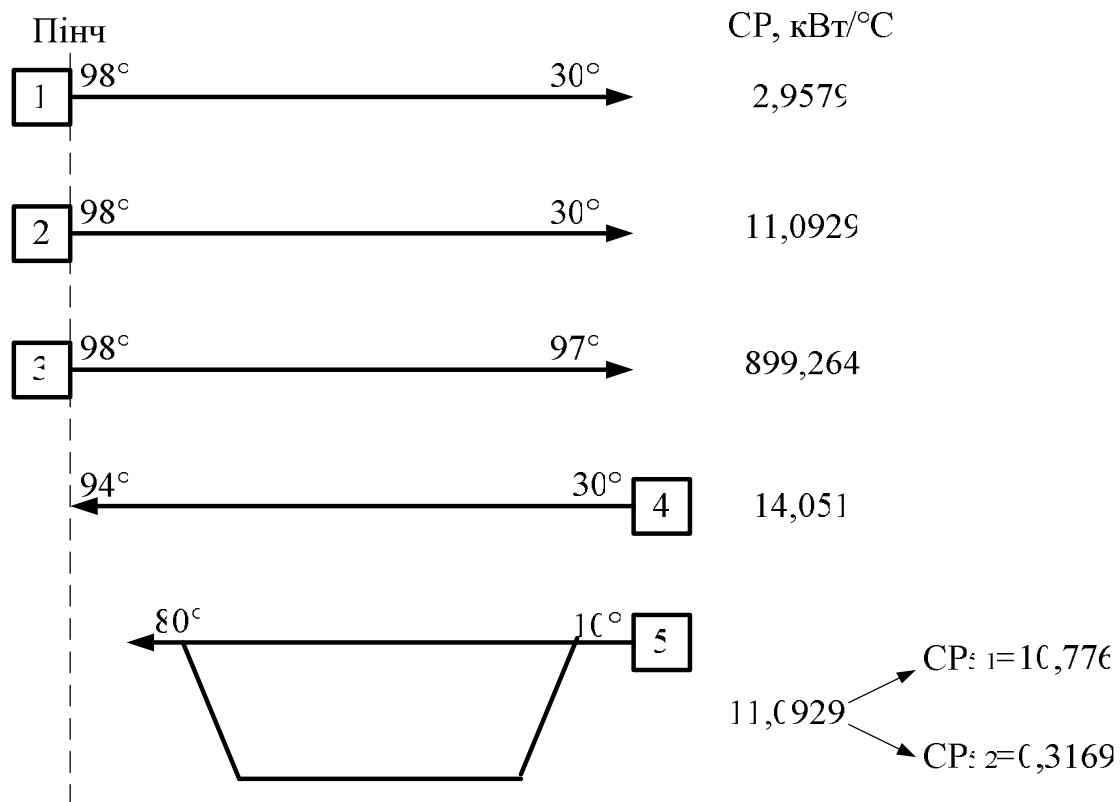


Рис. 5. Підсистема нижче пінча

Для максимізації навантаження в теплообмінниках обчислимо зміну потокової ентальпії кожного потоку у підсистемі нижче пінча (ці обчислення є типовими і аналогічні тим, що розглянуто у підсистемі вище пінча).

Для холодних потоків: $\Delta H_4 = 899,264$ кВт; $\Delta H_5 = 776,503$ кВт;
 $\Delta H_{5,1} = 754,32$ кВт; $\Delta H_{5,2} = 22,183$ кВт.

Для гарячих потоків: $\Delta H_1 = 201,1372$ кВт; $\Delta H_2 = 754,32$ кВт;
 $\Delta H_3 = 963,8981$ кВт.

Запишемо ці значення на потоковій діаграмі поруч із відповідними потоками. Максимізуємо теплове навантаження на усіх потоках:

на потоках № 3 і № 4: $\Delta H_4 = 899,264$ кВт;
на потоках № 2 і № 5.1: $\Delta H_{5,1} = 754,32$ кВт;
на потоках № 1 і № 5.2: $\Delta H_{5,2} = 22,183$ кВт.

Запишемо значення теплових навантажень під відповідним зображенням теплообмінного апарата на сітковій діаграмі.

Після розміщення на сітковій діаграмі цього теплообмінника в нас залишилося невдоволенням навантаження на гарячому потоці № 1 потуж-

ністю, яка необхідна для охолодження цього потоку, після четвертого рекуперативного теплообмінника до його цільової температури, що дорівнює 30 °С.

Визначаємо ці потужності: $\Delta H' = \Delta H_5 - \Delta H_1 = 178,9542$ кВт.

Для того, щоб привести потік № 1 до його цільової температури, необхідно використовувати холодні утиліти, наприклад, охолоджувати потік водою. Відзначаємо це на сітковій діаграмі, рис 6.

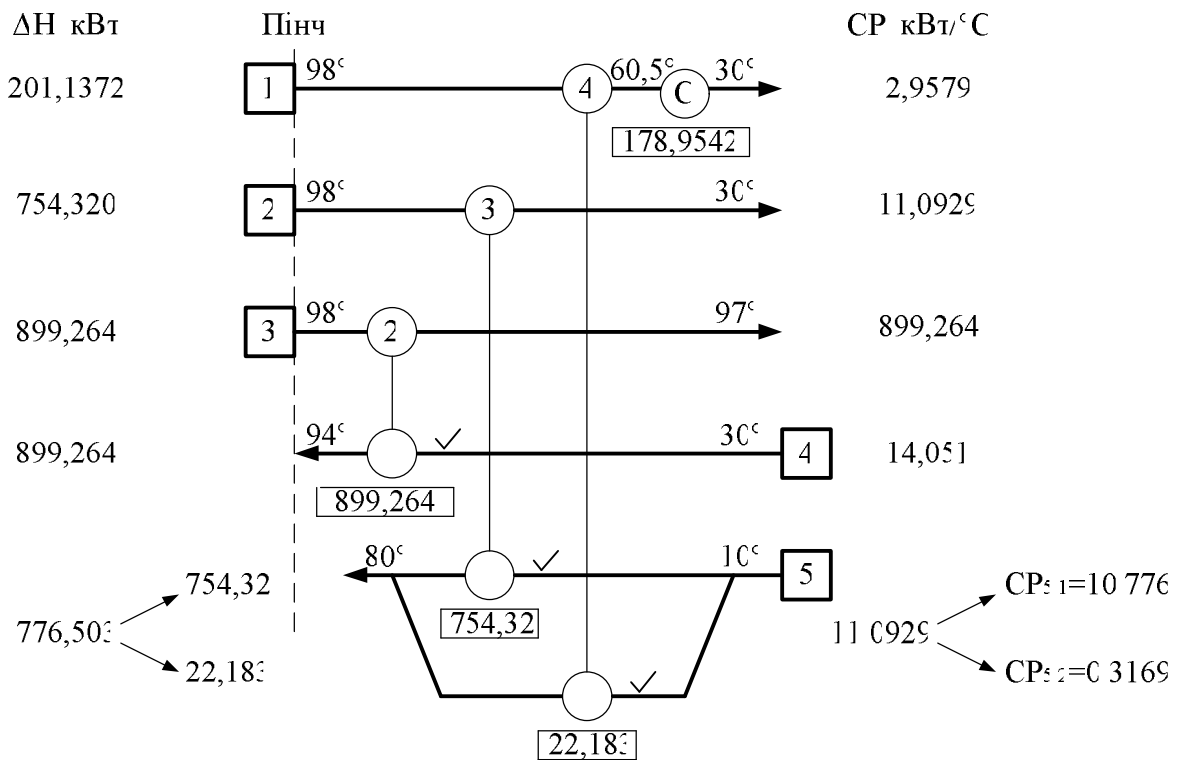


Рис. 6. Підсистема нижче пінча:
1–3 – гарячі потоки; 4–5 – холодні потоки; С– охолоджувач

Нам невідома температура гарячих потоків на холодному боці встановлених теплообмінників. Обчислюємо їх, використовуючи рівняння балансу ентальпії.

Температура гарячого теплоносія на вході в охолоджувач на потоці №1 з рівняння теплового балансу визначиться так:

$$T_{\text{вх.о.}} = T_T + (\Delta H' / CP_1) = 60,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Таким чином, спроектовано систему теплообмінників, в тому числі чотири рекуперативних, один нагрівач і два охолоджувача. Покажемо це на повній сітковій діаграмі, рис 7.

Ми закінчили проектування системи теплообміну вище пінча й нижче пінча. Результати порівняння витрат енергії утиліт до і після реконструкції наведені в табл. 4.

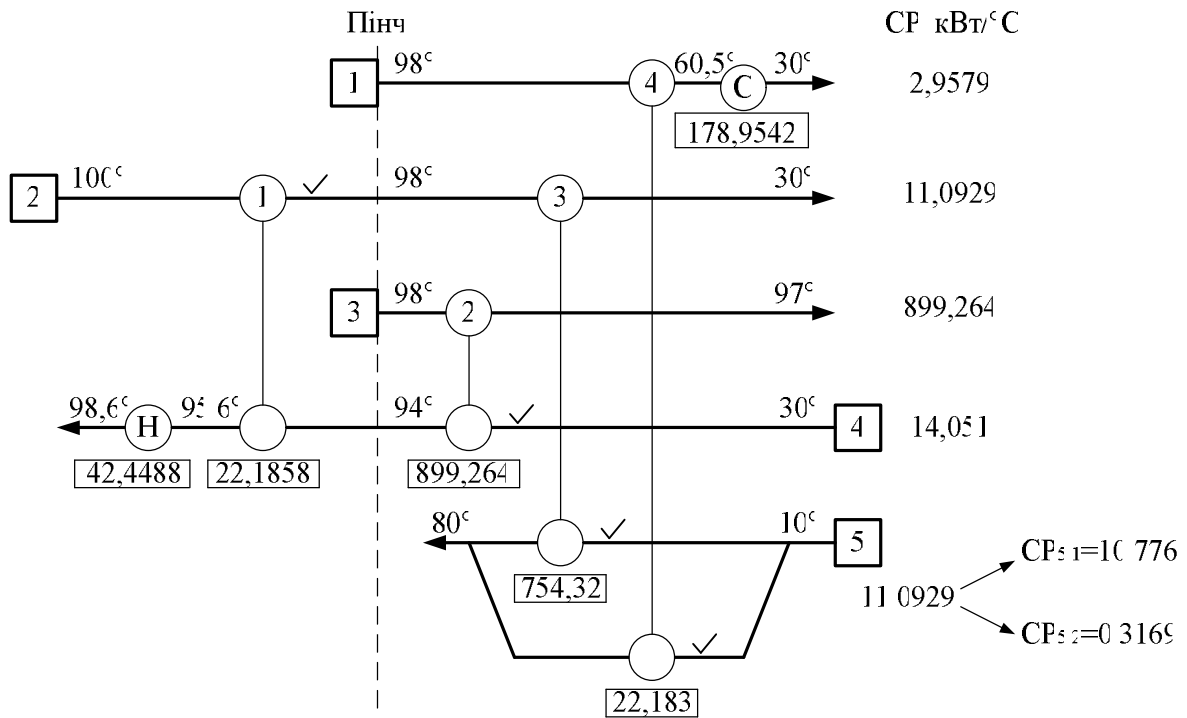


Рис. 7. Сіткова діаграма технологічних потоків:
1–3 – гарячі потоки; 4,5 – холодні потоки; 1–4 – теплообмінники;
Н – нагрівач; С – охолоджувач

Таблиця 4. Порівняння енергетичних характеристик існуючої та пропонуваної схем реконструкції теплообмінних мереж технологічної системи ректифікації

Технологічна схема	Гарячі утиліти Q_{Hmin} , кВт	Холодні утиліти Q_{Cmin} , кВт
До реконструкції	1876,904	1740,4014
Після реконструкції	42,4488	175,9935

Для заданого значення ΔT_{\min} методами пінч-проекування синтезовано проект схеми теплообмінної системи (сіткова діаграма). Створення рекуперативної системи установки за пропонованою схемою дозволить знизити потужність гарячих утиліт, що споживається процесом до 42,4488 кВт, а потужність холодних – до 175,9935 кВт.

Висновки. Розглянувши методологію застосування основних методів теплової пінч-інтеграції процесів, ми дійшли однозначного висновку щодо можливості коректного використання екстрагованих вихідних даних безвідносно до технологічної схеми, а знаючи задану лише мінімальну різницю температур. Це ще раз доводить наочність та ефективність методів немашинного розрахунку. Слід зазначити, що розглянуті методи є далеко не єдиними, але, безумовно, одними з найзручніших.

Список літератури: 1. *Смит Р.* Основы интеграции тепловых процессов / *Р. Смит, Й. Клеменш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев* – Х.: НТУ «ХПИ», – 2000. – 458 с. 2. *Linnhoff, B.* Thermodynamic Analysis in the Design of Process Networks / *B.Linnhoff* – University of Leeds: PhD Thesis, – 1979. 3. *Капустенко П.А.* Альтернативная энергетика и энергосбережение: современное состояние и перспективы / *П.А. Капустенко, А.К. Кузин, Е.Л. Макаровский, Л.Л. Товажнянский, Л.М. Ульев, Е.Б. Черная* – Х.: ООО Издательский дом «Вокруг цвета». – 2004. – 312 с.

Надійшла до редакції 20.03.2014

УДК 608.2

Застосування методу табличного алгоритму «Каскад» та робота з сітковою діаграмою / Ульєв Л.М., Гарєв А.О, Миронов А.Н. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження в науковій роботі студентів. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 16 (1059). – С. 45 – 58.

Цели этой работы – сделать обзор методологии использования основных методов тепловой интеграции процессов («Каскад») и пинч-анализа (сеточная диаграмма), а также исследовать корректное использование экстрагированных исходных данных безотносительно технологической схемы, зная только минимальную разницу температур.

Ключевые слова: интеграция процессов, пинч-анализ, «Каскад», сеточная диаграмма.

The aim of this work is to do the review of methodologies of the using the main methods of heat integration of the processes ("Cascade") and pinch-analysis (grid diagram). Also correct using extracted datas irrespective technological scheme and knowing just minimum difference of the temperatures is researched.

Keywords: processes integration, pinch-analysis, "Cascade", grid diagram.

Л.М. УЛЬЕВ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;
М.В. ИЛЬЧЕНКО, студент, НТУ «ХПИ»

ПИНЧ-ИНТЕГРАЦИЯ БЛОКА АТМОСФЕРНОЙ ПЕРЕГОНКИ НЕФТИ НА УСТАНОВКЕ ТИПА АВТ

В работе выполнена пинч-интеграция блока атмосферной перегонки нефти на установке типа АВТ. С помощью методов пинч-проектирования построена сеточная диаграмма предложенного проекта рекуперации тепловой энергии. На основе сеточной диаграммы системы рекуперации предложена энерго-технологическая схема блока перегонки нефти, в которой значительно увеличена мощность рекуперации. Также в работе описаны затраты на проектирование и срок окупаемости данного проекта.

Ключевые слова: пинч-интеграция, атмосферная перегонка нефти, пинч-анализ, сеточная диаграмма, утилиты.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научно-практическими заданиями.

Энергия – необходимый элемент для живого организма, сообщества, а также для любой химической и физической системы.

В третьем тысячелетии ограниченность запасов материальных, особенно топливно-энергетических, ресурсов выдвинула на первый план задачу обеспечения долговременного устойчивого развития человечества и всех сфер обеспечения его жизнедеятельности. Химическая промышленность и ее различные отрасли являются одними из крупнейших потребителей разнообразных природных ресурсов, оказывающими к тому же неблагоприятное воздействие на окружающую природную среду.

Обеспечить рациональное потребление ресурсов и сократить вредное экологическое воздействие химических производств можно только на основе всестороннего анализа и оптимизации составляющих их химико-технологических систем (ХТС), с полным интегрированным учетом их взаимного влияния в структуре производственного комплекса, разработки наилучших цепей поставок исходного сырья, конечной продукции, совершенствования механизмов взаимодействия с окружающей природной средой [1].

© Л.М. Ульев, М.В. Ильченко. 2014

В этом плане возможности химии велики. Первое направление, где химия может быть эффективной – разработка технологий, обеспечивающих уменьшение затрат энергии на производство единицы продукта. Второе – создание новых видов химического топлива, обеспечивающих энергетическую и экологическую эффективность, к примеру. Третье – новые эффективные технологии получения энергии, как с известными, так и с новыми энергоносителями. Одним из важных направлений ресурсосбережения в химической промышленности является энергосбережение.

Анализ последних исследований и публикаций.

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

Литературные данные, опубликованные в разных источниках [2–3], говорят о том, что при использовании методов пинч-анализа, можно сократить энергопотребление на предприятии практически в 2 раза.

Постановка задачи.

При модернизации существующих производств методы пинч-технологии позволяют максимально использовать уже установленное оборудование, что снижает инвестиции в реконструкцию, а также создавать проекты новых рабочих сетей. Более того, методами пинч-анализа можно определить стоимостный компромисс между всеми названными целями и капитальными вкладами при заданном времени окупаемости, которому должен удовлетворять окончательный проект.

Целью работы является создание сети теплообменников с максимальной рекуперацией энергии для заданного значения ΔT_{\min} с помощью пинч-технологий [4].

Теплоэнергетическая интеграция.

Ранее, в работах [5,6], было начато решение проблемы по энергосбережению процесса атмосферной перегонки нефти на установке типа АВТ. На основании обследования существующей технологической схемы, которая также была рассмотрена в этих работах, была построена сеточная диаграмма существующего процесса (рис. 1).

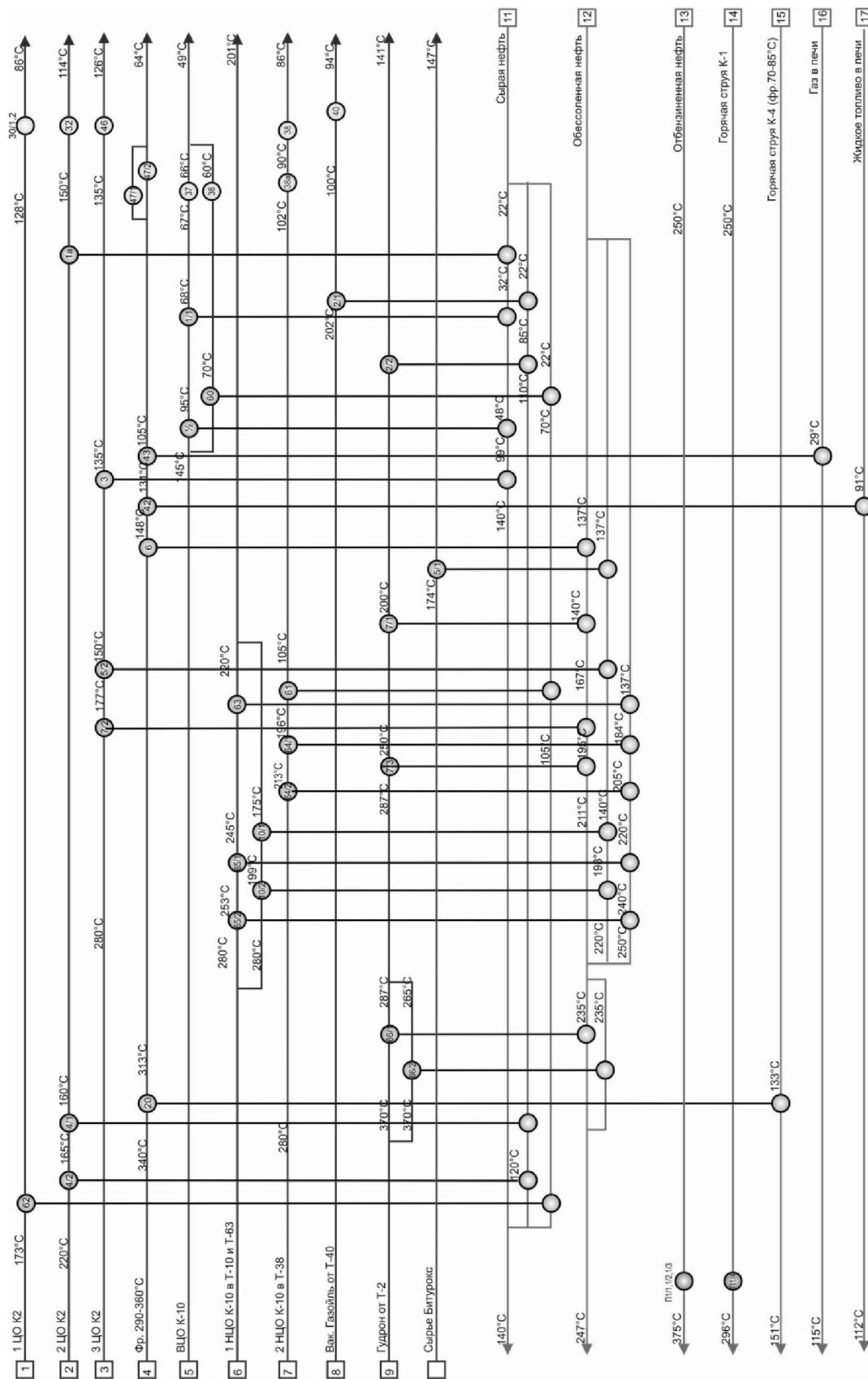


Рис. 1. Сеточная диаграмма существующего процесса

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

Мы видим, что пинч локализуется на температуре 265°C для горячих потоков и 250°C – для холодных потоков. Горячие утилиты приобрели значение, равное $Q_{Hmin} = 56\,148,94$ кВт, что на 21,65% меньше, чем процесс получает от утилитной системы в настоящее время. Значение холодных утилит составляет $Q_{Cmin} = 3\,003,93$ кВт, что на 83,78% меньше, чем мощность, отдаваемая утилитной системой процессу сейчас.

Мощность рекуперации тепловой энергии в интегрированной системе при достижении минимально допустимой разности температур, которая равна $\Delta T_{min} = 15^\circ\text{C}$, достигнет значения $Q_{Rec} = 119\,796,47$ кВт. Таким образом, с помощью внедрения теплоэнергетической интеграции в процесс атмосферной перегонки нефти, можно уменьшить энергопотребление на 15 513,57 кВт.

Для интегрированной схемы были рассчитаны параметры теплообменных аппаратов и их основные экономические показатели. В таблице 1 приведены данные, рассчитанные для дополнительной теплообменной поверхности.

Таблица 1. Параметры теплообменных аппаратов

Теплообменник	Нагрузка, кВт	Площадь поверхности, м ²	Цена, грн.
1	2	3	4
T-2	712,5	116	580 228,51
T-3	946,95	274	1 136 654,43
T-4	4614,75	1620	5 038 702,46
T-7	15300	11250	2 705 501,62
T-9	7133,69	3335	1 082 764,92
T-10	1920	484	610 111,05
T-11	2600	1194	3 882 627,21
T-12	2744,51	605	2 184 830,67
T-13	17405,8	6289	1 186 804,99
T-14	1641,38	108	550 076,62
T-15	5657,61	1267	4 084 106,70

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
T-16	9206,16	962	3 321 028,27
T-17	6594,13	2139	3 125 322,52
T-18	4808,81	573	2 087 633,84
T-19	3018,84	270	1 123 221,34
T-20	329,33	51	324 723,71
T-21	303,3	104	534 723,73
T-22	268,32	26	216 181,09
T-23	62,79	13	154 511,05
Сумма		9559	33 839 923,72

Наглядно рассмотреть энергопотенциал интегрируемой схемы и возможную экономию энергии можно с помощью таблицы 2.

Таблица 2. Энергопотребление и рекуперация системы теплообмена

Проект	Горячие утилиты, МВт	Холодные утилиты, МВт	Рекуперация, МВт	Цена энергии за год, грн
Существующий	71 660,40	18 517,50	104 282,90	208 302 272,73
Интегрированный	56 148,94	3 003,93	119 796,47	159 953 481,95
Экономия	15 511,46	15513,57		48 348 790,78

Проведя анализ полученных данных можно заключить, что подобный проект является экономически целесообразным, поскольку вычисленный по методологии срок его окупаемости составляет немногим менее 1,3 года.

На основании приведенных выше расчётов, направленных на проведение пинч-интеграции имеющейся схемы, а также, базируясь на данных сеточных диаграмм, построенных для существующего и интегрированного процессов, можно сделать вывод о том, что проект реконструкции блока атмосферной перегонки нефти технологической схемы установки АВТ для достижения условий оптимальной работы, должен иметь вид, как показано на рис. 3.

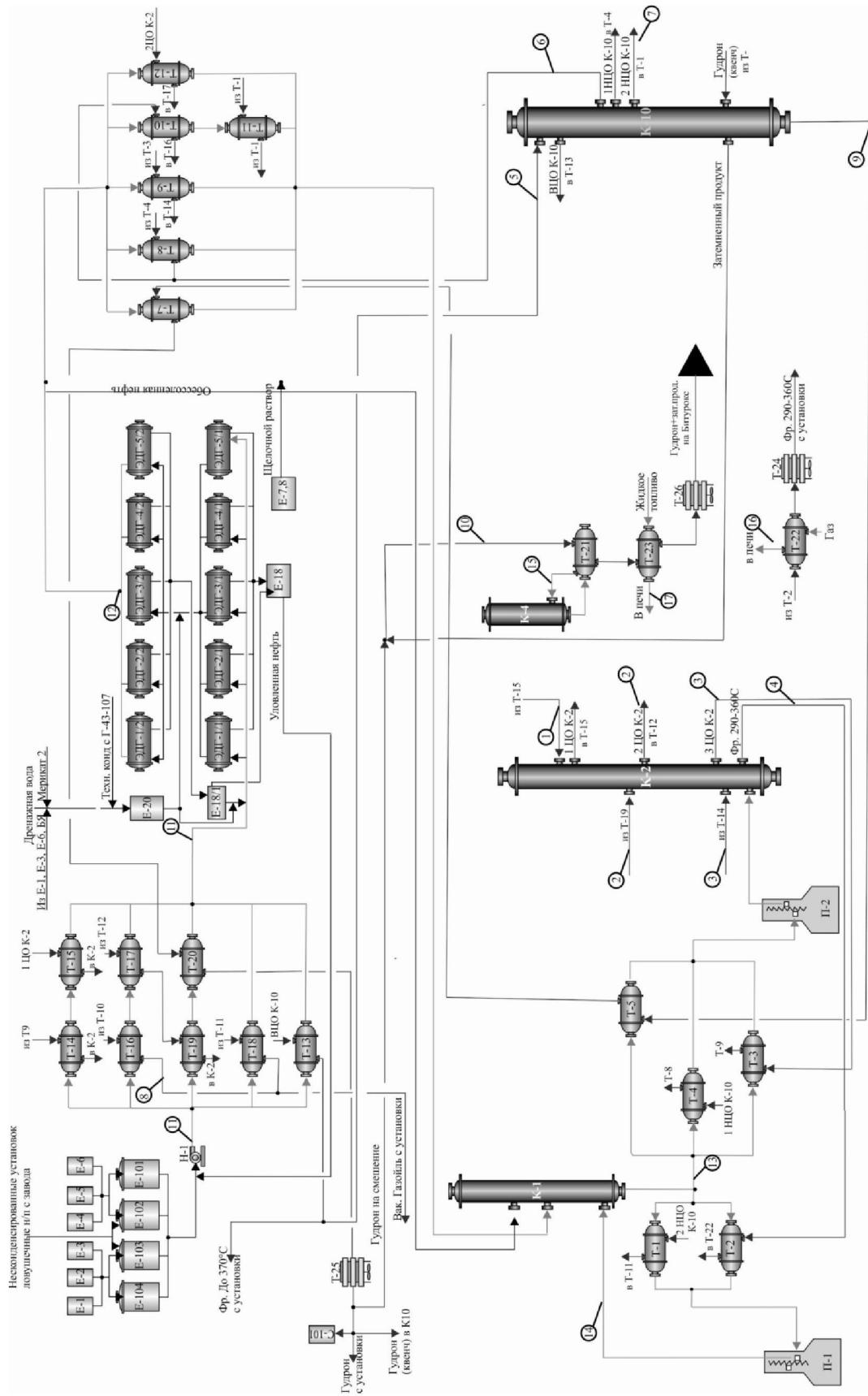


Рис. 3. Схема проекта реконструкции блока атмосферной перегонки нефти на установке АВТ

Выводы.

В результате применения метода пинч-анализа, была синтезирована новая экономически выгодная система теплообмена, которая представлена на энерго-технологической схеме. Получена сравнительная характеристика существующего и интегрированного процесса.

Список литературы: 1. Мешалкин В.П. Основы теории ресурсосберегающих интегрированных химико-технологических систем / В.П. Мешалкин, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. Капустенко. – Х.: НТУ «ХПИ», 2006. – 412с. 2. Клемеш Й. Применение метода пинч-анализа для проектирования энергосберегающих установок нефтепереработки /Й. Клемеш, Ю.Т. Костенко, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев, А.Ю. Перевертайленко, Б.Д. Зулин // ТОХТ. – 1999. – Т. 33, №4. – С. 420–431. 3. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев – Харьков: ХГПУ, 2000. – 457с. 4. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Под общей редакцией Л.Л. ТОВАЖНЯНСКОГО / В.А. Лещенко, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 432 с. 5. Ульев Л.М. Екстракція даних для теплоенергетичної інтеграції процесу атмосферного поділу нафти на установці типу АВТ / Л.М. Ульєв, М.В. Ильченко // Вестник Национального Технического Университета «ХПИ» – 2012. – № 39. – с. 83-90. 6. Ульев Л.М. Пинч-анализ блока атмосферной перегонки нефти на установке типа АВТ / Л.М. Ульев, М.В. Ильченко // Вестник НТУ «ХПИ» – 2013. – № 9. – с. 16-23.

Поступила в редколлегию 09.02.2014

УДК 658.28:665.63:338.44

Пинч-интеграция блока атмосферной перегонки нефти на установке типа АВТ / Ульев Л.М., Ильченко М.В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х.: НТУ «ХПІ». –2014. – № 16 (1059). – С. 59 – 66. Бібліогр. 6 назв.

У роботі виконана пінч-інтеграція блоку атмосферної перегонки нафти на установі типу АВТ. За допомогою методів пінч-проекткування побудована сіткова діаграма запропонованого проекту рекуперації теплової енергії. На основі сіткової діаграми системи рекуперації запропонована енерго-технологічна схема блоку перегонки нафти, в якій значно збільшена потужність рекуперації. Також в роботі описані витрати на проектування та термін окупності даного проекту.

Ключові слова: пінч-інтеграція, атмосферна перегонка нафти, пінч-аналіз, сіткова діаграма, утиліти.

Pinch-integration of block of atmospheric block oil separation for unit AVT was made. The grid diagram of pinch-integration system recuperation project was proposed. On the basis of grid diagram of the system of recuperation the flowsheet of the block of atmospheric oil separation is offered. The investment in project design was calculated and payback period for it was defined.

Keywords: pinch- integration, atmospheric distillation of oil, pinch analysis, the network diagram tool, utilities.

Т.В. КОЗУЛЯ, д-р тех. наук, проф., НТУ «ХПІ»;

М.О. БІЛОВА, магістр, НТУ «ХПІ»

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ ЗА МЕТОДОМ КОМПАРАТОРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

У статті надано методичне забезпечення оцінки стану соціально-еколого-економічних об'єктів на відповідність вимогам сталого розвитку та екологічної безпеки, основане на теорії компараторної ідентифікації. Обговорені результати практичної реалізації запропонованої методики при дослідженні екологічного стану областей України, адекватність отриманої оцінки відповідно до офіційних даних.

Ключові слова: соціально-еколого-економічна система, сталий розвиток, компараторна ідентифікація.

Вступ. Актуальність даної роботи обумовлена недостатньою розробленістю теоретичних положень з ідентифікації несприятливих техногенних впливів на навколишнє природне середовище (НПС), що відрізняються генезисом, динамічністю, інтенсивністю і небезпечними наслідками для стану і функціонування соціально-екологічних систем. Необхідність і доцільність таких розробок пов'язана з виконанням Концепції екологічної політики України за умови реалізації загальноприйнятих принципів сталого розвитку (СР), які полягають у поєднанні та узгодженості в екологічній оцінці економічного, екологічного та людського розвитку за умови відсутності зниження якості і безпеки життя людей, збереження природного стану НС й соціального прогресу, відповідно до потреб людини.

Екологічна ситуація, що склалася в регіонах України, потребує створення методик, які б дозволили порівнювати між собою різні фактори впливу на НС, узгоджувати соціально-еколого-економічні інтереси на основі забезпечення балансу між екологічністю стану НПС і соціально-економічним розвитком. За цих умов запропоновано звернутися до сучасних розробок в галузі інтелектуальних моделей, які б поєднували функції узагальненої корисності з оцінкою альтернатив розв'язання задач структурної і параметричної ідентифікації.

© Т.В. Козуля, М.О. Білова. 2014

Враховуючи вищесказане, **метою роботи** є формування методичного забезпечення з оцінювання екологічного стану системних об'єктів, що пов'язано з багатофакторним аналізом, на основі застосування елементів теорії компараторної ідентифікації. У виконаних дослідженнях поставлені та розв'язані такі задачі:

1) надано зміст запропонованої методики оцінки екологічної якості складних систем з урахуванням принципів СР за методом компараторної ідентифікації факторів небезпеки;

2) представлено алгоритмічне забезпечення реалізації методики оцінювання екологічності стану соціально-еколого-економічних систем;

3) отримані практичні результати використання запропонованої методики для визначення екологічного рейтингу областей України, проаналізовано їх значення.

Розв'язання задачі дослідження і аналіз результатів. У сучасній науковій практиці індекс сталого розвитку визначають як суму індексів розвитку економічної, соціальної та екологічної сфер з урахуванням вагових коефіцієнтів. Такі адитивні моделі орієнтовані на оцінювання явних (прямих) властивостей системи, рівень яких безпосередньо, як сума, визначається властивостями елементів, що утворюють систему. За концепцією СР екологічність як рівень якості НПС досягається за умови цілісності еколого-соціально-економічної системи, що передбачає визначення екологічної безпеки країни не за усередненими проміжними результатами, а з врахуванням усього спектру різноманітних даних моніторингу. Саме багатофакторність аналізу вихідної інформації і її різноманітність за природою і динамікою є проблемою об'єктивного оцінювання соціально-еколого-економічних об'єктів.

У межах теорії компараторної ідентифікації розглядаються завдання математичного опису сенсорних систем, структурної ідентифікації невідомого оператора та визначення його параметрів, що може бути використано для визначення оцінки якості складних систем – еколого-економічної, соціально-економічної, еколого-соціальної і соціально-еколого-економічної, при дослідженні стану складних об'єктів і факторів негативного впливу на них. Для будь-якої сукупності об'єктів $X_0, X_1, X_2, \dots, X_n$ загальною кількістю n , кожен з яких характеризується

m певних параметрів, зазначено стан S_n відповідно до прийнятого початкового S_0 :

$$\begin{aligned} & X_0(x_{00}, x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0m}); X_1(x_{10}, x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1m}); S_0; S_1; \\ & X_2(x_{20}, x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2m}); S_2; \\ & X_n(x_{n0}, x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nm}); S_n; i = \overline{1; n}; j = \overline{1; m}. \end{aligned} \quad (1)$$

Кожен з параметрів стану (1) має різний фізичний зміст, тому доцільним є нормування величин на основі вибраного «еталонного» значення, що є найкращим для заданої вибірки параметрів. Відповідно до «еталонного» значення розраховують відхилення кожного з параметрів. Чим більше величина відхилення буде наближеною до 0, тим кращим буде стан об'єкта, що оцінюється. Допустимим є відхилення від 0 на 20% [3]. Для визначення стану об'єкту використовується компаратор, що має m входів та один вихід (рис. 1). У випадку, якщо для конкретного об'єкту всі відхилення параметрів від еталонних значень дорівнюють нулю, або є більшими від нуля на 20% – об'єкт є «нормальним», тобто не потребує зовнішнього управління (регулювання відповідності). Однак, якщо хоч одне з відхилень дорівнює 0 – об'єкт потребує регулюючих змін для отримання його початкових параметрів або покращення відповідності вимогам соціально-екологічної безпеки за рахунок управляючих дій [3, 4].

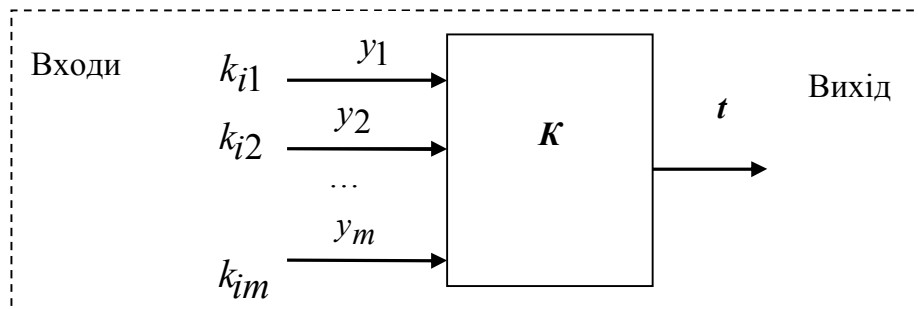


Рис. 1. Схема компаратора

Надану методику оцінки екологічної відповідності використано для визначення рейтингу досліджених систем за їх станом. На перше місце рейтингу розміщується об'єкт з оптимальним відхиленням параметрів – варіація від еталонного значення не перевищує 20%, і позначається відповідністю 1. Надалі формується нова вибірка об'єктів, яка не включає вищеназваний об'єкт. Розрахунки проводяться спочатку, з визначення еталонних значень параметрів. Знов обраний об'єкт займає друге

місце рейтингу. Формується оновлена вибірка. Таким чином розрахунки проводяться до отримання загального рейтингу розглянутих об'єктів за значеннями екологічних відхилень (рис. 2).

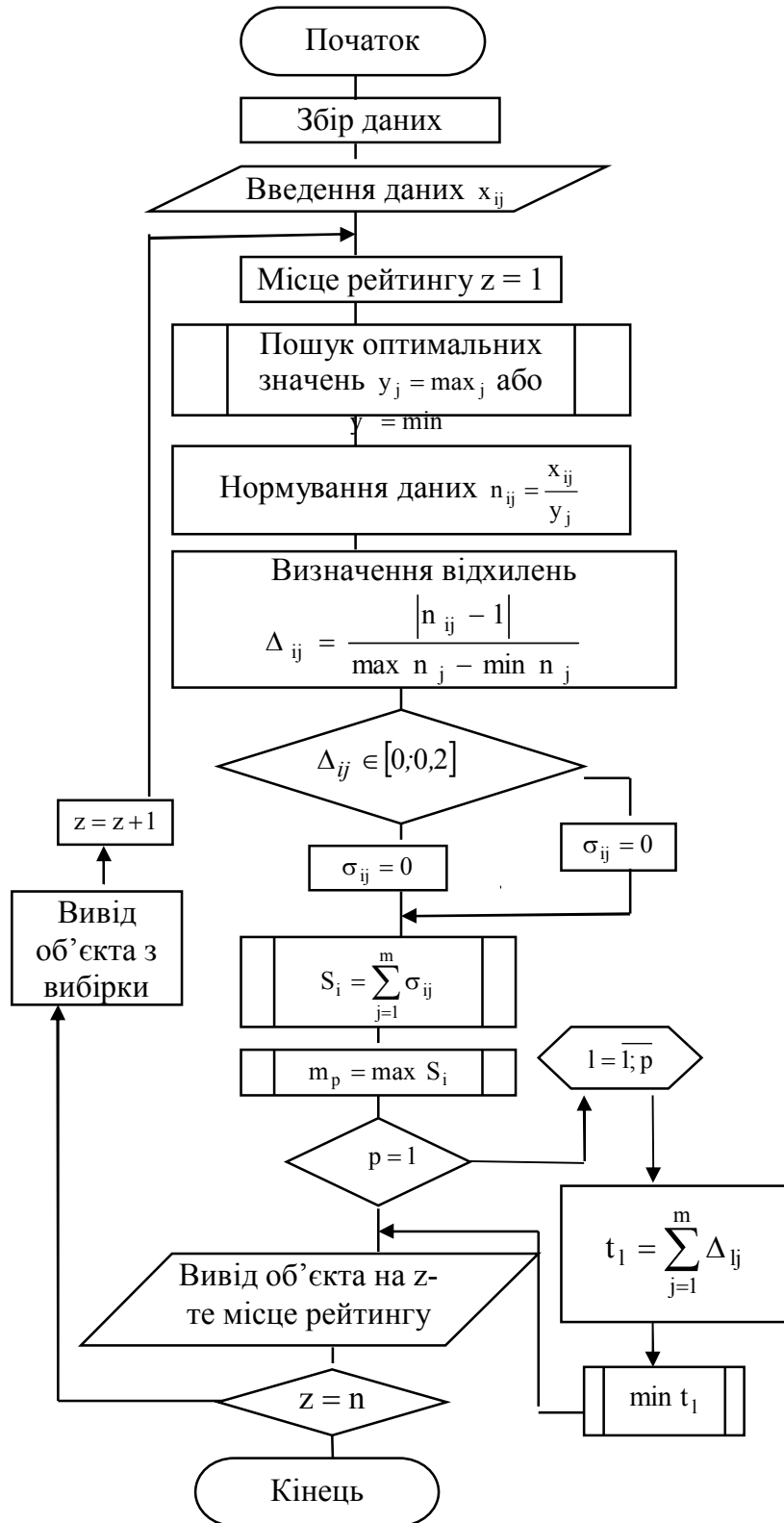


Рис. 2 – Схема алгоритму оцінки якості за екологічним компаратором

Запропонований підхід компараторної ідентифікації екологічної якості складних систем у даній роботі реалізовано відповідно до розробленого алгоритму визначення рейтингу областей України за екологічністю їх стану (X_i).

Аналіз здійснено в рамках дев'яти параметрів, кожен з яких визначає певний соціально-еколого-економічний стан: x_{i1} – приріст населення за останній рік; x_{i2} – народжуваність; x_{i3} – кількість померлих віком до одного року; x_{i4} – середня заробітна плата; x_{i5} – кількість безробітних працездатного віку; x_{i6} – реалізована промислова продукція, млн. грн.; x_{i7} – викиди забруднюючих речовин, тис. тонн; x_{i8} – утворено відходів, тис. тонн; x_{i9} – утилізовано відходів, тис. тонн.

Вихідні дані наведено в таблиці 1 [5], де 1 – приріст населення 2012–2013; 2 – народжуваність; 3 – померлі до 1 року життя; 4 – середня зарплата; 5 – безробітні працездатного віку, тис. чол.; 6 – реалізована промислова продукція, млн. грн.; 7 – викиди забруднюючих речовин, тис. т; 8 – утворено відходів, тис. т; 9 – утилізовано відходів, тис. т.

Таблиця 1. Вхідні дані з оцінки стану регіонів України

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	max	max	min	max	min	max	min	min	max
АРКрим	2381	15654	114	2927	56,1	16864	137,8	3709,1	321,9
Вінницька	0	11471	99	2639	66,5	16087,2	182,7	3132,6	855,6
Волинська	2080	9768	61	2621	39,9	7255,7	50,4	733,8	56,3
Дніпропетровська	0	23521	197	3338	109,8	152557,7	1173,1	291188	94763,3
Донецька	0	26975	323	3787	177,2	152185,7	1714,7	56650,7	13187,8
Житомирська	0	10000	80	2538	57,3	11555,1	85,7	866,8	121,6
Закарпатська	1621	11758	118	2636	47,5	6672,1	72,1	561,9	7,1
Запорізька	0	11925	100	3195	59,5	55192,1	316	6120,9	1686,6
Івано-Франківська	1307	11002	88	2692	45	14870,8	249,1	1782,8	530,6
Київська	3179	13480	83	3230	52,4	29863,1	308,1	3015,9	571,1
Кіровоградська	0	6914	77	2553	40,1	10429,6	73,8	40091,2	18639,5
Луганська	0	13467	106	3345	69,3	51432,7	529,5	16706,2	4998,5
Львівська	0	19506	162	2891	85,4	22000,8	253,9	3350,4	170,4
Миколаївська	0	8494	70	3058	45,8	15814,9	87,1	2475,1	116,1
Одеська	0	18807	177	2932	63,4	18065,2	169	1337,2	46,9
Полтавська	0	9339	56	2926	60,4	46050,8	178,9	6300,2	4481,9
Рівненська	1331	11379	96	2811	53,7	10797,2	60,4	1281,4	168,3
Сумська	0	6849	37	2714	46,3	15969,5	80,1	1261,7	402
Тернопільська	0	7829	44	2312	47,9	5232,2	65	1001,2	203,7
Харківська	0	17510	121	2990	89,9	45742,0	319,4	2417,5	320,6
Херсонська	0	7976	69	2437	44,9	7899,8	73,6	485,6	74,6
Хмельницька	0	9646	54	2611	54	11871,7	79,7	1471,1	526,4

Продовження табл. 1									
Черкаська	0	7921	62	2645	57,3	20903,7	146,4	1895,4	957,8
Чернівецька	348	7481	53	2483	33,5	2889,4	41,1	550,5	117,7
Чернігівська	0	6544	51	2461	49	10235,2	93,6	740,6	103,1

Надалі здійснюється вибір еталонних значень (табл. 2).

Таблиця 2. Еталонні значення по кожному з параметрів

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	max	max	min	max	min	max	min	min	max
Значення	3179	26975	37	3787	33,5	152557,7	41,1	485,6	94763,3

Наступний крок – нормування даних, наведених в таблиці 1, відповідно до еталонних значень (табл. 3).

Таблиця 3. Нормовані значення параметрів

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	max	max	min	max	min	max	min	min	max
АР Крим	0.251	0.554	0,269	0.249	0,157	0.907	0,058	0,011	0.997
Вінницька	1	0.759	0,217	0.333	0,23	0.912	0,085	0,009	0.991
Волинська	0.346	0.842	0,084	0.338	0,045	0.971	0,006	0,001	0.999
Дніпропетровська	1	0.169	0,559	1	0,531	0	0,676	1	0
Донецька	1	0	1	0	1	0.002	1	0,193	0.861
Житомирська	1	0.831	0,15	0.362	0,166	0.942	0,027	0,001	0.999
Закарпатська	0.49	0.745	0,283	0.334	0,097	0.975	0,019	0	1
Запорізька	1	0.737	0,22	0.172	0,181	0.651	0,164	0,019	0.982
Івано-Франківська	0.589	0.782	0,178	0.317	0,08	0.92	0,124	0,004	0.994
Київська	0	0.661	0,161	0.161	0,132	0.82	0,16	0,009	0.994
Кіровоградська	1	0.982	0,14	0.358	0,046	0.95	0,02	0,136	0.803
Луганська	1	0.661	0,241	0.128	0,249	0.676	0,292	0,056	0.947
Львівська	1	0.366	0,437	0.26	0,361	0.872	0,127	0,01	0.998
Миколаївська	1	0.905	0,115	0.211	0,086	0.914	0,027	0,007	0.999
Одеська	1	0.4	0,49	0.248	0,208	0.899	0,076	0,003	1
Полтавська	1	0.863	0,066	0.25	0,187	0.712	0,082	0,02	0.953
Рівненська	0.581	0.763	0,206	0.283	0,141	0.947	0,012	0,003	0.998
Сумська	1	0.985	0	0.311	0,089	0.913	0,023	0,003	0.996
Тернопільська	1	0.937	0,024	0.428	0,1	0.984	0,014	0,002	0.998
Харківська	1	0.463	0,294	0.231	0,392	0.714	0,166	0,007	0.997
Херсонська	1	0.93	0,112	0.391	0,079	0.967	0,019	0	0.999
Хмельницька	1	0.848	0,059	0.341	0,143	0.94	0,023	0,003	0.995
Черкаська	1	0.933	0,087	0.331	0,166	0.88	0,063	0,005	0.99
Чернівецька	0.891	0.954	0,056	0.378	0	1	0	0	0.999
Чернігівська	1	1	0,049	0.384	0,108	0.951	0,31	0,001	0.999

Рівень екологічності стану області за даними параметрами (табл. 1) відповідно до значення відхилення від еталонів (табл. 3) встановлюють за компараторною оцінкою (табл. 4).

Таблиця 4. Результати компараторної ідентифікації

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	max	max	min	max	min	max	min	min	max	
АР Крим	0	0	0	0	1	0	1	1	0	3
Вінницька	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
Волинська	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4
Дніпропетровська	0	1	0	0	0	1	0	0	1	3
Донецька	0	1	0	1	0	1	0	1	0	4
Житомирська	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4
Закарпатська	0	0	0	0	1	0	1	1	0	3
Запорізька	0	0	0	1	1	0	1	1	0	4
Івано-Франківська	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4
Київська	1	0	1	1	1	0	1	1	0	6
Кіровоградська	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4
Луганська	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2
Львівська	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
Миколаївська	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4
Одеська	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
Полтавська	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4
Рівненська	0	0	0	0	1	0	1	1	0	3
Сумська	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4
Тернопільська	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0
Харківська	0	0	0	0	0	0	1	1	0	4
Херсонська	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4
Хмельницька	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4
Черкаська	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4
Чернівецька	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4
Чернігівська	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4

За даними оцінювання найбільша екологічна відповідність за параметрами встановлена для Київської області. Вона розміщується на перше місце рейтингу. Аналогічним чином здійснюються розрахунки для всіх інших регіонів за наданим алгоритмом (рис. 2). Загальний рейтинг областей за екологічністю стану має вигляд:

1 Київська; 2 Волинська; 3 Автономна Республіка Крим; 4 Івано-Франківська; 5 Закарпатська; 6 Рівненська; 7 Чернівецька; 8 Запорізька;

9 Полтавська; 10 Сумська; 11 Миколаївська; 12 Кіровоградська; 13 Житомирська; 14 Тернопільська; 15 Донецька; 16 Дніпропетровська; 17 Харківська; 18 Херсонська; 19 Луганська; 20 Львівська; 21 Чернігівська; 22 Хмельницька; 23 Черкаська; 24 Одеська; 25 Вінницька.

Отже, запропонована методика компараторної ідентифікації вже на першому кроці аналізу дозволяє встановити рівень стану з екологічних питань для аналізованих об'єктів з встановленням точок регулювання за оцінкою невідповідності аналізованих параметрів прийнятим еталонам. Для об'єктів наданого прикладу визначено задовільний їх екологічний рівень, оскільки за всіма показниками не отримано на виході компаратора 1, а тільки в межах відхилення 0,2 [3]. Отримані результати рейтингу відповідають оцінці стану екологічної безпеки областей України, які поділені на три класи небезпеки за значенням інтегрального показника ризику (на перші 8 місць рейтингу більше ніж на 50% припадає оцінка низького ризику, а з 9-ї позиції переважає оцінка високого і середнього екологічного ризику) [6].

Висновки та перспективи досліджень. Запропоновано методика з оцінки стану об'єктів навколишнього середовища, що ґрунтується на методі компараторної ідентифікації, визначається новизною підходу стосовно використання принципу системності з оцінки «стан–відповідність–фактори порушення рівноваги–рейтинг першочергових рішень».

У роботі відповідно до постановки задачі дослідження отримано такі результати:

1) визначено зміст методики оцінки екологічності складних систем за методом компараторної ідентифікації факторів небезпеки у вигляді відношення показників стану чи динаміки систем до встановлених норм, еталонів тощо (параметри компараторної оцінки (1), рис. 1));

2) розроблено алгоритмічне забезпечення з практичної реалізації методики оцінювання екологічності стану соціально-еколого-економічних систем (рис. 2);

3) встановлені адекватні до загально прийнятих оцінок результати визначення екологічного рейтингу областей України на основі методики компараторного оцінювання екологічності соціально-еколого-економічних об'єктів (табл. 4).

Обґрунтованість переваг компараторної ідентифікації в методиці

оцінки стану екологічності об'єктів визначається можливістю розвитку теоретично-практичних положень з врахування зв'язки між системами різної природи і визначення стану складових систем і об'єкта в цілому за всіма даними інформаційного простору моніторингу.

Список літератури: 1. *Згуровский М. З.* Глобальное моделирование процессов устойчивого развития в контексте качества и безопасности жизни людей / *М. З. Згуровский, А. Д. Гвишиани.* – К.: Політехніка, 2008. – 331 с. 2. *Петров К. Э.* Компараторная идентификация модели формирования индекса устойчивого развития / *К. Э. Петров* // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2009. – №1. – С. 36–46. 3. *Машина Н. І.* Економічний ризик і методи його вимірювання / *Н. І. Машина.* – К.: Центр навчальної літератури, 2003. – 188 с. 4. *Бондаренко М. Ф.* Про загальну теорію компараторної ідентифікації / *М. Ф. Бондаренко, С. Ю. Шабанов-Кушнарченко, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко* // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2008. – № 2 (69). – С. 13–22. 5. "Державна служба статистики України" <http://www.ukrstat.gov.ua/> 6. *Качинський А. Б.* Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення / *А. Б. Качинський.* – К.: Екологічна безпека, 2001. – 251 с.

Поступила до редколегії 11.01.14

УДК 519.713: 504.064

Оцінка екологічного стану регіонів України за методом компараторної ідентифікації / Т.В. Козуля, М.О. Білова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х.: НТУ «ХПІ» – 2014. – № 16 (1059). – С. 67 – 75 . Бібліогр.: 6 назв.

В статье представлено методическое обеспечение оценки состояния социально-эколого-экономических объектов на соответствие требованиям устойчивого развития и экологической безопасности, основанное на теории компараторной идентификации. Обсуждены результаты практической реализации предложенной методики при исследовании экологического состояния областей Украины, адекватность полученной оценки в соответствии с официальными данными.

Ключевые слова: социально-эколого-экономическая система, устойчивое развитие, компараторная идентификация.

Methodological support assessment of the state of the socio-ecological-economic objects to meet requirements of sustainable development and environmental security based on the comparing identification theory is given in the article. The results of practical implementation of the proposed method in addressing the ecological state of the regions of Ukraine and the adequacy of the estimate obtained in accordance with official data were discussed.

Keywords: socio-ecological-economic system, sustainable development, comparing identification.

Н.В. ШАРОНОВА, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»;
М.М. КОЗУЛЯ, магістр, НТУ «ХПІ»

МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ СИСТЕМ ТА КОМПЛЕКСНА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ДОВКІЛЛЯ

У статті розглянуто новий науково-практичний підхід до екологічної оцінки стану техногенно-навантажених територіальних комплексів, що становлять соціо-еколого-економічні системи, якість яких має визначатися відповідністю екологічним принципам сталого розвитку. Теоретично обґрунтовується впровадження методу компараторної ідентифікації природно-техногенних об'єктів та систем для екологічної оцінки якості довкілля.

Ключові слова: системний об'єкт, соціо-еколого-економічна система, екологічна оцінка якості, компараторна ідентифікація.

Вступ. У науковій літературі достатньо повно представлено теоретичні та методичні розробки щодо ідентифікації складних систем для прийняття ефективних управлінських рішень з метою гармонізації взаємодії системи «природа – суспільство». Усю різноманітність аналізованих систем відповідно до концепції сталого розвитку загалом прийнято надавати у вигляді триєдиного соціо-еколого-економічного комплексу. Він гармонійно відображує ієрархічну структуру навколишнього середовища (НС), яка складається з взаємопов'язаних природних, або фізико-біологічних, соціальних і технічних систем [1].

Управління якістю НС пов'язано з системою екологічної безпеки, що спрямована на зменшення навантаження на природні об'єкти і збереження їх властивостей до самоорганізації, самопідтримки (принцип обережного втручання) [2]. Такий підхід зважає на гармонізацію екологічних систем і процесів у них самих. Саме з таких позицій у роботі поставлені питання розробки методичних положень з визначення комплексної оцінки якості навколишнього середовища. Таким чином, актуальним і необхідним стає пошук нових теоретичних і практичних методів математичного розв'язання екологічних задач в сучасних умовах інноваційного розвитку науково-технічного прогресу і збільшення навантаження на НС.

© Н.В. Шаронова, М.М. Козуля. 2014

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка і впровадження нових математичних підходів з визначення оптимальної моделі складних природно-техногенних систем [3, 4, 5] і надання комплексної оцінки екологічності об'єктів НС для прийняття управлінського рішення. У ході теоретичного аналізу інформації щодо досягнення мети поставлені і розв'язані такі задачі:

1) визначення екологічності систем як міри відповідності їх стану і процесів природному гомеостазу для встановлення умов регулювання якості навколишнього природного середовища (НПС);

2) запровадження методу компараторної ідентифікації як функції відношення між характеристиками стану різнорідних систем об'єкта дослідження і визначення факторів екологічного регулювання.

Дослідження питання і наукові результати. Для встановлення об'єктивної комплексної оцінки екологічності систем (КЕС) запропоновано запровадити структурну і параметричну ідентифікацію рівноваги систем і необоротних процесів, визначених самоорганізацією об'єкта [5].

На основі характеристик стану систем і процесів (P – імовірність, S – міра упорядкування і параметр стану x) запропоновано перейти від результатів аналізу статистичних спостережень до характеристики процесів, які дозволяють утримати систему в стані рівноваги ($\Delta S \rightarrow 0$) чи зменшити негативні впливи між системами за рахунок трансформаційних перетворень ($S \rightarrow \max$), або фіксувати дестабілізацію в об'єкті ($\Delta S \rightarrow \max$).

Загальний підхід у визначенні екологічності чи рівня екологічної безпеки системного об'єкта дослідження передбачає таку послідовність розв'язку задачі екологічної якості:

$$S_0 \xrightarrow{S_w} < S_1 \xrightarrow{q(x,t)} S_1^1 \xrightarrow{A_w} < S_2 \xrightarrow{D_w \rightarrow H'_w} S_{\max} (\Delta S \rightarrow 0), \quad (1)$$

де S_w – стохастичний оператор при дії природних впливів, зовнішнього регулювання в межах природоохоронних заходів;

$q(x,t)$ – зв'язок між системами, речовинно-енергетичний потік;

A_w – оператор переходу стохастичних функцій у детерміновані, який визначає перехід системи у новий стаціонарний стан у результаті самоорганізації;

D_w – детермінований оператор, який відповідає за функцію виходу, що приводить об'єкт у рівноважний екологічний стан за умови стабілі-

зації зовнішнього і внутрішнього гомеостазу – оператор H_w схеми «вхід–вихід», який для системного утворення визначається досягненням максимального ентропійного стану S_{\max} і відсутністю дестабілізуючих явищ ($\Delta S \rightarrow 0$).

Застосування імовірнісних характеристик дозволяє надати комплексну оцінку якості стану і процесів усіх складових досліджених природно-техногенних систем, встановити процеси стабілізації і дестабілізації в аналізованих об'єктах НС, які впливають на обчислення ризику здоров'ю.

Для комплексної оцінки екологічності територіально-об'єктових систем компараторна ідентифікація більш об'єктивна і достовірна ніж експертне оцінювання в балах: вона надає кількісне значення у двох параметрах – 0 і 1, що дозволяє поєднати за параметром ΔS зміни у стані систем і об'єкта й імовірності P порушення зв'язків у середовищі [4, 7, 8]. Компараторна ідентифікація для територіально-об'єктових систем пов'язана з оцінкою оператора P_M (структурна ідентифікація) і значення A_M (параметрична ідентифікація), які, відповідно до умов:

$$P(x_s) > (\geq) P(x_1), x_s, x_i \in X, s = \overline{2, n}, s \neq 1, \\ P(x_2) < (\leq) P(x_1), P(x_3) < (\leq) P(x_1)$$

описують реальні фізичні, фізіологічні, біохімічні процеси за функцією S , порушення екологічності у системах через негативну дію [5].

При вивченні територіально-об'єктових екосистем поряд із варіантами поведінки $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ для $x_i \in X, i = \overline{1, n}$ розглядаються поодинокі кількісні вимірювання для окремих систем (наприклад, при дослідженні стану екосистеми ґрунт – вимірювання фізичних параметрів і хімічного складу як індикаторів їх екологічності і відповідності гомеостазу):

$$K(x_i) = \langle k_1(x_i), k_2(x_i), \dots, k_m(x_i) \rangle. \quad (2)$$

На основі аналізу окремих характеристик систем за певних умов стану об'єкта визначають імовірнісну оцінку реалізованої структури і її відповідність вимогам екологічної безпеки, наданих у вигляді $P: X \rightarrow V$, де P – оператор моделі оцінювання, а $V = P(X)$ – модель багатофакторних оцінок альтернатив рішення ($v_i = P(x_i), i = \overline{1, n}$).

Ідея такого підходу до оцінки екологічності систем і рівня безпеки передбачає застосування *вимірjuвальної процедури екологічного ризику*, яка у разі виконання відповідності реалізує предикат виду

$$D_1(v_q, v_n) = \begin{cases} 1 & \text{при } v_q = v_n \\ 0 & \text{при } v_q \neq v_n \end{cases}, \quad E_1(x_q, x_n) = D_1[P(x_q), P(x_n)] \quad \forall x_q, x_n \in X, \quad (3)$$

де v_q, v_n – оцінка корисності дослідженого і природного стану, як $v_q = P(x_q)$, $v_n = P(x_n)$ з урахуванням витрат на підтримку екологічності систем.

За даними моніторингу для системного об'єкта визначають функцію

$$Y(x_i) = F(K(x_i)),$$

де $Y(x_i)$ – скалярна багатофакторна оцінка станів чи змін у складових і об'єкті, $x_i \in X$; $K(x_i) = \{k_1(x_i), k_2(x_i), \dots, k_m(x_i)\}$, $i = \overline{1, n}$ – фактори оцінювання x_i , для яких вводиться коефіцієнт ізоморфізму з метою досягнення однорідності $K(x_i) - A = \langle a_1, a_2, \dots, a_r \rangle$.

Практична реалізація методики комплексної оцінки якості НС розглянуто на прикладі дослідження відповідності екологічному стану ландшафтно-геохімічних комплексів території Зміївського району, які знаходяться під впливом промислово-енергетичного комплексу, відповідно і забруднення НС важкими металами.

Сформована модель може бути корисною при визначенні стану соціо-еколого-економічних систем і всіх можливих суттєвих змін, які пов'язані з внутрішнім простором складного об'єкта дослідження і його взаємодією з навколишнім середовищем. Ця модель також має оптимізувати прийняття управлінського рішення для підтримки гомеостазу в природно-техногенних об'єктах. Обчислення показників аналізу та оцінки екологічності досліджених об'єкті відповідно до наданої в статті методики спираються на програмну реалізацію, розроблену в Microsoft Visual Studio 2005. Підсумкові дані виводяться у вигляді звіту (рис. 1).

Наукове і практичне значення отриманих результатів.

1. Визначено доцільність введення комплексної оцінки в екологічний моніторинг щодо прийняття управлінського рішення з метою

гармонізації зв'язків між природною і соціально-економічною системами.

2. Обґрунтовано введення екологічного компаратору з метою оптимізації прийняття управлінського рішення у системі екологічного моніторингу природно-техногенних об'єктів.

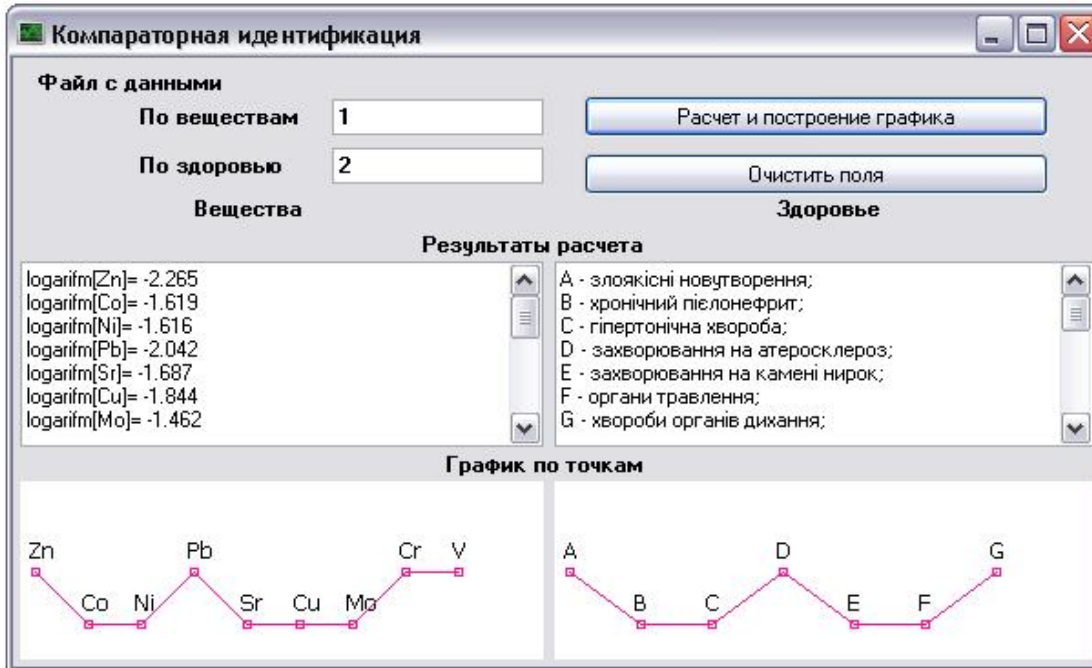


Рис. 1. Аналіз зв'язку між рівнем екологічності території і оцінкою стану здоров'я населення

Висновки та перспективи досліджень. У результаті теоретико-практичних досліджень розроблено математичне забезпечення комплексної оцінки екологічності системних об'єктів, що є інформаційною основою для прийняття ефективного управлінського рішення щодо гармонізації сталого розвитку [природна система]–[соціально – економічна · система] завдяки впровадженню наступних положень, визначених як результат даної роботи:

1) прийняття системного рівня моделей складних природно-техногенних комплексів з визначення їх відповідності екологічному стану;

2) визначення міри відповідності систем вимогам екологічності у вигляді характеристичної функції стану і процесів, що є основою прийняття рішення з регулювання якості навколишнього природного середовища;

3) запровадження методу компараторної ідентифікації для моделювання відношень між характеристиками стану різнорідних систем об'єкта дослідження і визначення факторів екологічного регулювання.

Список літератури: 1. Згуровский М.З. Глобальное моделирование процессов устойчивого развития в контексте качества и безопасности жизни людей / М.З. Згуровский, А.Д. Гвишиани. – К.: Політехніка, 2008. – 331 с. 2. Екологічне управління / В.Я. Шевчук, Ю.М. Саталкін, Г.О. Білявський та ін. – К.: Либідь, 2004. – 432 с. 3. Козуля Т.В. Моделирование структуры и идентификация состояния корпоративной экологической системы (КЭС) / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова // Проблемы інформаційних технологій. – 2007. – № 01 (001). – С. 178–187. 4. Sharonova N.V. Entropy as Substratum of identifying the Corporative Ecological system (CES) condition / N.V. Sharonova, T.V. Kozulia // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2008. – № 2 (31). – С. 518–527. 5. Козуля Т.В. Процеси екологічного регулювання. Концепція корпоративної екологічної системи: монографія / Т. В. Козуля. – Х. : НТУ «ХПИ», 2010. – 588 с. 6. Козуля Т.В. Система підтримки прийняття екологічного рішення в умовах концепції КЕС і новітніх технологій екологічного аналізу / Т.В. Козуля, Д.І. Ємельянова // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2010. – № 2 (38). – С. 285–293. 7. Бондаренко М.Ф. Про загальну теорію компараторної ідентифікації / М.Ф. Бондаренко, С.Ю. Шабанов-Кушнарченко, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко // Біоніка інтелекту: н-техн. журнал. – 2008. – № 2 (69). – С. 13–22. 8. Овез-гельдыев А.О. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации / Овезгельдыев А.О., Петров Э.Г., Петров К.Э. – К.: Наукова Думка, 2002. – 163 с.

Поступила до редколегії 11.01.14

УДК 519.713: 504.064

Моделювання природно-техногенних систем та комплексна екологічна оцінка якості довкілля / Н. В. Шаронова, М. М. Козуля // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х.: НТУ «ХПИ» – 2014. – № 16 (1059). – С. 76 – 81. Бібліогр.: 8 назв.

В статье рассмотрен новый научно-практический подход к экологической оценке состояния техногенно-нагруженных территориальных комплексов, представляющие собой социо-эколого-экономические системы, качество которых должно определяться соответствием экологическим принципам устойчивого развития. Теоретически обосновано внедрение метода компараторной идентификации природно-техногенных объектов и систем для экологической оценки качества окружающей среды.

Ключевые слова: системный объект, социо-эколого-экономическая система, экологическая оценка качества, компараторная идентификация.

New theoretical and practical approach in ecological assessment state of anthropogenic loaded territorial complexes, which represent socio-ecological-economic system, quality of which should be formed by ecological principles equivalence of sustainable development is given in the article. Regulations by introduction the comparator identification method of ecological compatibility naturally-anthropogenic objects, which defined as system foundation, were theoretically explained.

Key words: system object, socio-ecological-economic system, ecology assessment quality, comparator identification.

Л.М. УЛЬЄВ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХП»;

С.О. БОЛДИРЄВ, доцент, НТУ «ХП»;

А.О. ГАРЄВ, асистент, НТУ «ХП»;

А.М. МИРОНОВ, студент, НТУ «ХП»

ПОБУДОВА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ІНТЕГРОВАНОЇ СХЕМИ ХТС ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПЗ UNISIM DESIGN

Визначені основні параметри, необхідні для моделювання схеми. Розглянуто методику її побудови. Створена комп'ютерна модель інтегрованої схемипроцесу ректифікації частково розчинної азеотропної суміші з необхідним теплообмінним обладнанням.

Ключові слова: моделювання, комп'ютерна модель, UniSim Design, ректифікація.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Математичне моделювання наразі є ефективним інструментом дослідження хіміко-технологічних процесів. За усього різноманіття типів існуючих апаратів, їх математичні моделі повинні задовольняти законам збереження речовини та енергії. У свою чергу, рівняння енергетичного балансу має відповідати фундаментальним положенням термодинаміки.

Комп'ютерна система моделювання UniSim Design широко застосовується для дослідження хіміко-технологічних процесів та, зокрема, для дослідження переробки нафти та газу [1, 2]. База даних UniSim Design дозволяє обчислити фізичні властивості складних неідеальних сумішей. Бібліотека програм UniSim Design вміщує розрахункові моделі типових апаратів хімічної технології, що допомагають користувачу достатньо швидко описувати різні технологічні схеми. На практиці набір програм, що існує, не дозволяє відобразити усі варіанти технологічних схем, тому при вирішенні конкретних завдань досить часто виникає потреба у розробці нових програмних модулів, що враховують певні специфічні особливості технологічного процесу, який досліджується.

Формулювання цілей статті. Ціль роботи – моделювання в середовищі UniSim Design автоматизованої установки ректифікації частково розчинної азеотропної суміші.

Використання моделюючого програмного забезпечення для розрахунку установки ректифікації, що включає колону, теплообмінники та інше допоміжне устаткування, дозволяє прорахувати два або декілька варіантів з подальшим вибором найкращого як на стадії проектування, так і на стадії реконструкції. При пошуку найкращого або оптимального варіанту можна змінювати флегмове число, а також конструктивні характеристики колони відповідно до дискретних значень нормалізованих розмірів і меж стійкої і ефективної роботи.

Опис процесу та збір необхідних даних. Вихідна суміш поєднується з потоком відстійника, що складається з легких фракцій. Об'єднаний потік подається на рекуперативний теплообмінник РТ2. Після цього потік догрівається у рекуперативному теплообміннику РТ1 і далі йде на підігрівач Н. Після нагрівача він досягає заданої температури та прямує до колони.

Кубовий залишок з низу колони підігріває вихідну суміш в рекуперативному теплообміннику РТ1, потім – у РТ3 охолоджується до заданої температури.

Пара, після виходу з колони, подається у дефлегматор, де конденсується. Цей конденсат подається на розподілювач. Один потік повертається на верхню тарілку колони як флегма, а другий потік подається до рекуперативного теплообмінника РТ4, де нагріває частину потоку води на технологію. Далі конденсат подається до холодильника С, охолоджується до заданої температури і прямує у відстійник. Там відбувається розділення конденсату під дією гравітаційних сил на дві фази: легку – водну фазу і важку – фурфурол, який і є цільовим продуктом. А легка водна фаза змішується з вихідною сумішшю і повторює цикл.

Потік води на технологію за допомогою розподілювача розділяється на дві частини, одна з яких прямує до рекуперативного теплообмінника РТ4, а друга – до рекуперативного теплообмінника РТ3, де нагрівається за рахунок потоку кубового залишку. У змішувачі ці потоки об'єднуються, досягши цільової температури [3, 4].

Енерго-функціональна схема установки зображена на рис. 1.

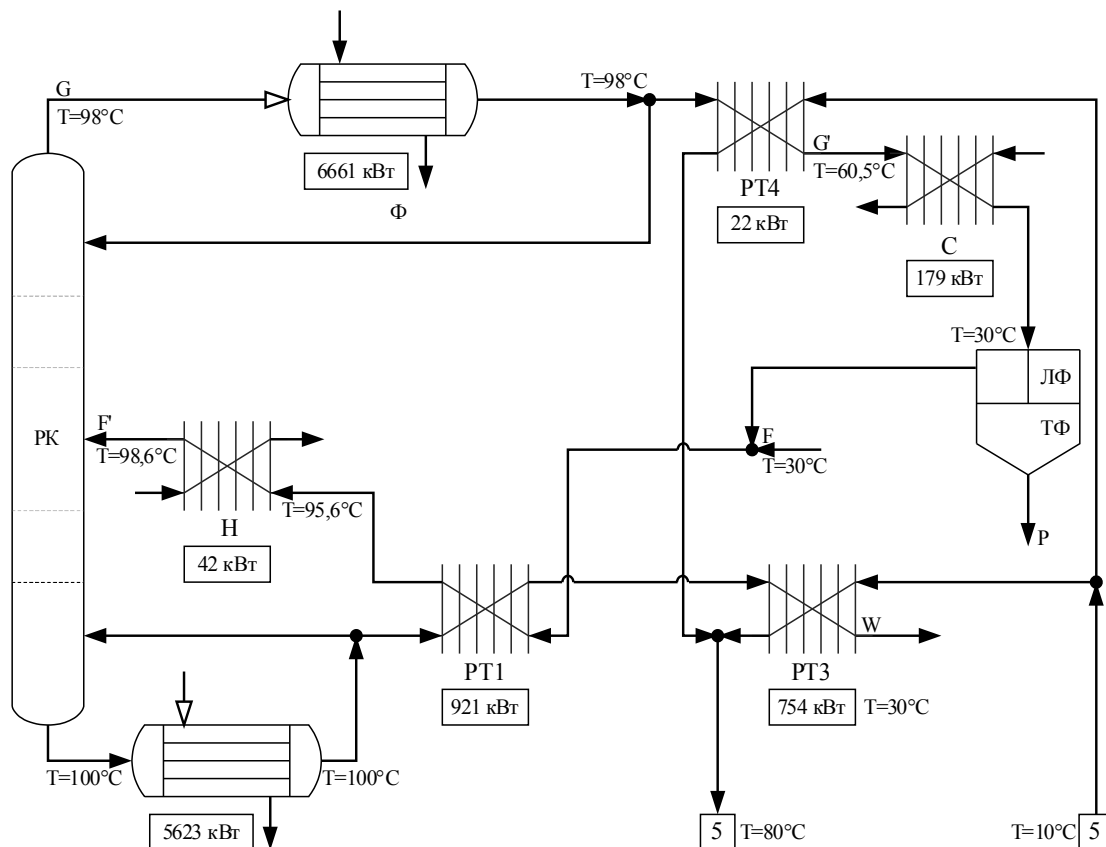


Рис. 1. Інтегрована енерго-функціональна схема установки ректифікації: РК – ректифікаційна колона, ЛФ-ТФ – відстійник; G – пари колони, Ф – флегма, G' – дистиллят, F – живлення процесу, F' – живлення колони; W – кубовий залишок.

За результатами аналізу схеми процесу ректифікації були розраховані матеріальний і тепловий баланс, визначені значення матеріальних і теплових потоків [5].

Реалізація моделі. Першим кроком створюємо новий Набір компонентів, додавши до списку воду (H_2O) та фурфурол ($C_5H_4O_2$), як зображено на рис.2.

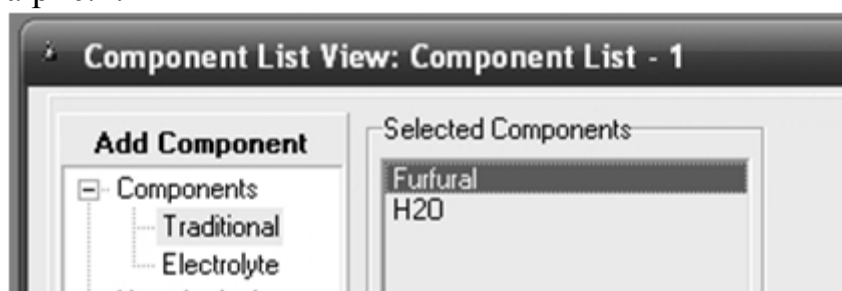


Рис. 2. Вибір компонентів

Тепер обираємо так званий Пакет властивостей (*Basis-1*), який буде містити перелік компонентів та методи розрахунку – в даному випадку,

рівняння стану. На відповідній закладці оберемо термодинамічний пакет Peng-Robinson (рис. 3).

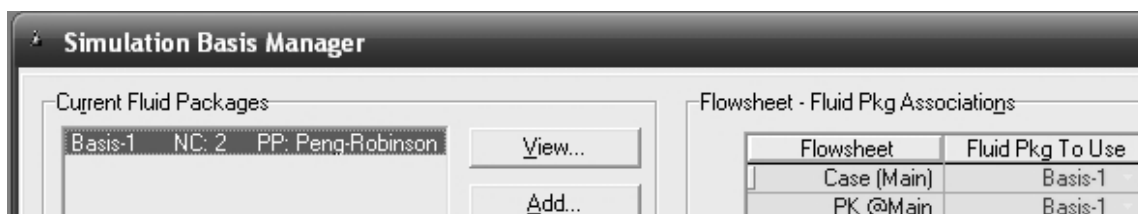


Рис. 3. Пакет властивостей (*Basis-1*) та термодинамічний пакет

Далі переходимо до Розрахункового середовища, де з Каси об'єктів обираємо усе необхідне устаткування: ректифікаційну колону, два змішувачі, два роздільника, три рекуперативних та два утилітних теплообмінника, а також потоки, що потребуються.

Тепер створимо усі необхідні матеріальні та енергетичні потоки та задамо їх основні параметри. Введемо ім'я, тиск, масову витрату та склад для визначення початкових матеріальних потоків (рис. 4).

Name	Дистиллят G'↑	Дистиллят G'↑	Дистиллят G'↑	Иск. смесь F'↑	Иск. смесь F'↑	Кубовый остат
Vapour Fraction	0.0000	0.0723	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature [C]	98.00	60.50	30.00	30.00	31.60	100.0
Pressure [kPa]	95.75	20.88	20.78	405.3	354.6	102.5
Molar Flow [kgmole/h]	154.2	154.2	154.2	655.9	655.9	501.6
Mass Flow [kg/h]	3194	3194	3194	1.273e+004	1.273e+004	9532
Liquid Volume Flow [m3/h]	3.131	3.131	3.131	12.60	12.60	9.469
Heat Flow [kW]	-1.182e+004	-1.183e+004	-1.208e+004	-5.162e+004	-5.160e+004	-3.876e+004
Name	Кубовый остат	Кубовый остат	Лёгкие фракш	H2O In	H2O Out	H2O Часть 1 Л
Vapour Fraction	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2767	0.0000
Temperature [C]	97.85	30.00	30.00	10.00	80.00	10.00
Pressure [kPa]	102.5	51.88	20.78	202.6	47.33	202.6
Molar Flow [kgmole/h]	501.6	501.6	0.0000	162.0	162.0	4.594
Mass Flow [kg/h]	9532	9532	0.0000	2919	2919	82.76
Liquid Volume Flow [m3/h]	9.469	9.469	0.0000	2.925	2.925	8.292e-002
Heat Flow [kW]	-3.878e+004	-3.954e+004	0.0000	-1.290e+004	-1.213e+004	-365.7
Name	H2O Часть 1 Л	H2O Часть 2 Л	H2O Часть 2 Л	Питание колон	Питание проце	Продукт Р
Vapour Fraction	0.0000	0.0000	0.2848	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature [C]	80.00	10.00	80.00	98.00	30.00	30.00
Pressure [kPa]	101.3	202.6	47.33	253.3	405.3	20.78
Molar Flow [kgmole/h]	4.594	157.4	157.4	655.9	655.9	154.2
Mass Flow [kg/h]	82.76	2836	2836	1.273e+004	1.273e+004	3194
Liquid Volume Flow [m3/h]	8.292e-002	2.842	2.842	12.60	12.60	3.131
Heat Flow [kW]	-358.7	-1.253e+004	-1.177e+004	-5.060e+004	-5.162e+004	-1.208e+004

Рис. 4. Матеріальні потоки

Склад деяких (початкових) потоків нам доведеться ввести самим. За умови коректного приєднання потоків до технологічного устаткування схеми, інші дані розрахує вже змодельоване обладнання (рис. 5).

Name	Дистиллят G'†	Дистиллят G'†	Дистиллят G'†	Исх. смесь F'†	Исх. смесь F'†	Кубовый остат
Comp Mole Frac (H2O)	0.9655	0.9655	0.9655	0.9822	0.9822	0.9874
Comp Mole Frac (Furfural)	0.0345	0.0345	0.0345	0.0178	0.0178	0.0126
Name	Кубовый остат	Кубовый остат	Лёгкие фракц	H2O In	H2O Out	H2O Часть 1 Ї
Comp Mole Frac (H2O)	0.9874	0.9874	0.9655	1.0000	1.0000	1.0000
Comp Mole Frac (Furfural)	0.0126	0.0126	0.0345	0.0000	0.0000	0.0000
Name	H2O Часть 1 Ї	H2O Часть 2 Ї	H2O Часть 2 Ї	Питание коло	Питание проц	Продукт P
Comp Mole Frac (H2O)	1.0000	1.0000	1.0000	0.9822	0.9822	0.9655
Comp Mole Frac (Furfural)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0178	0.0178	0.0345

Рис. 5. Склад потоків

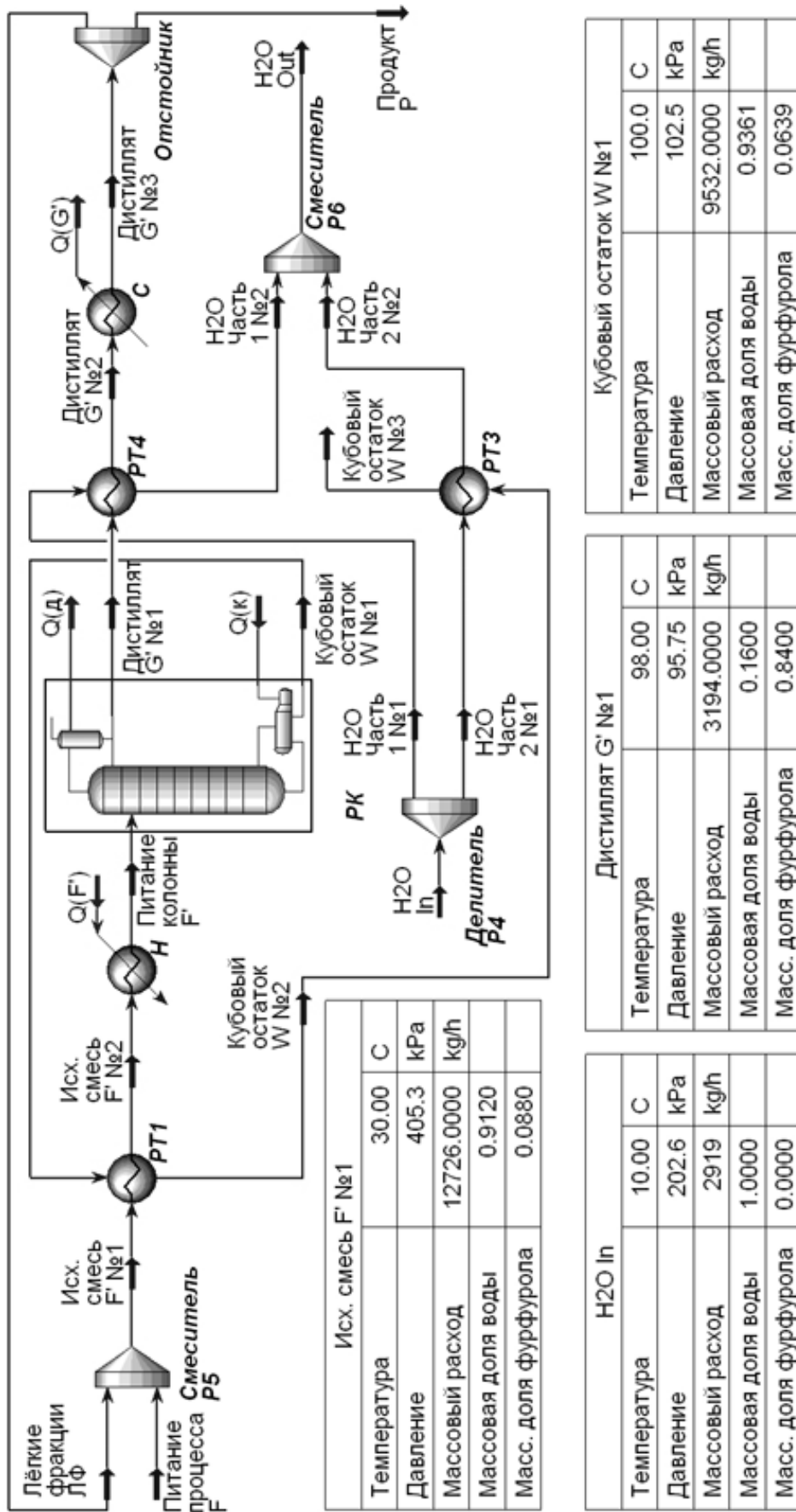
З усіх енергетичних потоків введемо значення лише для потоку кип'ятильника ректифікаційної колони; інші енергетичні потоки програма розрахує сама (рис. 6).

Name	Q(k)	Q(F')	Q(G')	Q(d)	*** New **
Heat Flow [kW]	5623	991.8	246.2	5602	

Рис 6. Енергетичні потоки

Після введення усіх необхідних даних до спеціалізованих вікон змішувачів, роздільників, теплообмінних апаратів та ректифікаційної колони з позначкою «Converged», а також потоків з позначкою «OK», схема буде автоматично розрахована програмою. Розрахунок колони відбувається завдяки активуванню певних специфікацій: наприклад, специфікації Витрати дистилляту (як наведено у цій схемі), специфікацій Витрати кубового залишку, флегмового числа, навантаження одного з теплообмінників колони тощо.

Перебуваючи у статичному режимі моделювання роботи установки, ми маємо можливість варіювати певні параметри устаткування з метою дослідження змін у різних характеристиках похідних продуктивних та енергетичних потоків. В динамічному режимі подібні дослідження можуть бути проведені після установки регуляторів, зокрема ПД-типу, для різних параметрів усіх потоків схеми.



Исх. смесь F' №1	
Температура	30.00 C
Давление	405.3 kPa
Массовый расход	12726.0000 kg/h
Массовая доля воды	0.9120
Масс. доля фурфуrolа	0.0880

H2O In	
Температура	10.00 C
Давление	202.6 kPa
Массовый расход	2919 kg/h
Массовая доля воды	1.0000
Масс. доля фурфуrolа	0.0000

Дистиллят G' №1	
Температура	98.00 C
Давление	95.75 kPa
Массовый расход	3194.0000 kg/h
Массовая доля воды	0.1600
Масс. доля фурфуrolа	0.8400

Кубовый остаток W №1	
Температура	100.0 C
Давление	102.5 kPa
Массовый расход	9532.0000 kg/h
Массовая доля воды	0.9361
Масс. доля фурфуrolа	0.0639

Рис. 7. Змодельована технологічна схема

Спостереження за процесом можна реалізувати декількома шляхами: за допомогою графіків, діаграмних стрічок, статистики або автоматичних звітів програми UniSim Design [5].

Повністю закінчена технологічна схема зображена на рис. 7. Також там наведені таблиці з основними характеристиками потоків.

Варіюючи певні конструктивні характеристики/параметри устаткування та (або) потоків можна організувати пошук оптимального варіанту роботи схеми з точки зору енергетики або виходу кінцевого продукту.

Висновки. Після аналізу існуючої схеми були відокремлені основні параметри, необхідні для її моделювання. Згідно викладеної методики побудови була створена комп'ютерна модель інтегрованої схеми процесу ректифікації частково розчинної азеотропної суміші з необхідним теплообмінним обладнанням.

Список літератури: 1. *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* // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2010, – № 3. – с. 64–73. 2. *Ульев Л.М.* Пинч-диагностика и моделирование процесса разделения широкой фракции легких углеводородов / *Л.М. Ульев, Е.В.Поливода* // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2010, – № 4. – с. 34–40. 3. *Ульев Л.М.* Пинч-анализ процесса ректификации смеси фурфурол-вода / *Л.М. Ульев, А.О. Гарев, А.М. Миронов* // Вестник НТУ «ХПИ». – 2013. – № 9. – с. 90–97. 4. *Дытнерский Ю.И.* Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию, 2-е изд. // *Ю.И. Дытнерский, Борисов Г.С.* – Москва: Химия, – 1973. – 496 с. 5. *Смит Р.* Основы интеграции тепловых процессов / *Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев* – Харьков: НТУ «ХПИ», – 2000. – 458 с. 6. Використане програмне забезпечення UniSim Design («Honeywell») <https://www.honeywellprocess.com/en-US/pages/default.aspx>

Надійшла до редколегії 27.01.2014

УДК 519.876.5

Побудова імітаційної моделі інтегрованої схеми ХТС із застосуванням ПЗ UniSim Design / Л.М. Ульєв, С.О. Болдирєв, А.О. Гарєв, А.М. Миронов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 16 (1059). – с. 82 – 88. – Бібліогр.: 6 назв.

Определены основные параметры, необходимые для моделирования схемы. Рассмотрена методика её построения. Создана компьютерная модель интегрированной схемы процесса ректификации частично растворимой азеотропной смеси с необходимым теплообменным оборудованием.

Ключевые слова: моделирование, компьютерная модель, UniSim Design, ректификация.

Main parameters required for modeling of the scheme are determined. The methods of its building are considered. The computer model of the integrated scheme of the rectification partly soluble azeotropic mixture process with all necessary heat-exchanging equipment is created.

Keywords: modeling, computer model, UniSim Design, rectification.

Д.І. ЄМЕЛЬЯНОВА, аспірантка, НТУ «ХПІ»

МЕТОДИЧНО-ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ СТАНУ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ ОБ'ЄКТІВ

У статті розглянуті завдання формування нових підходів у теоретичному аспекті методичного забезпечення комплексної оцінки екологічності системних природно-техногенних об'єктів. Сформовано схему алгоритмічного забезпечення комплексного аналізу для розв'язання задач екологічної безпеки на рівні природно-техногенних комплексів і територіально-об'єктових систем.

Ключові слова: ризик-аналіз, комплексна оцінка якості, MIPS-аналіз, екологічна безпека.

Вступ. Згідно з концепцією сталого розвитку пріоритетним є визначення безпечних екологічно-техногенних умов для збереження якості навколишнього природного середовища (НПС), формування механізмів раціонального використання природних ресурсів та визначення допустимих меж небезпечності для негативних факторів впливу на здоров'я населення [1].

Сутність комплексної системи еколого-економічної оцінки природно-техногенних об'єктів полягає у поєднанні та узгодженні економічного, екологічного і соціального аспектів сталого розвитку. Саме визначення методики комплексної оцінки екологічності системних утворень, що містять природну складову і потребують її збереження за станом і функціональними можливостями, є актуальним як у межах розв'язання задач сталого розвитку, так і проблемних питань концепції національної екологічної політики. Відповідно до такої постановки задачі дослідження у роботі запропоновано новий підхід встановлення методичного забезпечення з оцінки екологічної якості НПС на основі взаємоузгодження MIPS-аналізу, екологічного ризику, пов'язаного з станом соціально-економічних об'єктів, і ризику здоров'ю на рівні системних об'єктів природно територіальних комплексів [2, 3].

© Д.І. Ємельянова. 2014

Аналіз останніх досліджень та літератури. Основи загальної концепції комплексної оцінки екологічної безпеки природно-техногенних об'єктів викладені у роботах М. Ф. Реймерса, В. І. Данілова-Данільяна, К. Ф. Фролова, В. О. Бокова, А. О. Бикова, Р. М. Кларка, М. Н. Мойсеєва та інших вчених. В останній час поглиблюються та деталізуються знання екологічної безпеки з різних наукових напрямків: техніко-економічного (Б. М. Данилишин, О. М. Трофимчук, А. Г. Шапар, Г. В. Лисиченко, М. С. Мальований, В. Р. Лозанський, І. А. Шеренков, А. В. Гриценко, І. П. Крайнов, В. М. Шестопапов, А. Б. Горстко та інші), природничого (Г. О. Білявський, І. Пригожин, А. Б. Качинський, І. Г. Черваньов, В. І. Осипов, О. Л. Рагозін, С. К. Шойгу, Є. С. Дзекцер, Є. О. Яковлев, О. М. Адаменко, В. Я. Шевчук, А. В. Забегаєва та ін.).

Існують різні методики, системи визначення екологічної безпеки: синергетичний підхід, управління з використанням імовірнісного структурологічного моделювання, економічний підхід, комплексна ієрархічна регіональна система техніко-технологічного управління [4]. Наведені методи базуються на системі «стан₀ – стан₁», не враховують процеси, які відбуваються при переході до нового стану в урбанізованій екосистемі та вплив негативних техногенних факторів на здоров'я населення у разі перевищення гранично допустимих рівнів забруднення.

Отже, необхідним стає формування комплексної моделі дослідження, наданої у вигляді системного утворення – «стан₀ системи НПС – процес – стан₁ НПС»

Мета і постановка задачі дослідження. За результатами огляду наукової літератури з цього напрямку дослідження встановлено незадовільний масштаб за охоптом і об'єктивністю еколого-економічної оцінки аналізованих систем, яка повинна надавати інформацію про стан техногенно-навантажених територій і здоров'я населення за основними аспектами сталого розвитку – екологічним, економічним, соціальним.

Метою роботи є удосконалення теоретичних, методичних положень комплексного екологічного аналізу щодо стану техногенно-навантажених територій на основі загальних однорідних за масштабністю і розмірністю показників, які дозволяють узгоджувати оцінки відповідності в системі «техногенний об'єкт – НПС – людина».

Таким чином, у роботі досліджені такі задачі для досягнення мети:

–розробка теоретичних основ формування комплексної оцінки екологічності стану природно-техногенних комплексів;

–визначення методичного забезпечення комплексування показників екологічності виробництва на основі MIPS-аналізу, MI-індикаторів та оцінки екологічного ризику природно-техногенних комплексів (ПТК) [5].

Матеріали досліджень. Розробка методології комплексної оцінки екологічності пов'язана з удосконаленням інформаційно-методичних основ моніторингу навколишнього середовища (НС) на рівні територіально-об'єктного дослідження ПТК. В її основі покладено принцип гармонізації сталого розвитку соціально-економічної системи, екологічності стану НПС і безпечності його для здоров'я населення на базі еколого-соціально-економічної структури моделі з комплексного оцінювання екологічної відповідності з метою встановлення зовнішніх і внутрішніх факторів деструктивних процесів в окремій системі та ПТК загалом, визначення зв'язку в об'єкті дослідження і з НПС (рис. 1).

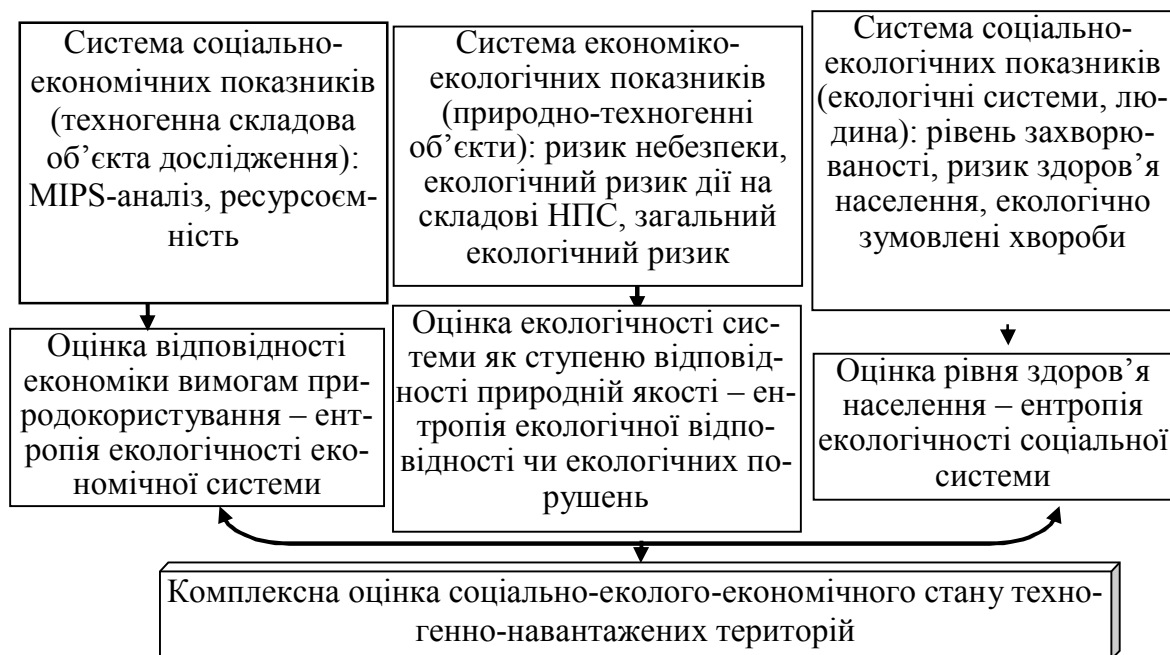


Рис. 1. Модель комплексної оцінки стану ПТК

Існуючі підходи з визначення порушень природно-техногенної безпеки засновані на порівняльних методиках або еталонних методах встановлення рівня забруднення окремих об'єктів НПС та інтегровальної індексної оцінки якості довкілля [1]. Суттєвим недоліком такого підходу є відсутність аналізу процесів, що відбуваються при трансформаційних

змінах техногенних факторів і відповідним чином впливають на природні елементи НПС. Саме такі процеси корегують стан і функціональні можливості ПТК, вплив НПС на стан здоров'я населення.

Аналіз системних об'єктів за умови різного рівня деталізації інформації про їх окремі складові потребує розробки комплексної системи соціально-економічних показників і встановлення універсальних функцій оцінки екологічності природно-техногенних об'єктів з метою виявлення причин деструктивних змін у НПС і розробки регулюючих дій з стабілізації екологічності за всіма аспектами сталого розвитку.

Комплексна еколого-соціально-економічна оцінка стану природно-техногенних об'єктів поєднує три підсистеми: соціально-економічну (техногенні системи) на основі показників MIPS-аналізу, еколого-економічну (техногенні і економічні системи) на основі визначення екологічних ризиків, соціально-екологічну (людина і екологічні системи) на основі оцінки ризику здоров'ю населення.

Еколого-економічна оцінка природно-техногенної безпеки – це оцінка техногенного навантаження для НПС і людини і базується на аналізі двох основних формуючих її складових – стану екологічної складової та техногенно-екологічного впливу (рис. 2).

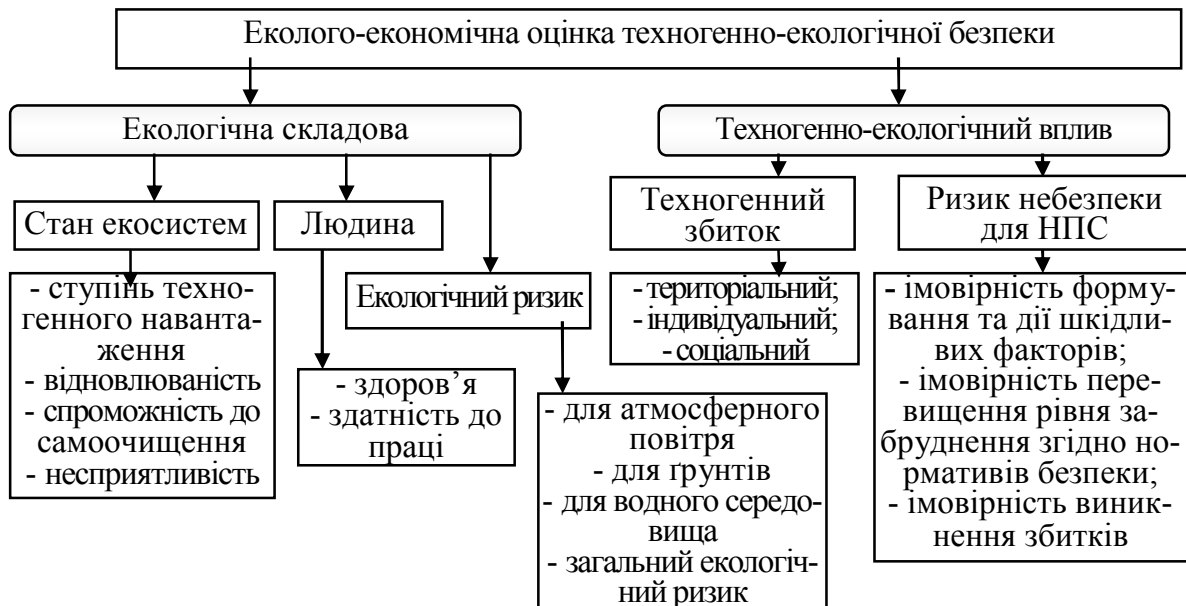


Рис 2. Еколого-економічна оцінка техногенно-екологічної безпеки

Визначення соціально-економічного навантаження на природно-техногенну систему проводиться для трьох її основних об'єктів: атмосферного повітря, водного середовища і ґрунтів (рис. 3, табл. 1).

Екологічність економічної складової об'єкта визначається на рівні комплексної оцінки діяльності виробництва у вигляді MIPS-показників на основі МІ-чисел та індексних показників оцінки техногенної безпеки техногенно навантажених територій.

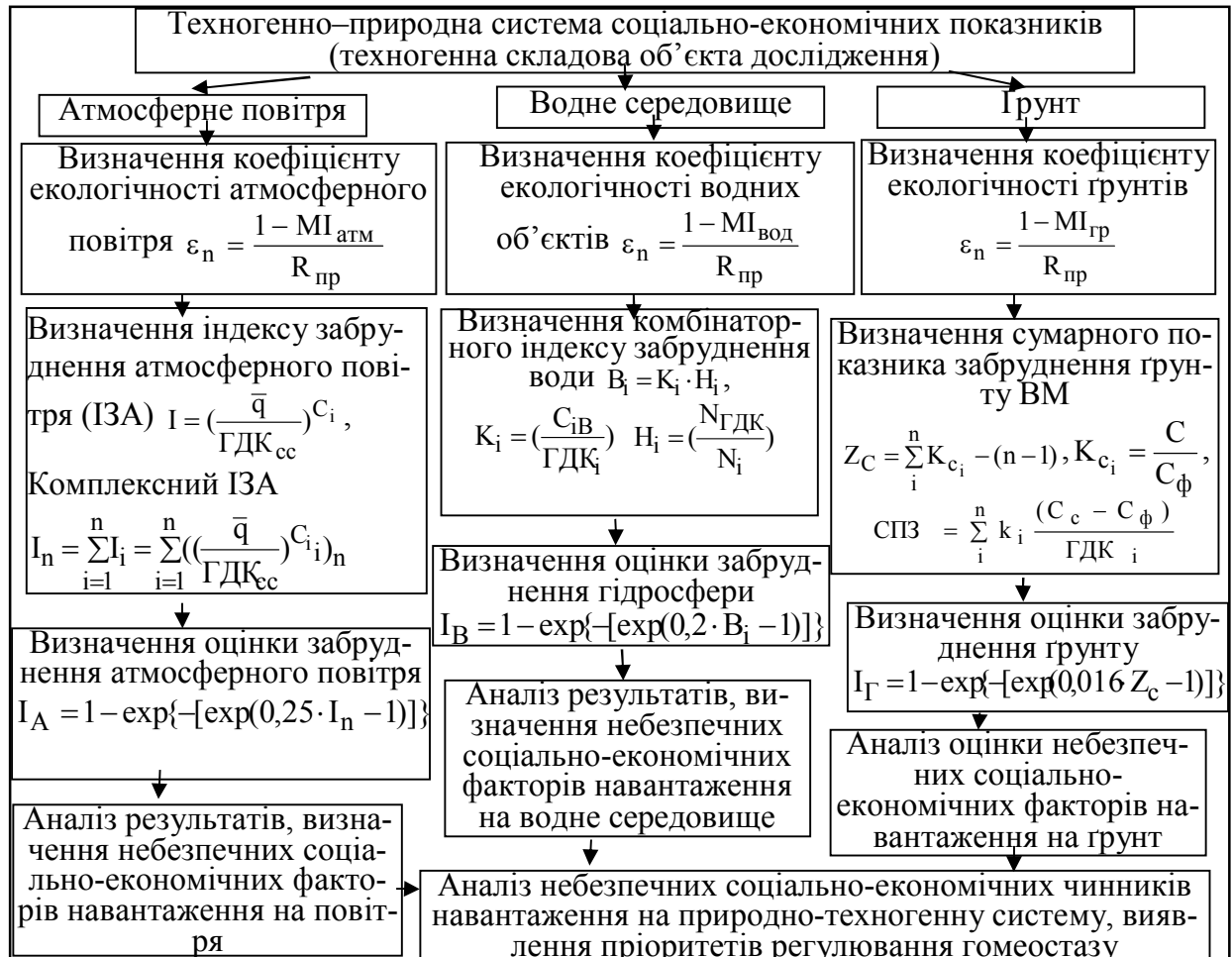


Рис. 3. Схема алгоритмічного забезпечення комплексного аналізу природно-техногенних об'єктів

Таблиця 1– Перелік позначень, використаних на рис. 3

$R_{пр}$	кількість витрачених природних ресурсів (ПР) (т)
$MI_{атм}, MI_{вод}, MI_{гр}$	індекси «екологічної вартості» ресурсів (т) для атмосферного повітря, водних об'єктів, ґрунту відповідно
\bar{q}	концентрація i -ї домішки
C_i	константа, яка приймає значення 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 відповідно для 1, 2, 3, 4-го класу небезпеки
$C_{iВ}$	концентрація у воді i -го інгредієнта
$N_{ГДК_i}$	число випадків перевищення ГДК по i -му інгредієнту

Основною метою еколого-економічної складової комплексної оцінки екологічності є максимізація біологічної продуктивності екосистем і мінімізація порушень гомеостазу [6]. Соціальна складова комплексної оцінки визначена розрахунковою величиною рівня здоров'я людини як імовірнісна характеристика ризику здоров'ю населення [7].

Еколого-економічна підсистема визначення комплексної оцінки ґрунтується на розрахунку економіко-екологічних ризиків (рис. 4). Система визначення ризиків водного середовища, повітря і ґрунтів встановлює порушення їх природного стану. Головною метою розрахунку еколого-економічних показників є визначення допустимих з точки зору екологічності НПС кількості викидів шкідливих речовин за умови відсутності їх впливу на живий організм і людину при врахуванні інтенсивності дії джерела негативного впливу.

Послідовне комплексування MIPS-аналізу та визначення ризик-параметрів надає загальну характеристику впливу на об'єкти НПС і дозволяє визначити ймовірність появи небезпечного фактора впливу на стан здоров'я населення. Відповідно до даних з екологічного ризику і впливу на здоров'я людини надається загальна оцінка екологічності [8].

Висновки та перспективи досліджень. Дослідження задачі комплексної оцінки якості НПС за концепцією сталого розвитку з метою формування системного методичного підходу щодо визначення рівня екологічної безпеки та підвищення екологічної ефективності регулювання гомеостазу природно-техногенних територій дозволило:

1) обґрунтувати необхідність формування комплексної моделі дослідження «стан₀ системи НПС – процес – стан₁ НПС на основі аналізу літературних даних щодо методичного оцінки екологічної безпеки природно-техногенних об'єктів НПС і здоров'я людини;

2) розробити методичні підходи до визначення оцінки якості і екологічної відповідності стану техногенно-навантажених територій за соціально-еколого-економічними аспектами сталого розвитку (рис. 1);

3) сформувати модель природно-техногенних комплексів з комплексного оцінювання із застосуванням в аналітичній системі оцінки екологічності MIPS-аналізу та MI-індикаторів з виходом на систему ідентифікації екологічних ризиків (рис. 3);

4) сформувати модель системи еколого-економічної комплексної оцінки техногенно-навантаженої території (рис. 4).

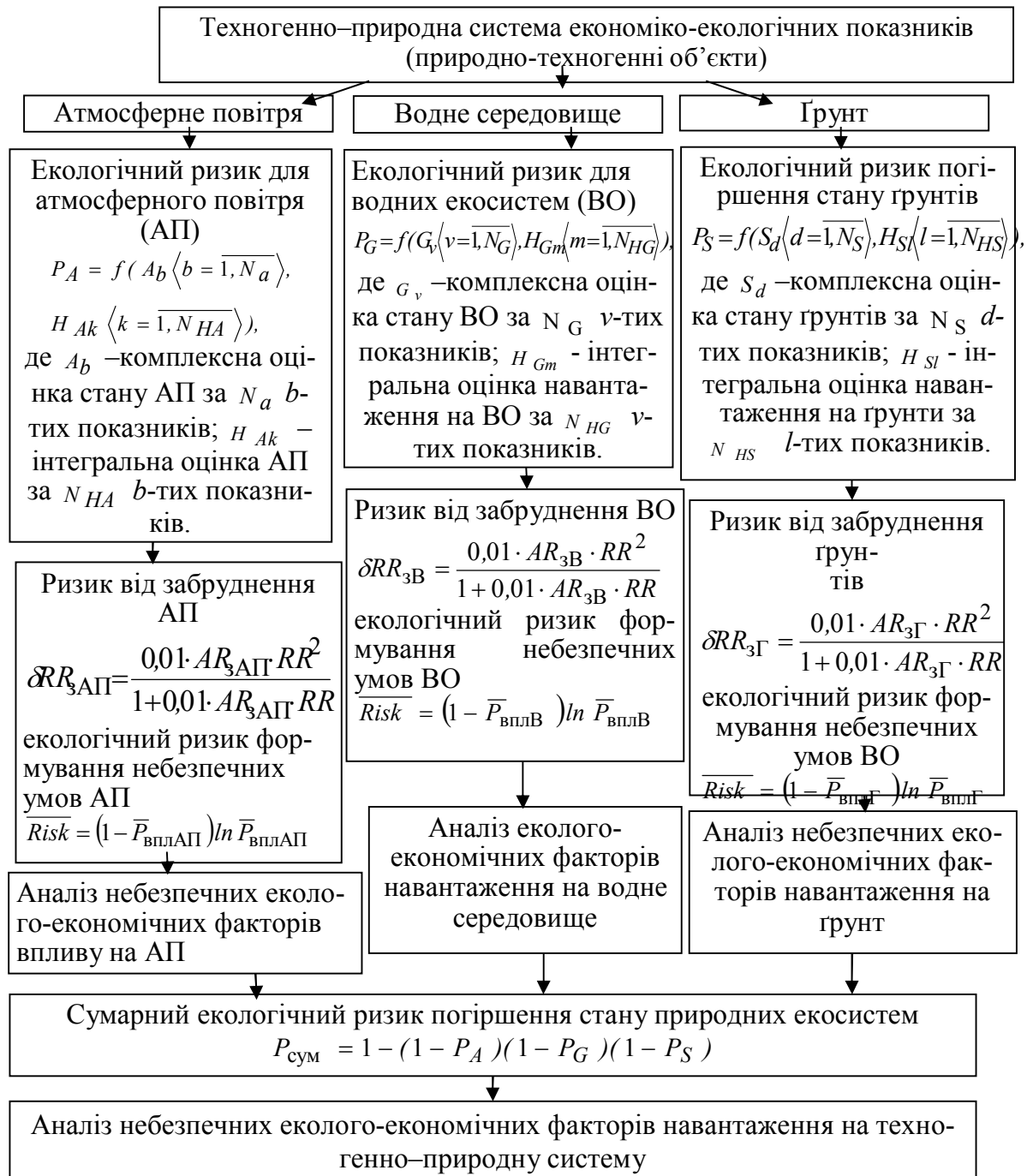


Рис. 4. Схема економіко-екологічна підсистеми комплексної оцінки техногенно-навантаженої території

Подальші дослідження мають бути націлені на практичну реалізацію методики комплексної еколого-економічної оцінки стану природно-техногенних об'єктів і підтвердження, таким чином, положень сформо-

ваної системної моделі природно-техногенних комплексів за соціально-еколого-економічними аспектами сталого розвитку

Список літератури: 1. *Згуровский М.З.* Глобальное моделирование процессов устойчивого развития в контексте качества и безопасности жизни людей / *М. З. Згуровский, А. Д. Гвишиани.* – К.: Політехніка, 2008. – 331 с. 2. *Козуля Т. В.* Процеси екологічного регулювання. Концепція корпоративної екологічної системи: монографія / *Т. В. Козуля.* – Харків : НТУ «ХПІ», 2010. – 588 с. 3. *Козуля Т. В.* Система підтримки прийняття екологічного рішення в умовах концепції КЕС і новітніх технологій екологічного аналізу / *Т. В. Козуля, Д. І. Ємельянова* // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2010. – № 2 (38). – С. 285–293. 4. *Бегун В.В.* Розробка методів управління техногенною безпекою міста на основі імовірнісних структурно-логічних моделей небезпек виробництв автореферат : дис... канд. техн. наук: 21.06.01 /; НАН України. Ін-т пробл. моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. – К., 2007. – 20 с. 5. *Сергиенко О.* Основы теории эко-эффективности: монография / *О. Сергиенко, Х. Рон.* – СПб.: СПбГУНиПТ, 2004. – 223 с. 6. *Риттхофф М.* Вычисления MIPS: ресурсная продуктивность продукции и услуг // Основы теории эко-эффективности / *Под науч. ред. О. Сергиенко, Х. Рона.* – СПб, 2004. – 246 с. 7. *Козуля Т. В.* Теоретико-практичні основи методології комплексної оцінки екологічності територіальних і об'єктових систем / *Т. В. Козуля, Н. В. Шаронова, Д. І. Ємельянова, М.М. Козуля* // Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №01(011).– С. 37-45. 8. *Сердюцкая Л. Ф.* Интегральные оценки экологического риска в системе принятия решений / *Л.Ф. Сердюцкая, И.П. Каменева, Ю.В. Зухин, А.В. Яцишин* // Моделювання та інформаційні технології. – 2005. – Вип. 34. – С. 26–34.

Надійшла до редколегії 20.01.14

УДК 519.713 : 504.064

Методично-інформаційне забезпечення комплексної еколого-економічної оцінки стану природно-техногенних об'єктів / Д. І. Ємельянова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х.: НТУ «ХПІ» – 2014. – № 16 (1059). – С. 89 – 96 . Бібліогр.: 8 назв.

В статье рассмотрены задачи формирования новых подходов в теоретическом аспекте методического обеспечения комплексной оценки экологичности системных природно-техногенных объектов. Сформирована схема алгоритмического обеспечения комплексного анализа для решения задач экологической безопасности на уровне природно-техногенных комплексов и территориально-объектовых систем.

Ключевые слова: риск-анализ, комплексная оценка качества, MIPS-анализ, экологическая безопасность.

The paper describes the task of forming a new theoretical aspect of methodology for integrated environmental assessment system of natural and man-made objects. The algorithmic scheme of complex analysis formed for solving problems of ecological safety at natural and man-made systems and territorial and objective systems.

Key words: risk-analysis, quality complex estimation, MIPS-analysis, ecological safety.

Л.М. УЛЬЕВ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;

М.А. КЕРЖАКОВА, студент, НТУ «ХПИ»

ПРОЕКТ ПИНЧ-РЕКОНСТРУКЦИИ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ СТАБИЛИЗАЦИИ НЕФТИ

В данной работе определяется энергосберегающий пинч-потенциал и целевые энергетические значения процесса стабилизации нефти на одноколонной установке. Синтезирована энерготехнологическая схема интегрированного процесса, срок окупаемости, при внедрении которой будет равен около полугода.

Ключевые слова: стабилизация нефти, сеточная диаграмма, пинч-анализ, срок окупаемости.

Введение. Нефтяная промышленность Украины характеризуется низкими показателями, хотя потенциальные возможности добычи и переработки нефти значительно больше. Она представлена нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отраслями, которые возникли в Прикарпатье еще в XIX в.

Нефтеперерабатывающая промышленность Украины представлена семью нефтеперерабатывающими заводами, перерабатывающая мощность которых составляет 80–90 млн. т. сырой нефти ежегодно. Первые из них – Львовско-Дрогобычский и Надворнянский – размещены в старейшей Прикарпатской провинции. Научно-технический прогресс, построение нефтепроводов и морские перевозки нефти изменили географию нефтеперерабатывающей отрасли. Были построены новые заводы в Лисичанске, Кременчуге, Одессе, Херсоне, Бердянске, которые сейчас являются основными центрами этой отрасли в Украине. Недостатком области являются устаревшие технологии и оборудование, что приводит к неполной переработки нефти (50% по сравнению с 90% в развитых странах). Нефтепереработка и нефтехимия являются энергоемкими производствами, и уровень энергозатрат в значительной степени влияет на стоимость готовой продукции [1]. Пинч-метод основан на термодинамическом анализе системы технологических потоков, а для экономической оптимизации использует немонотонную зависимость общей приведенной стоимости эксплуатации проекта и капитальных затрат от наимень-

© Л.М. Ульєв, М.А Кержакова. 2014

шего температурного напора на теплообменном оборудовании [2]. В основу метода положен алгоритм синтеза систем теплообмена, учитывающий дискретность ряда теплообменной аппаратуры. Алгоритм позволяет поэтапно строить схему теплообмена. Каждый этап включает выбор пары потоков, которые соединяются, выбор и расчет теплообменного аппарата для этих потоков. Для выбора очередной пары потоков применяют следующие правила:

- горячее из потоков, подлежащих охлаждению, соединяется с горячим из потоков, подлежащих нагреву;
- горячее из потоков, подлежащей нагреванию, соединяется с тем из потоков, подлежащих охлаждению, для которого отношение количества передаваемого тепла к поверхности теплообмена максимально.

Сущность метода содержится в поиске оптимальных путей передачи теплоты от технологических потоков, которые необходимо охладить (горячие потоки) к потокам, которые требуют нагрева (холодные потоки). Подобная интеграция потоков требует установки дополнительного теплообменной аппаратуры. Необходимо найти такой степени интеграции потоков, при котором затраты на установку теплообменной площади окупаются соответствующим уменьшением потребления энергоносителей извне, за счет рекуперации теплоты процесса [3–5]. Кроме того, для различных видов теплообменных аппаратов минимально необходимая температурная разница между потоками (ΔT_{\min}) разная, что также влияет на полноту рекуперации теплоты [6].

Применение пинч-метода позволяет добиться существенной финансовой экономии за счет минимизации использования внешних энергоносителей, как для подвода энергии, так и для отвода, путем максимизации мощности рекуперации тепловой энергии в рассматриваемой энерготехнологической системе [7].

Сеточная диаграмма до интеграции. Используя данные, полученные при обследовании установки, строим сеточную диаграмму процесса первичной переработки нефти, как показано на рис. 1.

По измеренным температурам технологических потоков и их потоковых теплоемкостей определяем нагрузку каждого технологического потока, если существует рекуперация, определяем ее мощность, а также мощности, потребляемые от утилит [8].

Горячие утилиты в процессе, который мы рассматриваем, составляют величину 39671,5 кВт, а холодные утилиты – 85744,5 кВт.

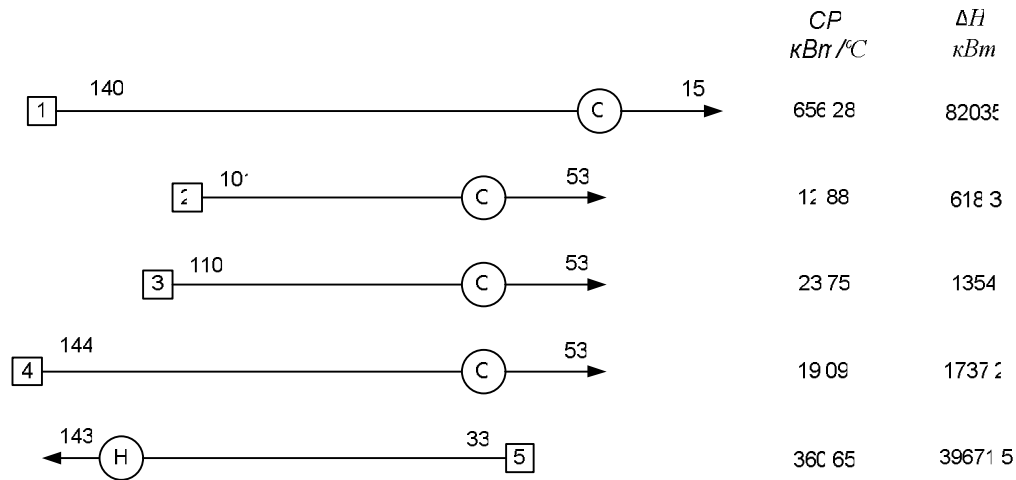


Рис 1. Сеточная диаграмма для существующего процесса: 1 – 4 – горячие потоки, 5 – холодный поток; CP – поточная теплоемкость; ΔH – тепловые нагрузки для каждого потока

Из рисунка 1 видно, что в системе отсутствует какая-либо рекуперация тепловой энергии между технологическими потоками. Отсюда можно сделать вывод, что для разработки теплообменной сети необходимо будет создать новую теплообменную сетку, используя основные принципы пинч-проектирования теплообменных систем.

Сеточная диаграмма после интеграции. На обычной технологической схеме при проектировании очень трудно провести разделение технологической схемы стабилизации нефти на подсистему, которая находится выше пинча, и подсистему ниже пинча. Наиболее удобно это сделать – представить технологические потоки технологической схемы с помощью сеточной диаграммы, на которой показываются только операции теплопередачи. На сеточной диаграмме пинч легко увидеть, расставив температуры пинча горячих и холодных потоков.

В данном случае технологическая схема стабилизации нефти имеет две подсистемы: слева и справа пинча. Слева от вертикальных линий находится подсистема потоков располагается выше пинча (рис. 2). Справа от вертикальных линий находится подсистема потоков располагается ниже пинча (рис. 3).

Выше пинча вся теплота горячих потоков может быть восстановленной холодными потоками. Это означает, что выше пинча все горячие потоки должны быть приведены к температуре пинча за счет теплообмена с холодными потоками.

Ниже пинча вся необходимая для охлаждения горячих потоков энергия не может быть получена от холодных потоков, поэтому мы должны установить холодную утилиту.

В области пинча действуют самые движущие силы теплопередачи, поэтому это самая сжатая область для возможных размещений рекуперативных теплообменников. Действительно, на всех теплообменных аппаратах в районе пинча минимальная разница температур должна быть не менее $\Delta T_{\min} = 6^\circ\text{C}$. Начинать проектирование теплообменной сети необходимо в точке пинча двигаясь от него в сторону [2, 9].

Подсистема выше пинча. Начиная выполнение размещения теплообменников в подсистеме технологической схемы, которая находится выше пинча, сначала обратим внимание на количество потоков. Для того чтобы выше пинча осуществить рекуперацию тепловой энергии горячих потоков холодными, необходимо, чтобы количество горячих потоков была меньше или равна числу холодных потоков. Пользуясь правилами размещения теплообменников – CP-правилами, располагаем наши рекуперативные теплообменники на сеточной диаграмме (рис. 2).

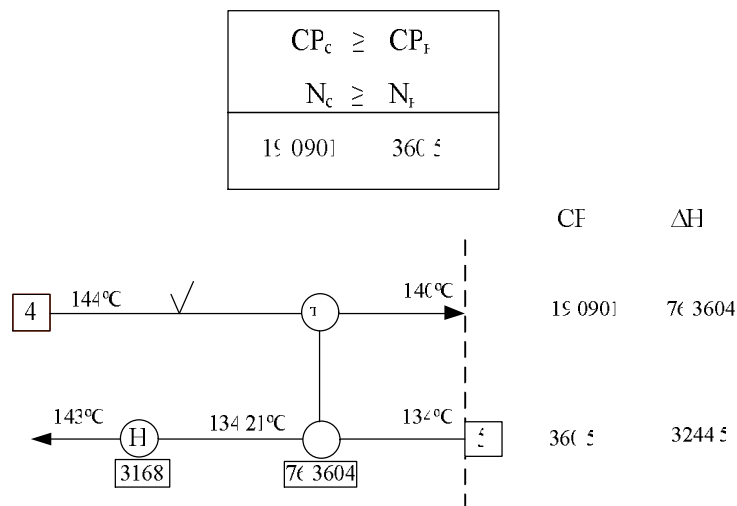


Рис. 2. Сеточная диаграмма для подсистемы выше пинча

Подсистема ниже пинча. Аналогично начинаем выполнять размещение теплообменников в подсистеме находящейся ниже пинча.

Обратим внимание на количество потоков. Количество горячих потоков, что находится ниже пинча более холодных, т.е. критерий числа потоков выполнены. Но один из двух горячих потоков не имеет достаточно большой поточной теплоемкости, чтобы удовлетворить СР правила на пинче. Для решения этой проблемы нам необходимо расщепить холодный поток. Но мы не должны забывать о $\Delta T_{\min} = 6^\circ\text{C}$. Для этого мы расщепляет наш холодный поток на две параллельные ветви, потоковая теплоемкость каждой из них будет меньше потоковой теплоемкости на параллельных ветвях холодного потока.

Пользуясь правилами размещения теплообменников располагаем наши рекуперативные теплообменники на сеточной диаграмме (рис. 3).

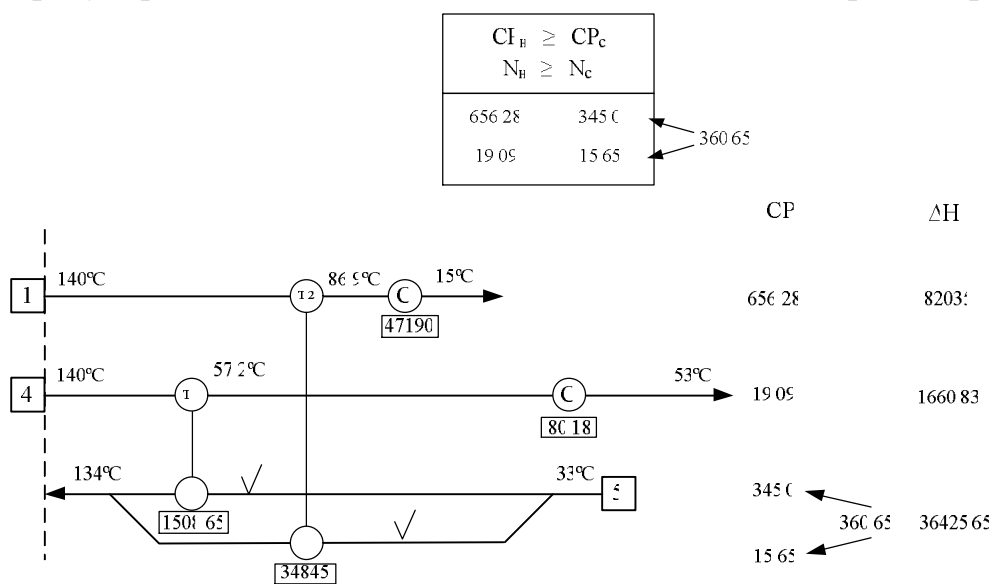


Рис. 3. Сетевая диаграмма для подсистемы ниже пинча

Сеточная диаграмма теплообменной системы процесса стабилизации нефти, которая существует представлена на рис. 4.

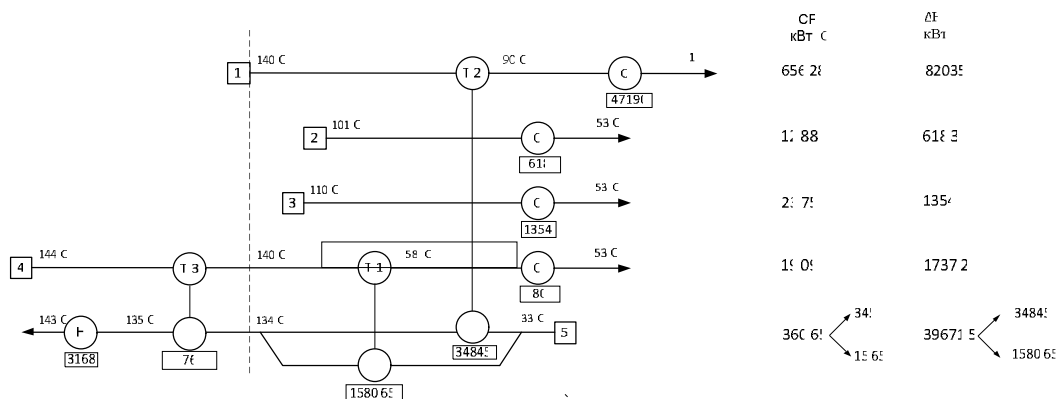


Рис. 4. Сеточная диаграмма для интегрированного процесса

Горячие утилиты уменьшаются до 3169,46 кВт, а холодные – до 49242,14 кВт. Мощность рекуперации увеличилась примерно до 36502,02 кВт. Краткие характеристики рекуперативных теплообменных аппаратов для системы теплообмена представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики теплообменных аппаратов

Теплообменный аппарат	Гор. поток, °C		Хол. поток, °C		K, кВт/(м ² ·°C)	ΔT _{ln} , °C	Q, кВт	S, м ²
	T _{вх}	T _{вих}	T _{вх}	T _{вих}				
Т-1	140	57,2	33	134	0,043	13,09	1580,65	2808,2
Т-2	140	86,9	33	134	0,06	21,87	34845	26554,64
Т-3	144	140	33	134	0,043	40,92	76,7604	43,4
Всего								29405,6

Благодаря применению пинч-методов и построению сеточной диаграммы, существующего и интегрированного процесса, можно создать проект реконструкции установки и переоборудовать схему стабилизации нефти, как показано на рис. 5. Для заданного значения ΔT_{min} методами пинч-проектирования синтезирована технологическая схема теплообменной системы. Создание рекуперативной системы установки по предлагаемой схеме позволит снизить мощность горячих утилит до ~3 МВт, и мощность холодных до ~ 49 МВт. Так же необходимо помнить, что основной показатель экономической эффективности разработанной пинч системы – срок окупаемости капитальных вложений, который показывает, за сколько лет разовые капитальные вложения окупятся, за счет ежегодного прироста чистой прибыли предприятия.

Расчёт срока окупаемости:

$$T_{ок} = \frac{K}{\Delta\Pi_{гч}}; \quad T_{ок} = \frac{27080000}{58160000} = 0,5 \text{ лет}$$

где $T_{ок}$ – срок окупаемости проекта; $\Delta\Pi_{гч}$ – годовая чистая прибыль предприятия; K – капитальные затраты предприятия.

Но срок окупаемости 0,5 лет для предприятия, будет только при цене на газ 2500 грн. за 1000 м³, если же цена увеличится или уменьшится, срок окупаемости, соответственно, тоже изменится.

Выводы. С помощью методов пинч-анализа и пинч-проектирования выполнен пинч-проект реконструкции теплообменной системы процесса стабилизации нефти. Выполненный проект может быть техническим заданием для создания рабочей документации проекта реконструкции установки стабилизации нефти, в результате внедрения которого можно уменьшить потребление горячих утилит в данном процессе на величину 93%, а холодных – на 53%. При цене газа 2500 грн. За 1000 м³ срок окупаемости проекта составит полгода. Так же была определена общая площадь поверхности теплообмена, в рассмотренном случае равна ~29406 м².

Список литературы: 1. Эрих В.Н. Химия и технология нефти и газа / В.Н. Эрих, М.Г. Расина, М.Г. Рудин. – Л.: Химия, 1985. – 378 с. 2. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев – Х.: ХГПУ, 2000. – 457с. 3. Суханов В.П. Каталитические процессы в нефтепереработке / В.П. Суханов. – М.: Химия, 1973. – 350 с. 4. Львова А.И. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа / А.И. Львова, А.Г. Сарданашвили. – М.: Химия, 1980. – 256 с. 5. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа / С.А. Ахметов. – Уфа: Гилем, 2002. – 671 с. 6. Клемеш Й. Применение метода пинч-анализа для проектирования энергосберегающих установок нефтепереработки / Й. Клемеш, Ю.Т. Костенко, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев, А.Ю. Перевертайленко, Б.Д. Зулин // Теорет. основы хим. технологии. – 1999. – Т. 33, № 4. – С. 420–431. 7. Капустенко П.А. Альтернативная энергетика и энергосбережение: современное состояние и перспективы / П.А. Капустенко, А.К. Кузин, Е.Л. Макаровский, Л.Л. Товажнянский, Л.М. Ульев, Е.Б. Черная – Х.: ООО Издательский дом «Вокруг цвета». – 2004. – 312 с. 8. Мешалкин В.П. Энергоэффективная реконструкция установки нефтепереработки на основе пинч-анализа с учетом внешних потерь / В.П. Мешалкин, Л.Л. Товажнянский, Л.М. Ульев, Л.А. Мельникова, С.М. Ходченко / Теорет. основы хим. технологии. 2012. – Т. 46, – №5. – С. 491–500. 9. 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. Vol. 7. 2005. – p. 103–108.

Поступила в редколлегию 20.03.14

УДК 658.28:665.63:338.44

Проект пинч-реконструкции действующей установки стабилизации нефти / Ульев Л.М., Кержакова М.А. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні дослідження в наукових роботах студентів. – Х.: НТУ «ХП». – 2014. – № 16 (1059). – С.97 – 104. Бібліогр.: 9 назв.

У даній роботі визначається енергозберігаючий пінч потенціал і цільові енергетичні значення процесу стабілізації нафти на одноколонній установці. Синтезована енерготехнологічна схема інтегрованого процесу, термін окупності, при впровадженні якої буде дорівнювати близько півроку.

Ключові слова: стабілізація нафти, сіткова діаграма, пінч-аналіз, термін окупності.

In the given work is defines potential energy-efficient and target energy values the process of stabilization of oil on single-line installation were defined. Process integration flow sheet was created. The payback period, for installation for this project is six months.

Keywords: stabilization of oil, grid diagram, pinch-analysis, the payback period.

Л.Л. РУДНЕВА, викладач, Державний Вищий Навчальний Заклад «УДХТУ», Дніпропетровськ;

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

РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

В статті досліджено способи розширення використання восків, які виділені з рослинної сировини шляхом її омилення з подальшою екстракцією за допомогою органічних розчинників. Склад одержаних восків аналізували за необхідними порівняльними характеристиками з метою покращення диспергування пігментів та розширення можливостей використання восків в лакофарбовій промисловості.

Ключові слова: насіння соняшнику, олія, віск, розчинник, хімічний аналіз, диспергування пігментів, лакофарбова промисловість

Вступ. У світовій практиці все більшого значення набуває розвиток способів комплексного виробництва рослинних олій і продуктів на їх основі із заданими споживчими можливостями для різних галузей промисловості [1–8]. При комплексній переробці рослинної сировини важливою є утилізація масложирових відходів – оболонки насіння. У результаті переробки оболонки насіння можливо отримати воски, які можуть бути сировиною у виробництві лаків та емалей.

Як відомо [4, 9, 10], лакофарбова промисловість використовує у виробництві лаків та емалей агенти для матирування, наприклад, воски, солі жирних кислот та інші компоненти, які полегшують змочування пігментів у виробництві емалей та попереджують осаджування пігментів з емалей при зберіганні.

Така комплексна переробка сприяє ресурсо- та енергозбереженню у галузі переробки рослинної сировини, а також має позитивний вплив на несприятливу екологічну ситуацію в Україні, а також є однією з умов дотримання екологічної безпеки технологічних процесів.

Мета досліджень, постановка проблеми. Для дослідження обрані речовини, які мають можливості для гарного диспергування пігментів

лакофарбових матеріалів (ЛФМ) – воскові речовини, як складова рослинних олій – складні суміші з переважаючим складом рослинних восків – ефірів високомолекулярних жирних кислот і одноатомних високомолекулярних спиртів, спиртів каротиноїдної природи.

З метою покращення диспергування пігментів проведені дослідження по вилученню з «зажиреного» перліту воскомасляної речовини, аналіз виділених восків за всіма показниками, а також дослідження можливості їх практичного застосування у багатотоннажних сферах виробництва.

Аналіз останніх досліджень та літератури. Однією з головних умов лакофарбової промисловості є забезпечення успішного диспергування компонентів, що зв'язано з кількісною і якісною відповідністю між функціональними групами плівкоутворюючих речовин та активними центрами поверхні пігментів й наповнювачів. На стадії диспергування у системі підвищують енергію, внаслідок чого утворюються дрібні частинки. Після цього система намагається повернутися до первинних низькоенергетичних умов (ефект флокуляції). Тому важливим етапом при виробництві лакофарбових матеріалів є рівномірний розподіл твердих пігментів у розчині рідкого зв'язуючого та їх послідовна стабілізація. Якщо ця стадія недостатньо оптимізована, то може виникнути цілий ряд дефектів: флокуляція, зменшення блиску, зміна кольору, спливання пігменту, розшарування тощо [9].

З метою покращення диспергування пігментів проводять органофілізацію їх поверхні шляхом модифікування різноманітними органічними речовинами. Зустрічається модифікування в процесі синтезу пігментів синтетичними жирними кислотами [10].

Виділені нами воскоподібні речовини містять у своєму складі складні ефіри жирних кислот та одноатомних високомолекулярних спиртів. Але в літературі є відомості щодо вмісту в рослинних восках двоатомних та багатоатомних спиртів. Поряд із складними ефірами у восках міститься вільні жирні кислоти, вільні спирти та вуглеводні. Тому доцільно було випробувати їх у якості диспергуючої добавки до пігментованих ЛФМ.

Метою даних досліджень було дослідити можливості використання отриманих воскоподібних речовин в складі пігментованих і непігментованих лакофарбових матеріалів на основі алкідних смол, та оцінити ефе-

ктивність їх використання в процесах диспергування неорганічних пігментів (TiO_2 та жовтого залізоокисного пігменту Ж-1).

Об'єктами дослідження були експериментальні зразки отримані нами за розробленими методиками технології виробництва – воскоподібна речовина темно-жовтого кольору, має олійний запах, мазеподібної консистенції, отримана екстракційним методом із «зажиреного» перліту та об'єкти для порівняння, які використовують у промислових цілях лакофарбової промисловості – бджолиний віск, жовтого кольору, без запаху, має тверду консистенцію за своїми характеристиками близький до воску соняшника, і парафін, білого кольору, без запаху, має тверду консистенцію [5–8].

Для аналізу складу і властивостей отриманих воскоподібних речовин використовувалися хімічні методи – кислотне число, число омилення, ефірне число та інші показники, а також метод ІЧ-спектроскопії.

Також було проведено порівняльний аналіз ІЧ-спектрів зажиреного перліту та зразків №1 і №2 (рис. 1).

Порівняння ІЧ-спектрів отриманих воскоподібних речовин на кожній стадії очищення дає змогу стверджувати, що максимально досягнуто вилучення з отриманого кінцевого продукту вільних жирних кислот та інших омилювальних речовин шляхом обробки спиртовим розчином лугу. Такі речовини, як відомо, використовують у різних галузях лакофарбової промисловості, це пов'язано, наприклад, з тим, що обов'язковою умовою отримання якісних пігментованих лакофарбових матеріалів є рівномірний розподіл частинок твердої фази у дисперсійному середовищі [10].

В рамках розширення використання вищезгаданих соняшникових восків нами було досліджені процеси диспергування неорганічних пігментів (TiO_2 та жовтого залізоокисного пігменту Ж-1).

Згідно даних літератури для дослідження в якості оптимальної були обрані склади які містили 4 % мас воскових речовин по відношенню до загальної маси пігментованого складу (вміст пігменту в лаку ПФ-060 складав 50%).

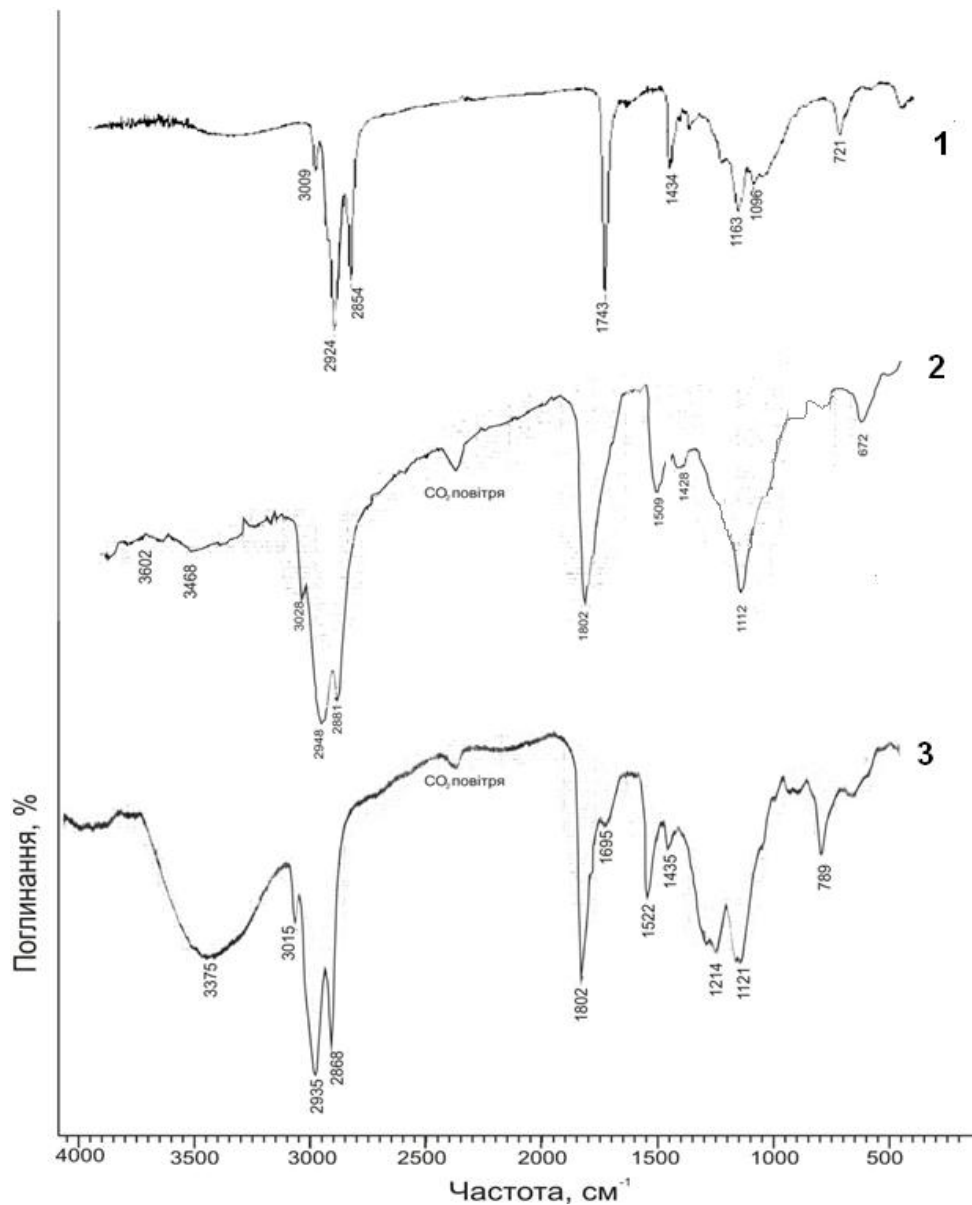


Рис 1. Порівняння ІЧ-спектрів на кожній стадії очищення воскоподібних речовин: 1 – зажирений перліт; 2 – воскоподібна речовина(зразок №1); 3 – воскоподібна речовина (зразок №2)

Ступінь дисперсності у виробничих умовах визначають за прибором «Клин» або grindometr. Зі збільшенням дисперсності пігментів покращуються їх покривність, інтенсивність та чистота кольору, підвищується довговічність покриттів, зменшуються затрати на офарблення, продуктивність диспергуючого обладнання. Головною умовою успішного диспергування є кількісна і якісна відповідність між функціональними

групами плівкоутворюючих речовин та активними центрами поверхні пігментів та наповнювачів.

На стадії диспергування у системі підвищують енергію, внаслідок чого утворюються дрібні частинки. Після цього система намагається повернутися до первинних низькоенергетичних умов (ефект флокуляції). Тому важливим етапом при виробництві лакофарбових матеріалів є рівномірний розподіл твердих пігментів у розчині рідкого зв'язуючого та їх послідовна стабілізація. Якщо ця стадія недостатньо оптимізована, то може виникнути цілий ряд дефектів: флокуляція, зменшення блиску, зміна кольору, спливання пігменту, розшарування тощо [9].

Перед диспергуванням пігменти обробляли розчинами воскоподібних речовин в мінімальній кількості уайт-спіриту (розчином 3 г воскоподібної речовини в 8 г уайт-спіриту обробляли 25 г пігменту), яка забезпечувала б повне змочування пігменту.

На рис. 2 та 3 показані залежності ступеня дисперсності (СД) TiO_2 від часу диспергування в бісерному млині.

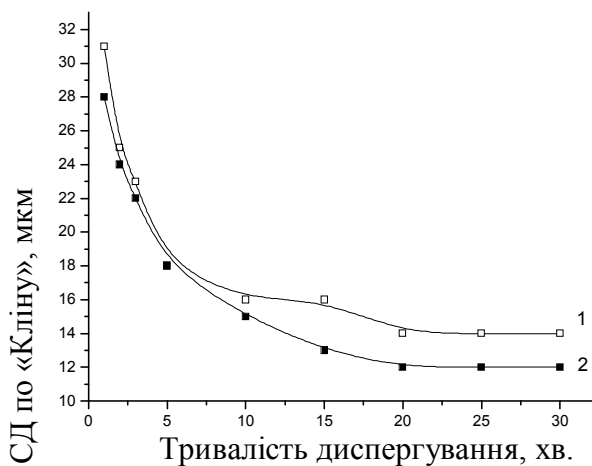


Рис. 2. Залежність СД від часу диспергування: 1 – без воску; 2 – з воском (4 %)

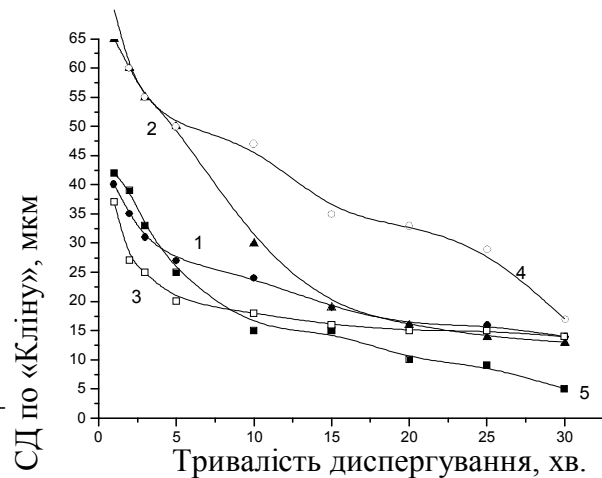


Рис. 3. Залежність СД від часу диспергування для зразків №№ 1–4 та 5 – заводський

Дослідження плівок покриття на основі отриманих суспензій показала, що додавання в такі системи воскоподібних речовин дозволяє отримати покриття з підвищеною твердістю та пониженим блиском (таблиця 1).

Таблиця 1. Властивості плівок покриття на основі 50% суспензії TiO_2 в алкідному лаку ПФ-060

Показник	TiO_2 без обробки воском	TiO_2 , оброблений воском
Твердість	0,06	0,168
Блиск, %	31	16

Таким чином, обробка оксиду титану воском покращує здатність цього пігменту до диспергування та дозволяє регулювати твердість та блиск покриттів на їх основі.

Аналогічні дослідження були проведені для вивчення здатності до диспергування жовтого залізоокисного пігменту Ж-1 (зразок №5, виробництва ВАТ «Сумхімпром», м. Суми), та його аналогів, модифікованих карбамідо-формальдегідними смолами, які синтезовані на кафедрі Технології неорганічних речовин ДВНЗ УДХТУ (Зразки №1–4). Аналіз отриманих залежностей (рис. 4) показав, що здатність пігментів до диспергування залежить від особливостей технології їх отримання і особливостей модифікування поверхні. На рис. 4 та 5 показаний вплив модифікації синтезованого і заводського пігментів воскоподібними речовинами на їх здатність до диспергування.

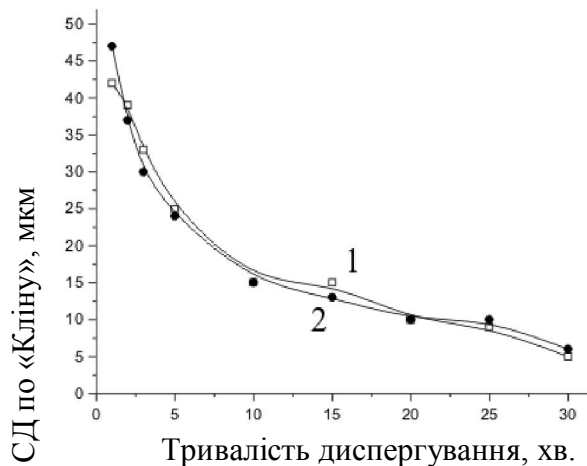


Рис. 4. Залежність СД від часу диспергування: 1 – без обробки воском; 2 – при обробці воском

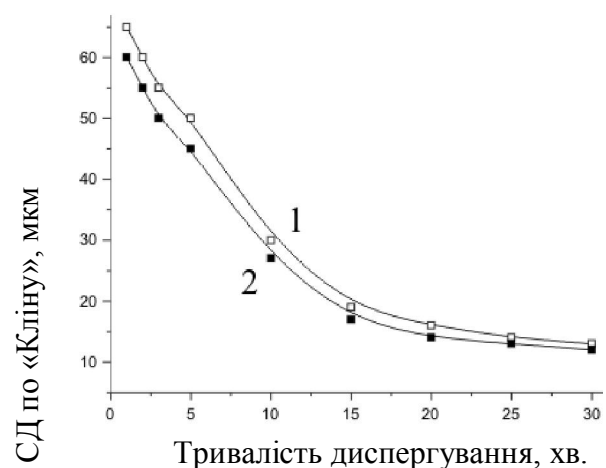


Рис. 5. Залежність СД від часу диспергування: 1 – без обробки воском; 2 – при обробці воском

Встановлена незначна ефективність проведення такої модифікації. Однак, вивчення властивостей плівок покриття на їх основі (табл. 2) показало, що введення в суспензії воскоподібних речовин дозволяє значно підвищити твердість покриття, та знизити їх блиск.

Таблиця 2. Властивості плівок покриття на основі 50% суспензій жовтих залізоокисних пігментів в лаку ПФ-060

Вид пігменту	Твердість	Блиск, %	Покривність, г/м ²
Зразок 1	0,34	4	257
Зразок 2	0,19	5	275
Зразок 3	0,09	4	248
Зразок 4	0,22	4	72
Зразок 5 (заводський)	0,10	28	36
Зразок 2 з воском*	0,30	4	226
Зразок 5 (заводський) з воском*	0,13	10	77

Примітка* – суспензії містили 4 % мас воскоподібних речовин по відношенню до загальної маси пігментованого складу.

Висновки. Виходячи з усього вищесказаного можна зробити наступні висновки:

- 1) Показана принципова можливість використання отриманих нами воскоподібних речовин у складі ЛФМ;
- 2) Показана ефективність використання цих речовин в якості добавок, які підвищують здатність неорганічних пігментів до диспергування;
- 3) Вважаємо доцільним продовжити роботу з оцінки впливу складу воскоподібних речовин на експлуатаційні характеристики плівок покриття на основі алкідних ЛФМ.

Список літератури: 1. Стопский, В. С. Химия жиров и продуктов переработки жирового сырья / В.С.Стопский, В.В. Ключкин, Н.В. Андреев. – М.:Колос, 1992. – 286 с. 2. О’Брайен, Р. Жиры и масла. Производство, состав, свойства, применение. / Р. О’Брайен. – Спб.:Профессия, 2007. – 169 с. 3. Benitez-Sanchez, P. L. A comprehensive study of hazelnut oil composition with comparisons to other vegetable oil, particularly olive oil / P. L. Benitez-Sanchez [et al.] - Eur. Food Res. Technol. 2003. v.218, № 1. 4. Суржаненко, А. Е. Малярные и штукатурные работы / А.Е. Суржаненко, А. М. Шепелев. – М.: Высшая школа, 1968 – 280 с. 5. К вопросу изучения сос-

тава и свойств растительных восков // Букланова Л.Л., Демидов И.Н., Лакиза О.В., Черваков О.В., Шаповалов Р.Н – Хімія і сучасні технології. IV Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених. Тези доповідей (22-24 квітня 2009 року). – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2009. – С. 192. **6.** Пошук раціональних способів виділення воскоподібних речовин із відходів переробки олійної сировини // Л.Л. Букланова, О.В. Лакіза, О.В. Черваков, А.Ю. Кравченко, Д.О. Трофімук. – Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (27–28 вересня 2010 р.). Тези доповідей. Ч. 2. – Київ: НУХТ, 2010. – С. 44. **7.** Изучение способов выделения и применения воскоподобных веществ, полученных из отходов масложировой промышленности / Л.Л. Руднева, О.В. Лакиза, Ю.А. Чурсинов, И.Н. Демидов // Масложировой комплекс, 2011. – №2. – С.42–45. **8.** Застосування відходів переробки насіння соняшнику // О.В. Лакіза, Л.Л. Руднева, Ю.О. Чурсинов, І.М. Демідов // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – Дніпропетровськ: Свидлер, 2011. №2. – С. 14–16. **8.** І.М. Демідов, Л.Л. Руднева, О.В. Лакіза Удосконалення технології переробки відходів оліє добувної галузі // Прогресивна техніка та технології харчових виробництва, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг. Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, 18 жовтня 2012 р.: присвяченої 45-річчю ХДУХТ // Харк. Держ. Ун-т харчування та торгівлі. – Харків: ХДУХТ, 2012. Ч. 1. – 478 с. **9.** Судовцова, Л. Диспергирующие добавки от ВУК-СНЕМІЕ / Л. Судовцова // Украинский лакокрасочный журнал. – 2007. – № 7–8. – с. 28–32. **10.** Индейкин, Е.А. Пигментирование лакокрасочных материалов / Е.А. Индейкин, Л.Н. Лейбзон, И.А. Толмачев. – Л.: Химия, 1986. – 160 с.

Надійшла до редколегії 05.03.14

УДК 665.347.8

Деякі можливості комплексної переробки рослинної сировини / Л.Л. Руднева, С.І. Бухкало // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х.: НТУ «ХП». 2014. – № 16 (1059). – С. 105 – 112. Бібліогр.: 12 назв.

В статье исследованы способы расширения использования восков, выделенных из растительного сырья путем их омыления с последующей экстракцией при помощи органических растворителей. Состав полученных восков анализировали в соответствии с необходимыми сравнительными характеристиками с целью улучшения диспергирования пигментов и расширения возможностей использования восков в лакокрасочной промышленности.

Ключевые слова: семена подсолнечника, масло, воск, растворитель, химический анализ, диспергирование пигментов, лакокрасочная промышленность.

The article investigates the possibility of use of integrated waxes isolated from plant material by means of saponification, followed by extraction with organic solvents. The composition of the waxes were analyzed in accordance with the necessary comparative characteristics of raw materials and products in order to further use in the paint industry.

Keywords: sunflower seeds, oil, wax, solvent, chemical analysis, dispersing pigments, the paint industry.

О.В. БІЛОУС, аспірант, НТУ «ХПІ»;

І.М. ДЕМИДОВ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»

ВПЛИВ РОСЛИННИХ ЕКСТРАКТІВ НА СТАБІЛІЗАЦІЮ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ ДО ПРОЦЕСІВ ОКИСНЕННЯ

У статті розглядається вплив рослинних антиоксидантів на стабілізацію олій до процесів окиснення. Підібрана рослинна сировина та виявлені раціональні умови проведення процесу екстракції. Досліджено властивості отриманих екстрактів та проаналізовано їх антиоксидантну силу.

Ключові слова: екстракція, соняшникова олія, рослинні екстракти, процеси окиснення.

Вступ. Актуальність дослідження процесу окиснення жирів полягає у меті вдосконалення якості жировмісних продуктів та збереження якості цих продуктів при зберіганні.

При контакті жирів, олій та жировмісних продуктів із киснем має місце процес окиснення. Внаслідок цього процесу змінюються органолептичні показники та хімічний склад продукту. При окисненні у жирових продуктах накопичуються пероксидні сполуки та вторинні продукти окиснення. Пероксидні сполуки та вторинні продукти окиснення є джерелом виникнення вільних радикалів, котрі потрапляючи до організму людини із продуктами харчування та косметичними продуктами, можуть провокувати руйнування клітин. З метою захищення продуктів від накопичення шкідливих компонентів додають речовини, що здатні сповільнювати процеси окиснення – антиоксиданти.

Аналіз останніх досліджень та літератури. Переважна більшість підприємств використовують синтетичні антиоксиданти, тому що вони дешевші, ніж антиоксиданти рослинного походження. Але використання синтетичних антиоксидантів може нанести шкоду організму. Беручи до уваги той факт, що жири та олії це ті продукти, які людина вживає щодня, необхідність приділяти значну увагу розробленню рослинних антиоксидантів є очевидною.

© О.В. Білоус, І.М. Демидов. 2014

Рослинних антиоксидантів зараз відомо багато[1, 2], але переважна кількість з них – занадто коштовні. Тому доцільна розробка таких рослинних антиоксидантів, що будуть економічно-вигідними для українських підприємств.

Мета досліджень, постановка проблеми. Виходячи з вищесказаного, мета дослідження – підібрати рослину, що містить антиоксиданти та дослідити оптимальні умови вилучення антиоксидантних речовин із обраної рослинної сировини.

Матеріали досліджень. Листя горіху волоського у своєму складі містять хінони, флавоноїди, дубильні речовини, вітамін В, аскорбінову кислоту. Ці речовини здатні виявляти антиокислювальні властивості. Вилучення вищезгаданих речовин із листя горіху волоського було досягнуто завдяки процесу екстракції. Метою роботи ставилось підібрати оптимальні умови процесу екстракції антиоксидантних речовин із листя горіху волоського. Дослідження та обчислення оптимальних умов проводилось за планом повного факторного експерименту.

Сировина, що використовувалась для процесу екстракції – листя горіху волоського. Попередньо листя були висушені та подрібнені. Температура процесу екстракції – 68°C. Частота обертів мішалки – 60 обертів за хвилину. Величини двох вищенаведених параметрів були обрані на основі попередніх досліджень. У якості розчинників були використані: дистильована вода, водний розчин етанолу, водно-гліцерольний розчин.

Факторами, що варіювалися були – концентрація спирту у розчині (від 0 до 70 %), концентрація гліцерину у розчині (від 0 до 15 %), час процесу екстракції (від 20 до 90 хвилин). Параметр відгуку – швидкість окиснення.

Для перевірки швидкості окиснення застосовували волюметричну установку. Ця установка дозволяє дослідити кінетику поглинання кисню [3].

Результати досліджень. Антиоксидантна активність визначалась шляхом оцінки кутів нахилу прямих, які визначають залежність кількості поглиненого кисню від часу окиснення при окисненні досліджуваної суміші. У якості досліджуваної суміші використовували: рафіновану соняшникову олію, екстракти, що були отримані за складеним планом повного факторного експерименту, азоізобутиронітрил (у якості ініціатору ві-

льних радикалів), ксилол. Оцінка кутів нахилу прямих, які визначають залежність кількості поглиненого кисню від часу окиснення проводилась за графіками, що були побудовані по даним, отриманим за допомогою волюметричної установки. Тангенс кута нахилу прямої і є швидкість окиснення.

Матриця планування експерименту наведена у таблиці 1, в якій:

x1 – концентрація спирту у водно-спиртовому розчині (від 0 до 70), %;

x2 – концентрація гліцерину у гліцеринно-водному розчині (від 0 до 15), %;

x3 – час реакції екстракції (від 20 до 90), хв;

Y – швидкість окиснення.

Таблиця 1. Матриця планування експерименту

№ досліду	x1, %	x2, %	x3, хв	Y, $2,1 \cdot 10^{-7}$
1	0	0	20	0,545
2	0	0	90	0,561
3	0	15	20	0,4
4	0	15	90	0,675
5	70	0	20	0,388
6	70	0	90	0,678
7	70	15	20	0,535
8	70	15	90	0,638

Графіки залежності кількості поглиненого кисню [O₂] від часу реакції, згідно з яких обчислювалась швидкість окиснення, наведені на рис. 1. Визначена швидкість окислення наведена у таблиці.

Обробка отриманих результатів за складеним планом повного факторного експерименту проводилась у середовищі пакету Mathcad, згідно з методикою [4].

Рівняння регресії має наступний вигляд:

$$Y = - 5,97 \cdot 10^{-13} \cdot x_1 + - 2,48 \cdot 10^{-12} \cdot x_2 + 4,56 \cdot 10^{-13} \cdot x_3 + 7,41 \cdot 10^{-14} \cdot x_1 \cdot x_2 + 9,99 \cdot 10^{-15} \cdot x_1 \cdot x_3 + 4,31 \cdot 10^{-14} \cdot x_2 \cdot x_3 + - 1,03 \cdot 10^{-15} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + 2,79 \cdot 10^{-10}$$

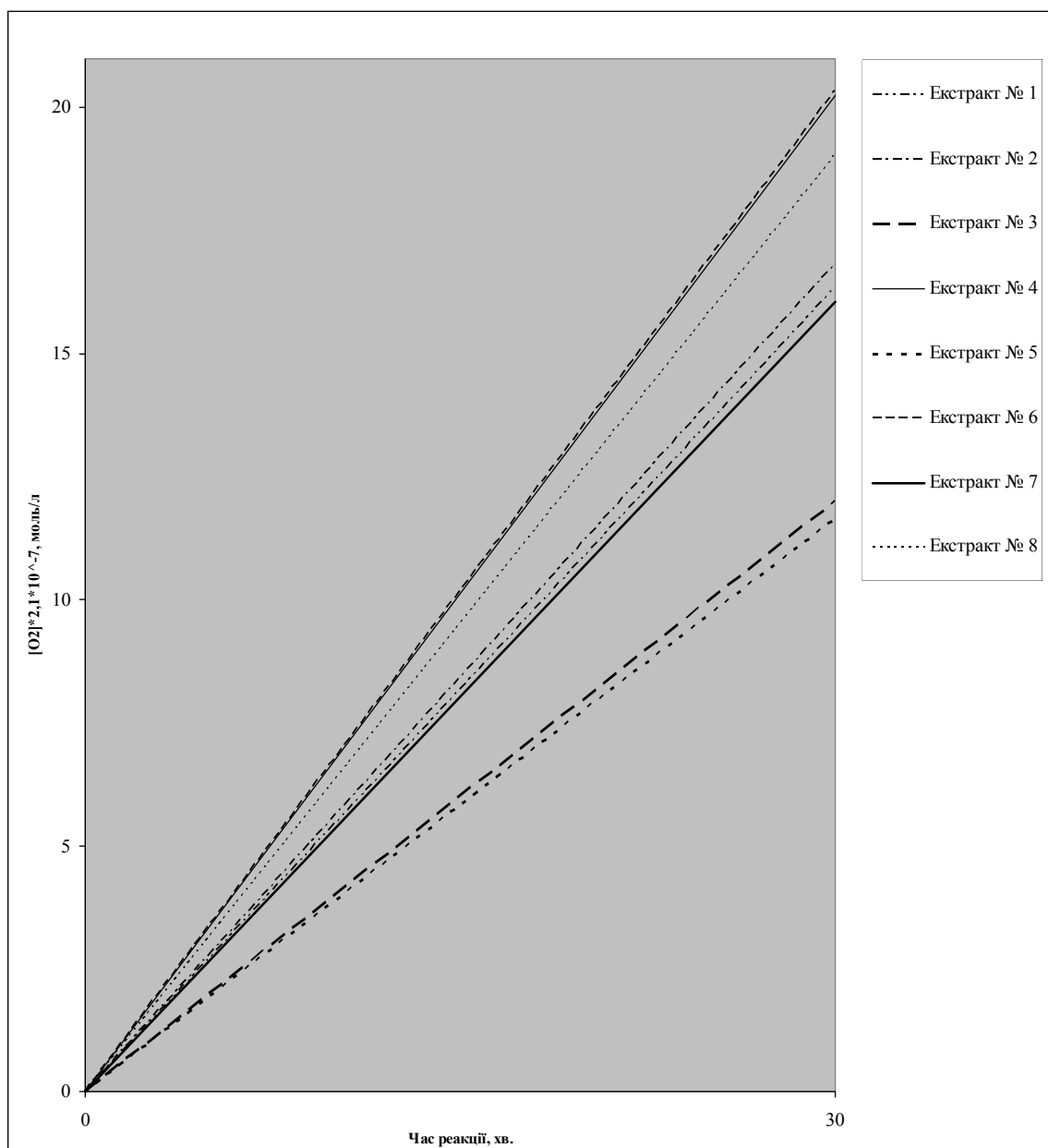


Рис.1. Графіки залежності кількості поглиненого кисню від часу

Згідно до одержаного рівняння регресії були визначені найкращі умови проведення процесу екстракції. Ці умови відповідають тим, при яких був отриманий екстракт №3 (концентрація спирту у розчині – 0%, концентрація гліцерину у розчині – 15%, час екстракції 20 хв) та екстракт №5 (концентрація спирту у розчині – 70%, концентрація гліцерину у розчині – 0%, час екстракції 20 хв). Екстракти №3 та №5 виявили найбільшу антиоксидантну силу. Для подальших досліджень доцільно обрати екстракт №3, тому що він економічно вигідніший, ніж екстракт №5.

Висновки.

1. Досліджені антиоксидантні властивості екстракту із листа горіху волоського.

2. Найбільшу антиоксидантну активність виявили екстракти, отримані за таких умов: 1) концентрація спирту у розчині – 0%, концентрація гліцерину у розчині – 15%, час екстракції 20 хв (екстракт №3) та 2) концентрація спирту у розчині – 70%, концентрація гліцерину у розчині – 0%, час екстракції 20 хв (екстракт №5)

3. В подальшому доцільно використовувати екстракт №3, тому що він економічно вигідніший, ніж екстракт №5.

Список літератури: 1. Пат. 28571А Україна, МПК С11В 5/00. Спосіб стабілізації соняшникової олії до окиснення / Коршунова Г.Ф.; заявник та патентовласник Донецький державний університет. № 97073487; заявл. 02.07.97; опубл. 16.10.00, Бюл. №5/2000 2. Пат. 69987 Україна, МПК С11В 5/00. Спосіб стабілізації рослинної олії / Усатюк С.І.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. № 201112464; заявл. 24.10.11. ; опубл. 25.05.12, Бюл. №10/2012 3. Денисов Е.Т. Ингибирование цепных реакций / Денисов Е.Т., Эмануэль Н.М., Азатян В.В.. – Черногловка: ИХФ РАН, 1997. – 370 с. 4. Бондарь Г.А. Планирование эксперимента в химической технологии / Бондарь Г.А., Статюха Г.А.. – К: «Вища школа», 1976. – 184 с

Надійшла до редколегії 11.02.14

УДК 664.31

Вплив рослинних екстрактів на стабілізацію соняшникової олії до процесів окиснення / Білоус О.В., Демидов І.М. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 16 (1059). – С. 113–117. – Бібліогр.: 4 назв.

В статье рассматривается влияние растительных антиоксидантов на стабилизацию масел к процессам окисления. Подобрано растительное сырьё и выявлены рациональные условия проведения процесса экстракции. Исследованы свойства полученных экстрактов и проанализирована их антиоксидантная сила.

Ключевые слова: экстракция, подсолнечное масло, растительные экстракты, процесс окисления.

This article examines the plant antioxidants effecting the stabilization ability of oils to oxidation. Fitted the herbs and found the rational conditions of the extraction process. Explored qualities of the obtained extracts and analyzed their antioxidant force.

Keywords: extraction, sunflower oil, vegetable extracts, oxidation processes.

О.И. ОЛЬХОВСКАЯ, ассистент, НТУ «ХПИ»

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА, РАЗВИТИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ШВЕЦИИ

В статье приведены некоторые возможности оценки экономической эффективности внедрения инновационных проектов альтернативной энергетики на опыте Швеции. Показана целесообразность обучения студентов различных специальностей методам оценки экономической эффективности в различных областях альтернативной энергетики.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, инновационные проекты, оценка экономической эффективности

Введение.

Развитие науки и техники, а также внедрение инновационных разработок на современных предприятиях развитых стран мира связано с энергетическими ресурсами, цены на которые имеют тенденцию постоянного роста с 70-х годов прошлого столетия. Дефицит и ограниченность традиционных энергетических ресурсов привели к осознанию необходимости более интенсивного использования альтернативных источников энергии. Однако, в основном, внедрение подобных источников энергии не является априори экономически эффективным мероприятием и требует зачастую колоссальных вложений различных видов средств. В связи с этим, процессу их внедрения должны предшествовать процедуры обоснования экономической эффективности и целесообразности проекта.

Таким образом, предприятия имеют возможность выбора между традиционными и альтернативными источниками энергии. С учетом климатических и географических условий региона, которые обеспечивают наличие нескольких вариантов энергообеспечения, выбор наиболее экономичного из них происходит на основе комплексного решения вопросов энергетики, экономики и технологии.

© О.І. Ольховська. 2014

Анализ последних исследований и публикаций.

Исследованиям проектов внедрения альтернативных источников энергии как одного из приоритетных направлений инновационного развития экономики посвящено значительное количество работ отечественных и зарубежных авторов [1–7]. Проблемам оценки экономической эффективности инновационно-инвестиционных проектов также посвящено множество научных трудов из которых можно выбрать наиболее актуальные в настоящее время для наших разработок [8–12].

Описанные результаты, представленные, к сожалению, небольшим кратким списком работ в данной статье являются основополагающими с позиции методологии оценки экономической эффективности инновационно-инвестиционных проектов. Вместе с тем, круг научных исследований именно в области оценки экономической эффективности инновационно-инвестиционных проектов внедрения альтернативных источников энергии крайне узок. Предлагаемые в данных трудах подходы к оценке эффективности не в полной мере учитывают специфику внедрения и эксплуатации подобных устройств, факторы, влияющие на их результативность. В связи с этим, разработка методических рекомендаций для оценки экономической эффективности внедрения альтернативных источников энергии имеет важное научное и прикладное значение.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями.

Участие во второй фазе международной учебной программы «Развитие ветроэнергетики, ее использование, управление проектами», которая проходила в Швеции в 2013 году является актуальным с точки зрения решения поставленных выше задач. Общая цель программы – устойчивое развитие альтернативных видов энергетики в развивающихся странах. Грант был получен в результате участия в конкурсном отборе с работой «Оценка экономической эффективности проектов в альтернативной энергетике». На конкурс был отправлен проект по обучению студентов экономических специальностей методам оценки экономической эффективности в области альтернативной энергетики на примере виртуальных проектов.

В начале проекта была сделана презентация, детально рассказывающая о методике обучения студентов в области изучения альтернатив-

ных источников энергии и определения экономической эффективности возобновляемой энергетики. Заинтересованными сторонами в проекте представлены SIDA и Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». Цель проекта обозначена как изучение опыта зарубежных стран привлечения общественности в решении экологических вопросов, для дальнейшего использования этого опыта в Украине. Бюджет: SIDA и Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт».

Результаты исследований.

В рамках программы были прослушаны курсы о роли ветроэнергетики в энергоснабжении, изучены ее преимущества и недостатки, экологические, экономические, технические аспекты и перспективы развития. Лекции и практические занятия проводились высшим преподавательским составом из ведущих университетов Швеции, Норвегии, Германии, США. Также практические занятия проводили специалисты, работающие на объектах альтернативной энергетики или ими владеющие.

Практические занятия зачастую проводились на объектах альтернативной энергетики с наглядной демонстрацией материала.

Программа состояла из шести основных этапов:

1. Классификация и изучение основных видов возобновляемых источников в альтернативной энергетике.
2. Изучение технологических аспектов инновационных объектов ветроэнергетики.
3. Оценка возможностей менеджмента в инновационных проектах ветроэнергетики.
4. Влияние ветроэнергетики на окружающую среду и экологическую обстановку на работающем объекте и в целом по региону.
5. Подготовка изменений для собственного проекта, представленного в программу на начальном этапе с учетом полученных при обучении сведений и знаний.
6. Конечным этапом была презентация изменений представленного изначально в программу проекта с целью определения основных возможностей разработки.

Программа стажировки включала в себя не только лекции, практические занятия, тематические исследования, групповые работы и презентации, но и большое количество ознакомительных поездок.

Обучение по программе проходило в 4 городах Швеции, в сотрудничестве с Королевским Технологическим Институтом (КТН). Также были проведены ознакомительные поездки на объекты в Данию, на офшорные объекты.

В ходе стажировки дополнены уже имеющиеся теоретические и практические знания, а также получены новые обширные знания в области альтернативной энергетики, например,

1) теория и практика эффективного управления инновационными проектами и производством;

2) особенности формирования и развития производства для некоторых источников альтернативной энергетики;

3) изучение и анализ шведского опыта в развитии законодательной, а также технологической базы в альтернативной энергетике;

4) гендерному аспекту в развитии законодательной и технологической базы альтернативной энергетики;

5) экологические программы, как обязательная составляющая инновационных проектов в области альтернативной энергетики.

Изучены также компьютерно-информационные программы, которые представляют большой интерес и являются одним из современных методов, применяемых в обучении. Следует отметить, что эти программы могут широко использоваться в обучении студентов как экономических специальностей, так и технических, например, с целью оценки экономической эффективности инновационных проектов в отрасли альтернативной энергетики, причем они применимы для любой области альтернативной энергетики. Данные программы основаны на методике оценки эффективности инвестиций, основанных на дисконтировании.

Проведенный анализ тенденций развития мировой энергетики показал, что устойчивое энергообеспечение развитых стран невозможно без использования инновационных технологий производства энергии из возобновляемых источников.

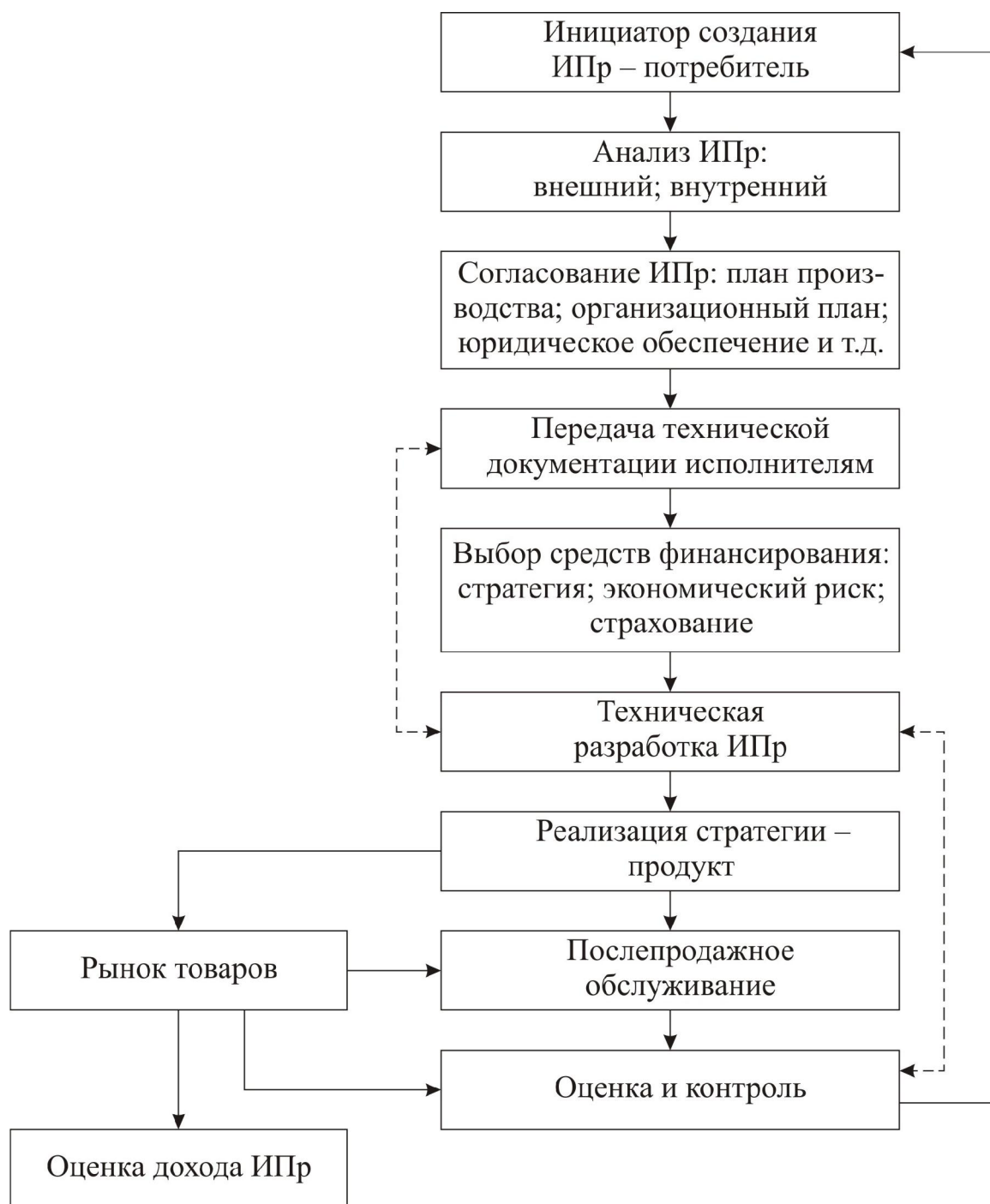


Рис. 1. Функциональная схема инновационного проекта (ИПр)

Для предварительной оценки предполагаемой экономической эффективности от инновационного проекта в области альтернативной энергетики необходимо осуществить ряд мероприятий (рис. 1).

Например, только для определения стратегии достижения целей компании должны быть даны ответы на следующие вопросы:

- 1) будет ли достигнут эффект без изменения нынешней организации в инновационной области обновления отношения к источникам энергии?
- 2) окажет ли поддержку имиджу и целям компании ее новый бизнес?
- 3) готова ли компания принять новый проект?
- 4) соответствует ли управление предъявленным компанией требованиям или необходима реорганизация этой системы?
- 5) какая финансовая отчетность предпочтительней – в сокращенном виде или развернутая, и способна ли компания ее составлять?
- 6) способна ли компания осуществлять необходимые инвестиции?
- 7) может ли компания увеличить необходимые фонды для внедрения проекта?
- 8) сколько необходимо средств для внедрения инновационного проекта и когда?
- 9) как намерена компания использовать свои сильные стороны и как минимизируются ее слабости?
- 10) как будут ознакомлены со стратегией компании ее работники и акционеры?
- 11) согласится ли Совет директоров с идеей проекта?
- 12) имеется ли согласие между Советом директоров и персоналом в отношении степени риска?
- 13) какова будет реакция банкиров, акционеров, покупателей компании и общественности на проект?
- 14) какова вероятность успеха и что должна сделать компания для повышения его шансов?
- 15) чем рискует компания, не предпринимая никаких действий?
- 16) какова продолжительность достижения стратегических целей?
- 17) каким образом будет минимизирован риск?
- 18) каковы последствия ошибок?
- 19) когда будет достигнута точка безубыточности продукции или услуг?
- 20) каково влияние внешних факторов, таких как изменение потребительского спроса, замедление темпов развития экономики, усиление государственного регулирования, конкуренции и т.п.?

21) когда возможна корректировка и переоценка плана?

При оценке эффективности использования возобновляемых источников энергии необходимо применение многокритериальной оценки, учитывающей наряду с финансовыми показателями чистый энергетический выигрыш и аспекты энергетической безопасности.

Несмотря на то, что в настоящее время использование возобновляемых источников энергии пока еще требует субсидирования, анализ тенденций развития технологий, затрат и цен на ископаемые виды топлива показал финансовую привлекательность проектов внедрения возобновляемых источников энергии в ближайшем будущем.

При проведении финансового анализа проектов для возобновляемых источников энергии, в особенности связанных с использованием энергий ветра и солнца, принципиально необходимым становится учет вероятностного характера процессов и технологических особенностей процесса производства.

В силу вероятностного характера ряда исходных величин при анализе проектов по использованию возобновляемых источников энергии и как следствие расширения доверительных интервалов расчетных показателей эффективности проектов, необходимо внедрения новых форм представления результатов, позволяющих оперативно провести анализ множества решений.

На конечном этапе стажировки был представлен измененный проект «Усовершенствования процесса обучения в области альтернативной энергетики».

Полученные в ходе стажировки новые знания позволили сформулировать и детализировать ранее предложенный проект, а также расширить представленные в прошлой презентации вопросы и усовершенствовать процесс обучения студентов. Это возможно сделать представив его как комплексный, охватывающий все аспекты и стороны внедрения и менеджмента проектов в области нетрадиционной энергетики. Представлена актуальность данного проекта на результатах исследования шведских коллег, обращающих внимание на дефицит кадров в данной отрасли.

Расширен круг вопросов проекта, включающий в себя не только экономические аспекты, но и возможности и оценки регионального раз-

вития, законодательные, экологические, технологические аспекты, управление проектами в области альтернативной энергетики. Также были детализированы и конкретизированы все представленные аспекты.

Результаты проекта обучения студентов с помощью комплексного подхода в управлении проектами в области альтернативной энергетики представлены как возможность оценки и анализа реальных и виртуальных проектов, возможность проведения регулярных комплексных проектов и деловых игр с участием студентов НТУ «ХПИ» и других ВУЗов региона и Украины в целом.

Выводы.

На основании анализа полученных в процессе обучения сведений о развитии мировой энергетики сделан научно-обоснованный вывод о необходимости расширения использования альтернативных источников энергии (АИЭ) не только в странах Евросоюза; возможна разработка системы критериев оценки эффективности использования некоторых АИЭ, включающая набор финансовых показателей, чистый энергетический выигрыш и показатели, характеризующие энергетическую безопасность; изучен возможный перечень исходной информации, необходимой для проведения оценки эффективности проектов производства электроэнергии с помощью ветроустановок; исследовано влияние на экономическую эффективность использования ветроэнергетических установок их технологические особенности и вероятностных характеристик ветровой обстановки.

По результатам исследований и полученных знаний проведено комплексное межвузовское игровое проектирование и подана в печать статья. Планируется издание 2 статей по вопросам усовершенствования обучения студентов нашего университета. Внедрены в процесс обучения знания по управлению проектами и применены компьютерно-информационные программы. Полученные данные будут использованы при написании диссертационной работы.

По итогам стажировки получен сертификат об успешном прохождении второй фазы программы и получено приглашение на четвертую фазу программы.

Список литературы: 1. Энергетическая стратегия Украины на период до 2030 года и дальнейшую перспективу: Энергетика Украины в XXI столетии: Спец. вып. К.: Пресса Украины. 2011. – 4 с. 2. *Башмаков И.* Закон повышающейся энергоэффективности // Энергоинформ. 2001. № 9, 10. – 5 с. 3. Возобновляемая энергия: история успеха: Отчет № 27. Раздел: Вопросы окружающей среды. Люксембург: Издательский офис ЕС. 2001. – 96 с. 4. *Андрюхин А.В.* Эффективность развития возобновляемых и нетрадиционных источников энергии: На примере Дальнего Востока: Дис. . канд. экон. наук: 08.00.05. – Владивосток, 2002, 173 с. 5. *Асланян Г.С., Молодцов С.Д.* Возобновляемые источники энергии на мировой сцене // Энергия. 1997. № 3. С. 2–4. 6. *Байков Н.М., Гринкевич Р.Н., Александрова И.И.* Основные тенденции развития мировой энергетики на перспективу до 2020г. –М.: ИМЭМО РАН, 2002. 7. *Безруких П.П.* Возобновляемая энергетика: вчера, сегодня, завтра. Электрические станции. – М.: 2005. – №2. С. 35–48. 8. *Беляев Ю.М.* Критерии эколого-экономической эффективности энергетических технологий //Промышленная энергетика. 2003. – №8. С. 39–44. 9. *Беляев Ю.М.* Менеджмент в альтернативной энергетике // Актуальные проблемы развития экономической и социальной науки. Краснодар: ЮИМ, 2003. С. 12–13. 10. Беренс В., Хавранек П.М. Руководство по оценке эффективности инвестиций. М.: АОЗТ «Интерэксперт», «ИНФРА-М», 1995. – 528 с. 11. Бирман Г., Шмидт С. Экономический анализ инвестиционных проектов. – М.: ЮНИТИ, 1997. – 631 с. 12. Бланк И.А. Инвестиционный менеджмент. – К.: МП «Итем» ЛТД, 1995. – 168 с.

Поступила в редколлегию 11.02.14

УДК 662.997

Опыт организации производства, развития и эксплуатации объектов альтернативной энергетики в Швеции / О.И. Ольховская // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х.: НТУ «ХП» – 2014. – № 16 (1059). – С. 118 – 126. Бібліогр.: 12 назв.

У статті наведені деякі можливості оцінки економічної ефективності впровадження інноваційних проектів альтернативної енергетики на досвіді Швеції. Показано доцільність навчання студентів різних спеціальностей методам оцінки економічної ефективності в різних областях альтернативної енергетики.

Ключові слова: альтернативна енергетика, інноваційні проекти, оцінка економічної ефективності

In this article presents some possibilities evaluating the economic efficiency implementation of innovative alternative energy projects on the experience of Sweden. The expediency of teaching students of different specialties of methods for assessing cost-effectiveness in various fields of alternative energy.

Keywords: filtration, slag, clay, coal, soil, hydraulic gradient.

Д.В. НЕВМИВАКА, асп., НТУ «ХПИ»;

И.Н. ДЕМИДОВ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АДСОРБЦИИ МОНОАЦИЛГЛИЦЕРОЛОВ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ФАЗ МАСЛО – ВОДА

Исследовано межфазное натяжение для растворов различных концентраций поверхностно-активного вещества, синтезированного двухстадийным алкоголизом. А также расчетным путем определены характеристики его поверхностного слоя.

Ключевые слова: моноацилглицеролы, алкоголиз, межфазное натяжение, адсорбция.

Введение. Широкое использование поверхностно-активных веществ в различных отраслях народного хозяйства побуждает исследователей и специалистов промышленности к разработке новых, менее затратных технологий их получения. В пищевой промышленности одной из сфер применения поверхностно-активных веществ, является их использование в качестве эмульгаторов. Пищевые эмульсии должны быть стойкие в течение длительного времени, при этом эмульгаторы, которые используются, должны обеспечивать системе необходимые свойства, а количество эмульгатора, необходимое для получения качественной эмульсии, должно быть минимальным.

Лабораторией ПАВ Московского филиала ВНИИЖ вместе с отраслевыми предприятиями разработаны такие пищевые поверхностно-активные вещества: моноацилглицеролы разных марок, производные моноацилглицеролов с лимонной, молочной, янтарной, уксусной кислотами и фосфолипидами, эфиры полиглицерола, композиционные поверхностно-активные вещества [1].

Нами в ходе двухстадийного алкоголиза (без использования молекулярной дистилляции) было получено поверхностно-активное вещество с содержанием моноацилглицеролов более 90 %, остальное – ди- и триа-цилглицеролы [2].

© Д.В. Невмивака, И.Н. Демидов. 2014

Поверхностно-активные вещества на основе моноацилглицеролов находят широкое применение в различных областях пищевой промышленности так, например, производство маргаринов разной жирности и функционального назначения; молочная промышленность, производство мороженого; производство кондитерских изделий; производство сахара; косметическое производство и т.д.

Постановка проблемы. В связи с быстро возрастающим применением поверхностно-активных веществ, все более важной становится задача исследования физико-химических свойств этих веществ, полученных по новым технологиям. Это позволяет судить о способности поверхностно-активного вещества давать качественные эмульсии.

Анализ последних исследований. Эффективность диспергирования в процессе образования эмульсии характеризуют данные межфазного натяжения [3]. Существуют различные методы определения межфазного натяжения, среди них: метод отрыва кольца, пластинка Вильгельми, высота поднятия в капилляре, висячая капля, лежачая капля [4]. Один из наиболее широко используемых методов заключается в определении веса или объема капли, которая медленно отрывается от кончика вертикально расположенного капилляра (сталагмометрический метод) [5].

Цель исследований. Чтобы оценить физико-химические свойства полученного продукта, нами была поставлена цель определить для него межфазное натяжение сталагмометрическим методом, а также рассчитать характеристики поверхностного слоя. Эти показатели необходимы для определения поверхностной-активности синтезированного продукта.

Материалы исследований. Суть сталагмометрического метода заключается в измерении объема капли жидкости, которая отрывается от конца капилляра. Образование капли протекает в жидкой фазе, по отношению к которой определяют межфазное натяжение.

При этом молекулы поверхностно-активного вещества самопроизвольно накапливаются на границе раздела фаз, что приводит к снижению межфазного натяжения. Изменение межфазного натяжения достигается за счет того, что на границе раздела фаз молекулы поверхностно-активного вещества, имеющие дифильное строение, всегда ориентируются так, чтобы их взаимодействие с двумя средами привело к макси-

мальному выделению энергии – полярные группы остаются в полярной жидкости, а неполярный радикал обращается в неполярную фазу.

Сталагмометрическая установка, на которой были выполнены измерения, схематически изображена на рис. 1

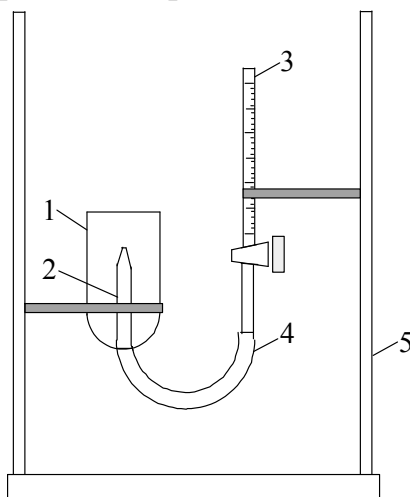


Рис. 1. Сталагмометрическая установка: 1 – стакан с водой; 2 – капилляр; 3 – микробюретка; 4 – соединительный шланг; 5 – штатив

Сталагмометр состоит из стакана с впаянным капилляром, соединенного резиновым шлангом с микробюреткой. Срез капилляра должен быть строго горизонтальным и тщательно отшлифованным. Внутренний диаметр капилляра равен 1,5 – 2,0 мм. Диаметр микробюретки 5 мм.

Перед проведением измерений проводят калибровку прибора, которая включает в себя определение константы прибора по системе с известным межфазным натяжением.

Для проведения опыта готовят серию растворов различной концентрации исследуемого поверхностно-активного вещества в подсолнечном масле. Дальнейшие измерения производят следующим образом. Микробюретку, соединительный шланг и капилляр заполняют исследуемым веществом. Стакан заполняют водой на 3/4 объема, следя за тем, чтобы вода не попала в капилляр. Открывают кран микробюретки и прокапывают 10 капель исследуемого вещества, объем которых определяют по показаниям микробюретки.

Обработка результатов исследования. Межфазное натяжение на границе двух жидкостей определяется по формуле:

$$\sigma = K \cdot v \cdot (d_1 - d_2),$$

где σ – межфазное натяжение, мН/м;

K – постоянная прибора, $(\text{кмоль}/\text{м}^3)^{-1}$;

v – объем капли как среднее значение из 10 определений, мл;

d_1, d_2 – плотность соответственно дистиллированной воды и исследуемого вещества при 20 °С.

Константа прибора рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{\sigma_{\text{ц/в}}}{v \times (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{ц}})},$$

где $\sigma_{\text{ц/в}}$ – межфазное натяжение циклогексан – вода, 50,9 мН/м;

v – объем выдавливаемой капли, мл;

$\rho_{\text{в}}, \rho_{\text{ц}}$ – плотность воды и циклогексана соответственно.

Измерили объем 10 капель $v_{10} = 0,6$ мл, тогда объем одной капли $v = 0,6/10 = 0,06$ мл. На основании полученных данных можем рассчитать константу прибора по циклогексану:

$$K = 50,9 / (0,06 \times (1 - 0,779)) = 3829 \text{ (кмоль}/\text{м}^3)^{-1}.$$

Далее проводим измерения для растворов полученного поверхностно-активного вещества различных концентраций и рассчитываем для них значения межфазного натяжения. На основании полученных данных и расчетов строим изотерму межфазного натяжения (рис. 2).

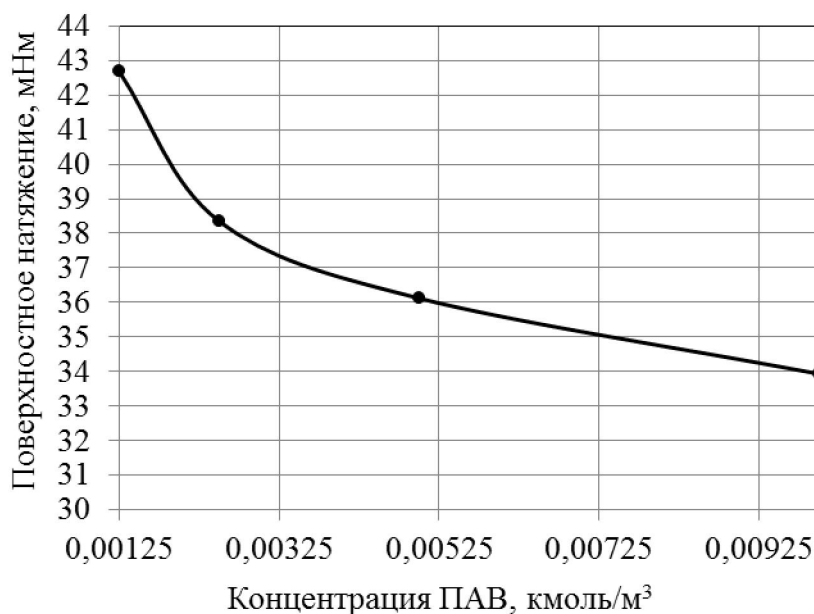


Рис. 2. Изотерма межфазного натяжения полученного поверхностно-активного вещества

Изотерма межфазного натяжения необходима для определения значений адсорбции Γ . Связь между величиной адсорбции Γ , кмоль/м², поверхностным натяжением σ , Н/м, и концентрацией растворенного адсорбирующегося вещества C , кмоль/м³ выражается уравнением изотермы адсорбции Гиббса:

$$\Gamma = -\frac{C}{R \times T} \times \frac{d\sigma}{dC}.$$

Для этого берут на изотерме межфазного натяжения ряд небольших участков и вычисляют для них значения $d\sigma/dC$. Подставляя полученные значения в уравнение Гиббса, вычисляют значения адсорбции. Определив Γ для нескольких произвольно выбранных точек, строят изотерму адсорбции (рис. 3).

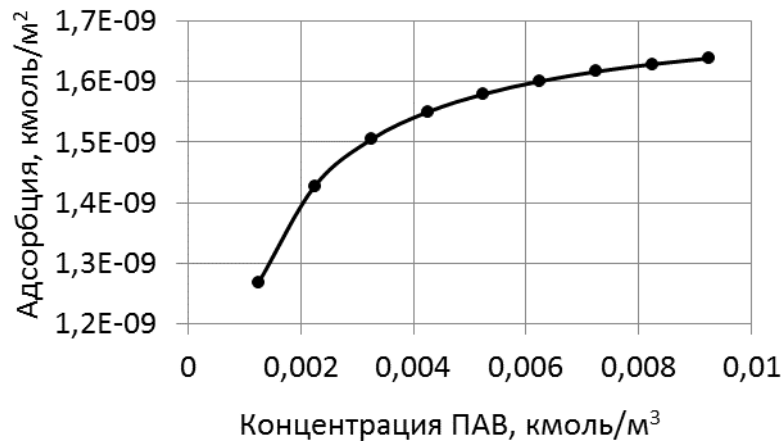


Рис. 3. Изотерма адсорбции полученного поверхностно-активного вещества

С ростом концентрации C число молекул в поверхностном слое увеличивается. В насыщенном адсорбционном слое поверхность оказывается сплошь покрыта углеводородными цепями; величина σ при этом уменьшается. При этом существует предельная величина адсорбции Γ_{∞} , которую рассчитываем на основании уравнения Ленгмюра:

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \frac{C \times K}{1 + C \times K},$$

где K – константа, характеризующая сродство адсорбируемого вещества к поверхности адсорбента, константа равновесия адсорбционного процесса, выраженная через отношение скоростей адсорбции и десорбции, (кмоль/м³)⁻¹. Величины Γ_{∞} и K определяются графическим методом, после преобразования уравнения Ленгмюра к виду:

$$\frac{C}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma_{\infty} \times K} + \frac{C}{\Gamma_{\infty}}.$$

В выражении $B = 1/(\Gamma_{\infty} \times K)$ и $D = \text{tg}\beta = 1/\Gamma_{\infty} = a/b$ – постоянные величины, следовательно, выражение представляет собой уравнение прямой линии (рис. 4): C – концентрация ПАВ, Γ – адсорбция, кмоль/м².

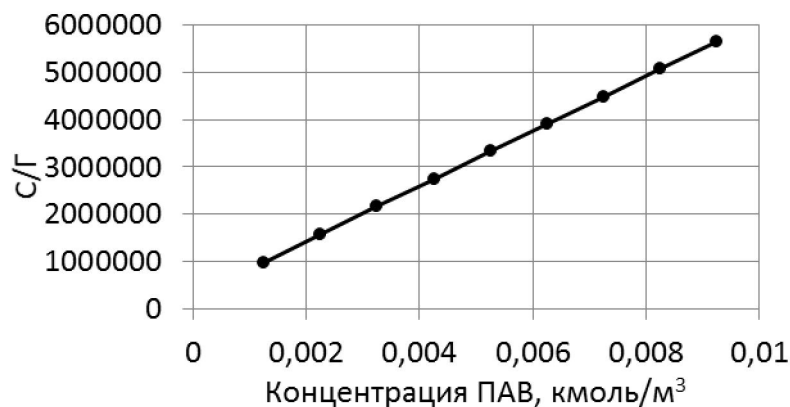


Рис. 4. Определение параметров уравнения Ленгмюра

Из графика $\Gamma_{\infty} = \text{ctg } \beta$. Котангенс угла находят на графике как отношение прилежащего катета к противолежащему катету в прямоугольном треугольнике. Необходимо при этом брать величины катетов в масштабах соответствующих осей, тогда $\Gamma_{\infty} = 1,7 \cdot 10^9$ кмоль/м².

Так как в предельном насыщенном адсорбционном слое на 1 м² поверхности адсорбируется $\Gamma_{\infty} \times N$ молекул, где $N = 6,02 \cdot 10^{26}$ кмоль⁻¹ – число Авогадро, то площадь, приходящаяся на одну молекулу S_0 , м²:

$$S_0 = 1/(\Gamma_{\infty} \times N).$$

Тогда площадь, занимаемая одной молекулой поверхностно-активного вещества, в плотно сжатом адсорбционном слое равна:

$$S_0 = 97 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2 [6].$$

Полученное нами значение хорошо согласуется с данными по площади, занимаемой одной молекулой поверхностно-активного вещества в плотно сжатом адсорбционном слое, приведенными в [7]. Так, например, для молекулы *n*-трет-октилфенилового эфира гексадекаэтиленгликоля, сопоставимой с молекулой моноацилглицерола по размеру эта величина составляет $80 \cdot 10^{-20}$ м². Такое совпадение определенной нами величины площади, занимаемой одной молекулой синтезированного нами поверхностно-активного вещества в плотно сжатом адсорбционном слое со

справочными данными свидетельствует о надёжности наших исследований.

Выводы. Таким образом, на основании экспериментальных данных и расчетов были построены изотермы поверхностного натяжения и адсорбции. Анализируя которые, можно сделать вывод, что полученный продукт обладает хорошими поверхностно-активными свойствами и способен эффективно снижать межфазное натяжение на границе раздела фаз вода–масло. Это свойство позволяет использовать синтезированное поверхностно-активное вещество для получения тонкодисперсных стойких эмульсий.

Список литературы: 1. Сайт Московского филиала ВНИИЖ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.vnizh.ru/pav/index.htm> 2. Невмивака Д.В. Одержання моноацилгліцеролів гліцеролізом етилових ефірів жирних кислот / Д.В. Невмивака, І.М. Демидов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія : Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 10. – С. 87–92. 3. Хайдаров Г.Г. Физическая природа поверхностного натяжения жидкости / Г.Г. Хайдаров, А.Г. Хайдаров, А.Ч. Машиек // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4 (Физика, химия). – СПб. : СПб ун-т, 2011. – Выпуск 1. – С. 3–8. 4. Ranny M. Определение свойств детергентов и эмульгаторов. Prum. Potravin., 1969. – №9. – 271 с. 5. ГОСТ Р 50097-92 Вещества поверхностно-активные. Определение межфазного натяжения. Метод объема капли – Введ. 01.07.1993. 6. Некрасов А.П. Лабораторный практикум по коллоидной химии: Учебное пособие для студентов химических специальностей / А.П. Некрасов, Б.А. Веретенченко. – Х. : НТУ «ХПИ», 2004. – С. 31–39. 7. Фролова Ю.Г. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии. / Под ред. Ю.Г. Фролова и А.С. Гродского. – М. : Химия. 1986, 216 с.

Поступила в редколлегию 11.03.14

УДК 664.3

Определение адсорбции моноацилглицеролов на границе раздела фаз масло – вода / Д.В. Невмивака, И.Н. Демидов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ». 2014. – № 16 (1059). – С. 127 – 133. – Библиогр.: 7 назв.

Досліджено міжфазний натяг для розчинів різних концентрацій поверхнево-активної речовини, яку було синтезовано двостадійним алкоголізом. А також розрахунковим шляхом визначено характеристики його поверхневого слою.

Ключові слова: моноацилгліцероли, алкоголіз, міжфазний натяг, адсорбція.

Investigated the interfacial tension for solutions of various concentrations of the surfactant, the two-step alcoholysis synthesized. And also by calculation defined characteristics of its surface layer.

Keywords: monoglyceride, alcoholysis, interfacial tension, adsorption.

О.О. ЛЮБАВІНА, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПІ»;
В.Г. МИХАЙЛЕНКО, канд. техн. наук, вед. н. с., ПМАШ, Харків;
О.М. ПІВЕНЬ, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПІ»;
О.Ф. АКСЬОНОВА, канд. техн. наук, доцент, ХДУХТ, Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА СТІЙКІСТЬ НЕГАЗОВАНОЇ МІНЕРАЛЬНОЇ ВОДИ «БЕРЕЗІВСЬКА»

У статті приведені результати досліджень по вивченню факторів та методів попередньої обробки, які впливають на стабільність мінеральної негазованої води «Березівська». Для їх визначення і систематизування було досліджено значення показників: рН, загальної лужності, вільної лужності, концентрації діоксиду вуглецю та співвідношення між її формами. Також розраховано коефіцієнт стабільності води. Визначено вплив температури зберігання на стабільність мінеральної води.

Ключові слова: вода мінеральна негазована «Березівська», рН, загальна лужність, вільна лужність, концентрація діоксиду вуглецю, коефіцієнт стабільності води, зберігання мінеральної води.

Вступ. Підприємства по виробництву мінеральної води для розширення асортименту продукції та завантаження потужностей крім традиційної газованої мінеральної води випускають негазовану мінеральну воду, питну воду та воду для дітей. Кожен вид продукції потребує обов'язково ряду методів попередньої обробки для доведення води до встановлених нормативів [1]. Для успішної реалізації продукції та додержання термінів зберігання необхідно стабілізувати основні складові води та зберегти добрі органолептичні властивості. Особливо це питання актуальне у виробництві та реалізації негазованої мінеральної води.

Практично всі природні мінеральні води є нестабільними системами. Форми знаходження в них складових залежать в першу чергу від активної реакції рН, окисно-відновлювального потенціалу, умов зовнішнього середовища. Фактори підземного середовища, в яких формується склад мінеральної води, різко відмінні від умов при виході на поверхню землі. При видобуванні мінеральної води її хімічний та мікробіологічний склад піддається перетворенню, що негативно відбивається на якості води як готової продукції. Існує небезпека утворення осадів при транспортуванні мінеральних вод на значні відстані, зберіганні та накопиченні.

© О.О. Любавіна, В.Г. Михайленко, О.М. Півень, А.Ф. Аксьонова. 2014

Аналіз останніх досліджень та літератури. Відомо, що основним стабілізуючим компонентом мінеральної води є двоокис вуглецю та вуглекислотні буферні системи. Підземні води, як питні так і мінеральні, містять значні концентрації (60–300 мг/дм³) вільного та зв'язаного двоокису вуглецю. Його розчинність обумовлена не лише силами міжмолекулярної взаємодії, а й хімічною спорідненістю цього газу до води. Співвідношення окремих форм вугільної кислоти залежить від рН води (табл.1) [2].

Таблиця 1. Залежність форм карбонат-аніону від рН води

Форми вугільної кислоти, %	рН води		
	6	7	8
H ₂ CO ₃	71,08	22,22	2,76
HCO ₃ ⁻	25,92	77, 21	96,72
CO ₃ ²⁻	-	0,01	0,52

Активна реакція вуглекислих мінеральних вод характеризується обмеженою стабільністю при титруванні як кислотами, так і лугами. Це пояснюється тим, що вуглекислотні мінеральні води є слабкими буферними системами. Постійність рН води визначається в основному карбонатною буферною системою, у формуванні якої важливу роль відіграє двоокис вуглецю. Розчинний CO₂ виконує також важливу регулюючу функцію по відношенню до процесу утворення твердої фази у формі практично нерозчинних у воді карбонатів кальцію, магнію та інших катіонів, оскільки безпосередньо приймає участь у перетворенні нерозчинних карбонатів у розчинні гідрокарбонати.

В літературі достатньо повно представлена інформація з вивчення функції двоокису вуглецю щодо розчинності карбонату кальцію. Умовою стабільності хімічного складу вуглекислих вод є рівність концентрацій CO₂ вільного та у стані рівноваги. Однак експериментальними дослідженнями встановлено, що утворення твердої фази у вигляді карбонатів лужноземельних металів настає при концентрації вільної CO₂ меншій, ніж у стані рівноваги, розрахованої за формулою Вант-Гоффа [2].

Стабільність по відношенню до CaCO₃ пояснюється здатністю карбонату кальцію утворювати пересичені розчини в природних водах, а також впливом іонно-сольового складу води. Однією з причин утворення пересичених розчинів CaCO₃ є значна різниця складу розчину, що містить гідрокарбонат-іони, і твердої фази яка містить карбонат іони. Це у свою чергу спричиняє початкові етапи кристалізації. Іншу причину утво-

рення пересичених розчинів CaCO_3 пов'язують з комплексоутворенням Ca^{2+} з органічними сполуками, а також утворення іонних пар Ca^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- іонів з іонами, що містяться у природних водах. Утворення іонних пар суттєво змінює ступінь насиченості природних вод карбонатом кальцію. Третю можливу причину пересичення вод карбонатом кальцію пов'язують із адсорбцією органічних речовин на поверхні кристалів CaCO_3 . Взаємодія CaCO_3 з органічними речовинами призводить до утворення орґано-карбонатних асоціатів у вигляді плівок або мономолекулярних шарів, що уповільнюють процеси подальшої кристалізації, осадження і розчинення CaCO_3 [3].

Мета досліджень, постановка проблеми. Мета нашої роботи - було встановити причини нестабільності негазованої мінеральної води «Березівська» та надати рекомендації для її стабілізації.

За своїм складом мінеральна вода «Березівська» є гідрокарбонатною натрієво-кальцієвою, магнієво-натрієво-кальцієвою слабо мінералізованою. Для води характерна нейтральна реакція рН 6,8–7,2 та температура при видобуванні 11,0...11,5 °С. Газонасиченість води невелика. У складі розчинених газів у невеликій кількості міститься діоксид вуглецю 70...80 мг/дм³, сірководень – 0,20 мг/дм³, кисень – 1,0 мг/дм³. При коливаннях мінерального складу води у межах 0,67...0,74 г/дм³ вміст гідрокарбонат-іонів становить 445...475 мг/дм³, іонів кальцію – 75...95 мг/дм³, натрію і калію – 47...90 мг/дм³, магнію – 19 ...25,5 мг/дм³. У концентраціях менш за 0,01 мг/дм³ визначено мідь, цинк, кадмій, миш'як, хром. Стронцій стабільний присутній у воді у кількості 0,1...0,5 мг/дм³, фтор – 0,4...1,0 мг/дм³, залізо загальне – 0,8...2,0 мг/дм³, метакремнійова кислота – 41,2...56,3 мг/дм³. Для цієї води характерна присутність у підвищених концентраціях деяких специфічних біологічно активних компонентів. Так, вміст органічних речовин ($C_{\text{орг. вал.}}$) становить 8,6 – 13,5 мг/дм³ при бальнеологічній нормі 5,0 мг/дм³, при цьому перманганатна окиснюваність достатньо низька – 0,5...0,8 мг/дм³.

Мінеральна вода «Березівська» містить значні концентрації розчинного двовалентного заліза, що спричиняє її помутніння у процесі розливу та зберігання негазованої води. З метою стабілізації негазованої мінеральної води на підприємстві проводиться попереднє окислення нестабільних сполук заліза киснем повітря. Для цього застосовується інтенсивна аерація шару води повітрям. Після такої обробки вилучається запах сірководню, випадають в осад нестабільні сполуки заліза. Для доокиснення розчинних сполук заліза проводиться фільтрування води крізь шар піро-

люзиту(MnO_2). У подальшому вода фільтрується для відокремлення осаду на пісочних фільтрах та картриджних фільтрах тонкої фільтрації (5;1 мкм). Після тонкої фільтрації вода є ідеально прозорою, без запахів та присмаків. Для поліпшення мікробіологічної стійкості, перед розливом у тару, вода проходить фінішну обробку Уф-променями.

Матеріали досліджень. Дослідження якості води проводили після кожної стадії обробки. У воді визначали: рН, загальну та вільну лужність, розраховували концентрацію CO_2 , визначали карбонатну стабільність води. У дослідженнях використовували загальноприйняті методи. Проби води відбирали на першій зміні протягом одного місяця. Результати досліджень представлені у таблиці 2.

Таблиця 2. Показники води після кожної стадії обробки

Точка відбору проби	Кислотність, мг-екв/дм ³	Концентрація CO_2 , мг/дм ³	Лужність загальна, мг-екв/дм ³	Концентрація HCO_3^- , мг/дм ³	рН	рН, після контакту з $CaCO_3$	Коефіцієнт стабільності, Кс
Свердловина	1,8	39,6	9,8	215,6	6,5	6,7	0,98
Накопичувач	1,35	29,7	9,6	211,2	7,6	7,8	0,97
Пісочної фільтр	1,1	24,2	9,0	198,0	7,5	7,7	0,98
Фільтр з піролюзитом	1,15	25,3	9,2	202,4	7,3	7,8	0,94
Фільтр 40 мкм	0,8	17,6	8,75	192,5	7,2	7,0	1,03
Фільтр 5 мкм	0,85	18,7	8,7	191,4	7,2	7,5	0,96
Фільтр 1 мкм	1,5	25,2	9,4	206,8	6,9	7,0	0,99
У/ф лампа	1,1	24,2	9,0	198,0	7,0	9,4	0,74
Готова продукція	1,1	8,2	9,0	198,0	9,3	9,5	0,99

Для перевірки стабільності води при зберіганні зразки води в закольованих пляшках встановлювали у світлову шафу та витримували там до утворення осаду або протягом семи діб (еквівалент піврічного зберігання на складі за температури 18...25 °С).

Результати досліджень. Аналізуючи одержані результати важко пояснити причини підвищення рН у готовій продукції після обробки її ультрафіолетовим опроміненням. Використовуючи рівняння вуглекислотної рівноваги при відповідних значеннях рН (менше та більше 8,3): $HCO_3^- = OH^- + CO_2$, $HCO_3^- = H^+ + CO_3^{2-}$ можливо пояснити залежність

концентрації CO_2 і CO_3^{2-} від рН. Згідно з принципом Ле Шательє при збільшенні концентрації CO_2 при зростанні рН до 8,3 (тобто при збільшенні концентрації гідроксид-іонів) відбувається зсув рівноваги першого рівняння вліво. При зменшенні рН нижче 8,3 (тобто при збільшенні концентрації іонів H^+) відбувається зсув рівноваги другого рівняння вліво, що призводить до зменшення концентрації іонів CO_3^{2-} .

В процесі видобування і накопичення води, а також аерації води повітрям прогнозовано зменшується концентрація вільного CO_2 , що призводить до дестабілізації вуглекислотної рівноваги. Вилучення сірководню із води також послаблює буферність системи. Наступні стадії обробки, багаторазове фільтрування води, призводить до коливання концентрацій CO_2 , розчинного та вільного. Ультрафіолетове опромінення на наш погляд довершує руйнування стабілізаційних систем води. У процесі опромінення з присутнього у воді кисню утворюються невеликі кількості озону, а це спричиняє окислення органічних сполук. Таким чином окремі мікрочастинки CaCO_3^{2-} з часом залишаються без «захисних органічних оболонок», коагулюють і утворюють карбонатні осади.

Для підвищення стабільності мінеральної води досліджували вплив антиоксиданту – аскорбінової кислоти. Для цього у готову продукцію дозували розчин аскорбінової кислоти та відправляли зразки на зберігання. Метою даного експерименту було уповільнити окислювальні процеси органічних речовин, що мають захисні властивості мікрочастинки карбонату кальцію. Також вважали, що при зниженні рН не буде зменшуватись концентрація вільного двоокису вуглецю і це в свою чергу підвищить стабільність мінерального складу води «Березівська». Випробування показало, що додавання аскорбінової кислоти не має позитивного впливу на стійкість негазованої мінеральної води «Березівська».

Негазована мінеральна вода після її підготовки розливається у скляну та пластикову тару і до відправки у торговельну мережу зберігається у складському приміщенні заводу. Це приміщення практично немає опалення і температура продукції значно коливається в залежності від пори року. Для визначення оптимального інтервалу температур зберігання негазованої мінеральної води проводили дослідження по впливу температури на стійкість складу води. Негазовану воду розлили у скляні та пластикові пляшки зберігали при різних температурах до утворення осаду у пляшках, але не більше 6 місяців. У пляшках, що зберігались при підвищених температурах (25 – 38 °C) осади з'являлись в інтервалі

10 – 30 діб. Також спостерігалось утворення осадів при зберіганні продукції нижче 5 °С. Крім того було відмічено, що частіше осадки при зберіганні утворюються у скляних пляшках ніж полімерних.

Висновки: На основі проведених досліджень підприємству «Березівські мінеральні води» запропоновано зберігати продукцію в температурному режимі 5 – 25°С.

Перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

У подальшому доцільно буде продовжити дослідження по впливу ультрафіолетового опромінювання на стабільність негазованої мінеральної води та запропонувати методи її стабілізації.

Список літератури: 1. *Хорошева Е.В.* Влияние технологических процессов на стабильность микрокомпонентного состава минеральных вод / *Е.В. Хорошева, И.В. Абрашина, И.Ю. Михайлова, Г.А. Ремнева, Е.М. Севостьянова* // Пиво и напитки, 2013. – № 4. 2. *Беленький С.М.* Минеральные воды. / *С.М. Беленький, Г.П. Лаврешкина, Т.М. Дульнева* – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 144 с. 3. *Рижинашвили А.Л.* Показатели содержания органических веществ и компоненты карбонатной системы в природных водах в условиях интенсивного антропогенного воздействия / *А.Л. Рижинашвили* // Вестник Санкт-Петербургского университета. – СПб, 2008. – Сер.4. – Вып. 4. – с. 90–100.

Надійшла до редакції 08.04.14

УДК 663.646

Дослідження факторів, що впливають на стійкість негазованої мінеральної води «Березівська» / Любавіна О.О., Михайленко В.Г., Півень О.М., Аксьонова О.Ф. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х.: НТУ «ХП», 2014 – № 16 (1059). – С. 134 – 139. – Бібліогр.: 3 назв.

В статті приведені результати досліджень по вивченню факторів і методів попередньої обробки, які впливають на стабільність мінеральної негазованої води «Березівська». Для їх визначення і систематизації були досліджені значення показників: рН, загальної щелочності, вільної щелочності, концентрації діоксида вуглецю і співвідношення між її формами. Також розраховано коефіцієнт стабільності води. Визначено вплив температури зберігання на стабільність мінеральної води.

Ключевые слова: вода мінеральна негазована «Березівська», рН, загальна щелочність, вільна щелочність, концентрація діоксида вуглецю, коефіцієнт стабільності води, зберігання мінеральної води.

In the article results of researches on studying factors and methods of preliminary processing which influence stability mineral noncarbonated water «Березівська» are resulted. For their definition and systematization values of parameters have been investigated: pH, the general alkalinity, free alkalinity, concentration dioxide carbon and a parity between its forms. Also the factor of stability of water is calculated. Influence of temperature of storage on stability of mineral water is certain.

Keywords: water mineral not aerated «Березівська», pH, the general alkalinity, free alkalinity, concentration dioxide carbon, factor of stability of water, storage of mineral water.

Д.Є. ДОБРУНОВ, асп., НТУ «ХП»;

Л.І. ПЕРЕВАЛОВ, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХП»;

О.М. ПІВЕНЬ, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХП»

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ПІДГОТОВКИ БЕЗЛУШПИННОГО ЯДРА СОНЯШНИКА НА СТУПІНЬ ВИЛУЧЕННЯ ОЛІЇ

В даній статті розглянуто технологію переробки пелюстки з ядра соняшника, отриманого обрешуванням попередньо охолодженого насіння соняшника та обрешуванням за звичайною технологією безлушпинного ядра соняшника, з метою отримання харчового білку та харчової олії. Досліджено можливість отримання олії та білкового продукту «прямою» екстракцією. Переробка (екстракція) здійснювалась у кавітаційній установці. В процесі роботи було використано чисті розчинники гексан та етиловий спирт.

Ключові слова: ядро соняшникове безлушпинне, олія екстракційна, білок харчовий, пелюстка, розчинник, гексан, етанол, установка кавітаційна.

Вступ. На протязі останніх десятиріч одночасно з успішною роботою з подальшого удосконалення пресового та екстракційного способів не припиняються спроби розробити методи добування олії з насіння без пресування та екстракції. В даний час пресовий та екстракційний шляхи залишаються основними при виробництві рослинних олій у промисловому масштабі [1 – 5]. Однак, на сьогоднішній день є розробки щодо альтернативних способів переробки насіння соняшника, наприклад, за рахунок спеціальної підготовки ядра соняшника, яка дозволяє не тільки 100% обрешувати насіння, але й одночасно отримати високоякісну олію та харчовий білок шляхом використанням кавітаційної установки. Попередніми дослідженнями було встановлено, що технологічними факторами, що впливають на процес обрешування насіння соняшника є: температура охолодження насіння, їхня вологість та кількість обертів ротору насіннерушки [7], але доцільно б було встановити, чи впливає попередня обробка насіння, а саме температура охолодження насіння при обрешуванні, на ступінь вилучення олії з ядра соняшника.

Аналіз останніх досліджень та літератури. Для більш ефективного вилучення олії з насіння необхідно є стадія подрібнення. Для подрібнення ядра насіння використовують подрібнювачі, гомогенізатори, млини барабанні, шарові, кільцеві, колоїдні млини та ін. [6]

© Д.Є. Добрунов, Л.І. Перевалов, О.М. Півень. 2014

Кавітаційні установки нині широко використовуються в різних галузях промисловості (при отриманні біодизелю, при змішуванні компонентів, при отриманні соків, паст та інше) [6]. Також кавітаційні установки можна використовувати з метою отримання рослинної олії та білку.

Економічно вигідно отримувати олію і харчовий білок на одному підприємстві. При отриманні білка окремо від олії, на іншому підприємстві, (білок знаходиться у вигляді суспензії і можливе швидке мікробіологічне псування) необхідне його сушіння, що суттєво відображається на собівартості готового продукту. Кавітацію доцільно використовувати після процесу пресування ядра соняшника, під час якого вилучається основна частина олії. Але у даній статті буде розглянута також кавітаційна обробка цілого ядра соняшника з метою встановлення можливості проведення «прямої екстракції».

Мета досліджень. Метою даного дослідження було:

- вивчення впливу попереднього охолодження насіння соняшника на стадії обрушування на ступінь вилучення олії з пелюстки, отриманої з охолодженого ядра соняшника, при кавітаційній обробці;
- дослідження можливості отримання олії та білкового продукту «прямою» екстракцією з використанням кавітаційної установки.

Матеріали досліджень.

Підготовка ядра перед обробкою у кавітаційній машині.

Три зразки насіння соняшника піддавали обробці «холодом» (охолодження насіння за допомогою рідкого азоту при температурі від -20 до -196 °С) [7]. Після охолодження насіння обрушували на відцентровій насіннерушці «Іхно 2» [8] (швидкість обертання ротору 1400 об./хв.). Отримане після обрушування ядро пресували на плющильному пресі для отримання пелюстки.

У процесі роботи було проведено 5 дослідів. Три з них – з пелюсткою, отриманою із попередньо охолодженого ядра при температурі від -20 до -196 °С, один дослід з пелюсткою, отриманою із ядра при температурі +20 °С, а п'ятий дослід – з цілим ядром соняшника при температурі +20 °С. У якості розчинників використовувалися етиловий спирт та гексан. Після кожного дослідів отримана суспензія розділялася фільтруванням для отримання олії та білкового продукту. Вихідні дані для дослідження наступні: початкова олійність ядра соняшника 62,5 %, пелюстки 30,7 %, маса пелюстки (ядра), що завантажувалася до кавітатора: 1900 г, маса розчинника: 3380 г, температура процесу екстракції: 55 °С, тривалість процесу: доки температура у кавітаторі не досягне 55 °С.

Технологічні параметри процесу екстракції у кавітаційній установці «Текмаш» та деякі проміжні дані зведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Технологічні параметри процесу екстракції у кавітаційній установці

№ до-слі-да	Най-мену-вання зразка	Температура насін-ня соняшника при обрушуванні, °С	Тривалість процесу ек-тракції у кавітаторі, хв	Темпера-тура про-цесу ек-тракції, °С	Маса верх-нього шару (місцела), г	Маса ниж-нього шару (білкова су-спензія), г	Втрати розчин-ника, г
1	Пелю-стка	-196	28	18 – 55	2475	2185	620
2	Пелю-стка	-100	17	18 – 55	2035	2270	975
3	Пелю-стка	-20	12	35 – 55	2070	2270	940
4	Пелю-стка	+20	19	25 – 55	2810	1680	790
5	Ядро	+20	72	18 – 55	2940	1610	730

Для 1, 2 та 3 дослідів як розчинник використовували 96% етиловий спирт. Для дослідів № 4 використовували як розчинник гексан, а для дослідів № 5 – суміш розчинників етилового спирту і гексану у співвідношенні 1:1.

По завершенню процесу екстракції у кожному досліді обидва шари («місцела» і «білкова суспензія») підлягали подальшій обробці. З верхнього шару відганяли розчинник для отримання олії, а з нижнього вилучали білкове борошно. Результати дослідів зведено у таблиці 2.

Таблиця 2. Ступінь вилучення олії з пелюстки і ядра соняшника при використанні кавітаційної установки

№ дослідів	Кількість екстракційної олії, вилученої з місцели, %	Олійність білкового борошна, %
1	49,6	18,3
2	60,3	14,9
3	71,9	11,1
4	83,0	7,0
5	68,5	12,3

У зразках екстракційної олії, вилученої з місцели, визначали деякі фізико-хімічні показники, що характеризують якість отриманого продук-

ту. Такими показниками є, наприклад, пероксидне число (данні наведені у таблиці 3) та кислотне число (данні наведені у таблиці 4).

Таблиця 3. Значення пероксидного числа під час зберігання олії.

№ дослідю	Пероксидне число початкове, $\frac{1}{2}$ O ммоль/кг	Пероксидне число за 30 діб, $\frac{1}{2}$ O ммоль/кг
1	2,6	4,7
2	2,3	4,3
3	1,9	3,1
4	2,0	2,7
5	2,5	3,3

Таблиця 4. Значення кислотного числа під час зберігання олії.

№ дослідю	Кислотне число початкове, $\frac{1}{2}$ мг КОН/г	Кислотне число за 30 діб, мг КОН/г
1	1,6	2,0
2	1,4	1,7
3	1,1	1,3
4	0,9	1,1
5	1,5	1,7

Висновки.

У результаті проведених досліджень було виявлено, що при використанні кавітаційної установки попереднє «заморожування» насіння соняшника на стадії обрушування впливає на ступінь вилучення олії з пелюстки, отриманої з охолодженого ядра соняшника, а саме, ступінь вилучення олії з пелюстки, що отримана з насіння попередньо охолодженого за температури -196 °С та -100 °С суттєво нижчий за ступінь вилучення олії з насіння, що не підлягало попередньому охолодженню, або було охолоджене за температури -20 °С. Також було встановлено, що попереднє охолодження насіння не впливає суттєво на пероксидне та кислотне число олії, вилученої з такого насіння.

Таким чином, можна зробити висновок, що попереднє охолодження насіння, яке необхідне для більш якісного обрушування, впливає на ступінь вилучення олії при використанні кавітаційної установки і не впливає на основні якісні показники олії. Дослідження можливості отримання олії та білкового продукту «прямою» екстракцією з використан-

ням кавітаційної установки показали, що внаслідок низької ефективності кавітаційної обробки цілого ядра соняшника рекомендовано попередньо віджимати олію з ядра на плющильному пресі.

Список літератури: 1. Проблема извлечения масла из семян без прессования и экстракции // Масличное сырье и растительные масла, 1960. – №1. – С. 4. 2. Использование ферментов в технологии получения растительных масел // Масложировая промышленность, 2009. – №5. – С. 14. 3. Технология производства растительных масел / под ред. В.М. Копейковского и доц. С.И. Данильчук.: М: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – С. 416. 4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. / А.Г. Касаткин – М.: Химия, 1971. – С. 784. 5. Щербаков В.Г. Производство белковых продуктов из масличных семян. / В.Г. Щербаков, С.Б. Иваницкий – М.: Агропромиздат, 1987. – С. 151. 6. Звіт про науково-дослідну роботу з отримання харчового білку та олії із застосуванням кавітаційної установки – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. 7. Перевалов Л.І. Новая технология обрушивания семян подсолнечника. / Л.І. Перевалов, О.М. Пивень, А.В. Понсуйшапка, С.А. Тесленко // Масложировой комплекс, 2012. – № 1 (36). – с.47 – 49. 8. Пат. 27009 Україна, МПК А 23 L 1/36, С 11 В 1/04. Спосіб одержання ядра соняшникового насіння / Іхно М.П.; заявник і патентовласник Іхно М.П. – SU № 95114827; заявл. 09.11.1995; опубл. 28.02.2000, Бюл. № 1.

Надійшла до редколегії 04.04.14

УДК 66.061

Вплив попередньої обробки безлушпинного ядра соняшника на ступінь вилучення олії / Д.Є. Добрунов, Л.І. Перевалов, О.Н. Пивень // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014 – № 16 (1059). – С. 140 – 144. – Бібліогр.: 8 назв.

В данной статье рассмотрена технология переработки лепестка из ядра подсолнечника, полученного путем обрушивания предварительно охлажденных семян подсолнечника, и обрушенного по обычной технологии безлузгового ядра подсолнечника, с целью получения пищевого белка и пищевого растительного масла. Исследована возможность получения масла и белкового продукта «прямой» экстракцией. Переработка (экстракция) осуществлялась в кавитационной установке. В процессе работы использовались чистые растворители этиловый спирт и гексан.

Ключевые слова: масло экстракционное, белок пищевой, лепесток, растворитель, гексан, этанол, кавитационная установка.

The article describes a new processing technology of petals and dehulled kernels obtained from sunflower seeds. The aim of the work is to obtain an edible protein and edible oil. Recycling (cavitation treatment) was carried out in the cavitation facility. The authors used pure solvents such as hexane and ethanol.

Keywords: extraction oil, edible protein, cakes, hexane, ethanol, cavitation facility.

Л.Л. БРАГИНА, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;
Н.А. КУРЯКИН, канд. техн. наук, мол.н.с., НТУ «ХПИ»;
Ю.О. СОБОЛЬ, канд. техн. наук, мол.н.с., НТУ «ХПИ»;
М.Н. КАПИНОС, студент, НТУ «ХПИ»;
А.А. РЕДИНА, студент, НТУ «ХПИ»

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА СТЕКЛОПОКРЫТИЙ С ЛЕГКО- И САМООЧИЩАЮЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТЬЮ

С использованием расчетных и экспериментальных методов исследования свойств стеклоэмалевых фритт и покрытий установлена возможность получения инновационных легкоочищаемых и каталитических стеклокомпозиционных покрытий на основе стекломатриц в системе $R_2O - CaO - RO_2 - Al_2O_3 - B_2O_3 - P_2O_5 - SiO_2$ и кристаллических наполнителей. Показано влияние выбранных наполнителей на физико-химические и эксплуатационные свойства покрытий. Разработаны стеклокомпозиционные покрытия, которые отвечают требованиям к защитным покрытиям для стальных деталей бытовых плит.

Ключевые слова: легкоочищаемое покрытие, каталитическое покрытие, стекломатрица, химическая стойкость, духовой шкаф.

Введение. Одной из актуальных проблем в области производства современной бытовой нагревательной техники является обеспечение эффективной защиты от коррозии и легкости очистки поверхности стенок духовых шкафов электрических и газовых плит от пригоревших масел, жиров и других пищевых загрязнений.

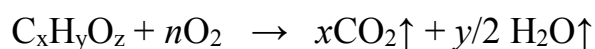
К известным методам удаления таких загрязнений с поверхности относятся механические, физико-химические и химические – с использованием щелочных моющих средств [1, 2]. Применение последних является преобладающим, однако одновременно и наиболее опасным как по отношению к здоровью человека, так и с точки зрения повышения концентрации загрязняющих компонентов в сточных водах. Поэтому при обслуживании кухонного оборудования все больше внимания уделяют вопросам снижения количества моющих средств и трудоемкости. Это возможно в случае использования духовых шкафов с модифицированными традиционными стеклопокрытиями на поверхности их стенок или инновационных составов стеклопокрытий со специальными свойствами.

© Л.Л. Брагина, Н.А. Курякин, Ю.О. Соболев, М.Н. Капинос, А.А. Редина. 2014

Наиболее перспективными материалами для решения этой проблемы являются легкоочищаемые, или ETC (Easy-To-Clean), и каталитические стеклоэмалевые покрытия [3]. Бытовая кухонная техника с ними пользуется повышенным спросом во всем мире, в частности в Украине, где этот спрос, однако, удовлетворяется лишь за счет импорта в связи с отсутствием отечественных стеклоэмалей соответствующего назначения.

Легкоочищаемые покрытия (ETC) для духовых шкафов получают на основе стекло- или стеклокристаллических эмалей. Они характеризуются твердостью, глянцевой, равномерной и гладкой поверхностью, ее химической инертностью и отсутствием механических повреждений. Легкость очищения в этом случае основана на отсутствии прочных связей между пригоревшими пищевыми загрязнениями и стенками духовки, которая обусловлена высокой химической стойкостью указанных покрытий и низкими значениями их свободной поверхностной энергии [4].

Принцип действия каталитических стеклоэмалевых покрытий состоит в поглощении ими частиц жира, его каталитическим разложением и окислением согласно реакции [5]:



Условием протекания этого процесса является пористость покрытия и наличие в нем веществ, каталитически активных при относительно низких температурах. К ним относятся тяжелые металлы, переходные элементы IV – VI группы, их оксиды, бориды, карбиды и др.

Недостатком химических составов таких стеклоэмалей, известных по патентным данным, является наличие дорогостоящих компонентов (CoO, Li₂O, MoO₃, CeO₂) [6, 7].

В связи со стремлением к внедрению инноваций в отрасль производства бытовой техники в Украине впервые в НТУ «ХПИ» Курякиным Н.А. и Брагиной Л.Л. [8] были созданы основы синтеза составов и технологических параметров получения ETC и каталитических стеклоэмалей, а также соответствующих покрытий на базе отечественного сырья. Согласно результатам этих исследований, такие покрытия могут быть получены на основе композиции из двух кальцийборосиликатных фритт: стекломатрицы и фритты-наполнителя в системах Na₂O – K₂O – CaO –

$B_2O_3 - TiO_2 - SiO_2$ и $Na_2O - K_2O - CaO - B_2O_3 - SiO_2$ соответственно. Особенность формирования ЕТС и самоочищающихся стеклопокрытий на основе композиции состоит в образовании в ней в процессе кратковременного обжига химически стойких тугоплавких кристаллических соединений, которые существенно повышают прочность легкоочищаемого покрытия (микротвердость до 6,87 ГПа) или обеспечивают способность самоочищающегося покрытия к разложению органических соединений. Были сформулированы условия создания легкоочищаемых и каталитических стеклоэмалевых покрытий и требования к ним – табл. 1 [9].

Таблица 1. Требования к свойствам легкоочищаемых и каталитических покрытий

Свойство	Интервал значений для покрытий	
	легкоочищаемые	каталитические
Свободная поверхностная энергия покрытия γ , мДж/м ²	55	не регламентируется
Термостойкость покрытия по ГОСТ Р 50696-2006, °С	+	+
Химическая стойкость покрытия по ДСТУ EN 14483-1:2007, класс	от А+ до АА	не регламентируется
Способность к легкой очистке по методу Plum Jam, баллы из 10	8 – 10	не регламентируется
Способность к самоочистке по ДСТУ ISO 8291:2005	не регламентируется	≥ 8

Цель данной работы – изучение возможности получения легкоочищаемых и каталитических покрытий с необходимыми кристаллическими соединениями, которые не формируются при обжиге, а добавляются как наполнители к стекломатрицам. В качестве основных факторов были выбраны отсутствие дорогостоящих компонентов в покрытиях указанного назначения и соответствие требованиям к физико-химическим и эксплуатационным свойствам.

Экспериментальная часть. В работе были использованы композиции из стекломатрицы-основы и тугоплавких (Al_2O_3 , ZrO_2 , SiO_2) и каталитических наполнителей (MnO_2 , Fe_2O_3 , CuO).

Химический состав стекломатрицы-основы легкоочищаемого по-

крытия (KSM) относится к системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{P}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2$, а каталитического (GM) – к системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{ZrO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{P}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2$. Они были вычислены с помощью программного пакета Mathcad 13.0 путем решения систем уравнений, полученных с использованием аддитивных формул для свойств эмалевых стекол и их значений, которые отвечают традиционным и разработанным требованиям к свойствам стеклоэмалей (поверхностного натяжения, температурного коэффициента линейного расширения, соответствующей вязкости), и необходимых значений структурных факторов [10, 11].

Шихту готовили смешиванием технических сырьевых компонентов и химических реактивов марок «х» и «хч» с последующей варкой в шамотных тиглях в лабораторной электрической печи с силитовыми нагревателями, грануляцией расплава в холодной воде, сушкой фритт при температурах 120–180 °С и их измельчением до полного прохождения порошка сквозь сито 008. Тугоплавкие наполнители композиционных покрытий измельчали до тонины, которая отвечала прохождению сквозь сито с 6400 отв./см².

Шликер получали смешиванием измельченных стеклофритт, воды и наполнителей и наносили обливом на образцы из стали 08кп с обожженным грунтовым эмалевым покрытием. Нанесенный слой шликера подвергали сушке при температуре 120 °С с последующим обжигом в лабораторной муфельной электрической печи.

Краевой угол смачивания расплавами синтезированных эмалей твердой подложки исследовали на приборе конструкции ЮРГТУ «НПИ». Химическую стойкость покрытий оценивали по ДСТУ EN 14483-1:2007 действием 10 %-го раствора лимонной кислоты. Для определения свободной поверхностной энергии легкоочищаемых покрытий был применен метод Оуэнса-Вендта-Кабле, который базируется на измерении краевого угла смачивания стеклоэмалевой поверхности тестовыми жидкостями. Определение водопоглощения и открытой пористости каталитических стеклопокрытий проводили по методу насыщения жидкостью с последующим гидростатическим взвешиванием согласно ГОСТ 2409–95 (ISO 5017 – 88). Способность к самоочищению покрытий оценивали по потере массы растительного масла при нагреве 20 – 250 °С (метод П. Денни) и по стандарту ДСТУ ISO 8291:2005, легкость очище-

ния – согласно ЕТС-тесту, который предусматривает нанесение 10 %-го раствора холодной лимонной кислоты с выдержкой на протяжении 15 минут, достаточного количества порошка нитрата лития и выдержку в печи при 320 °С на протяжении 15 минут, нанесение достаточного количества 20 %-го раствора бульона с выдержкой в печи при 320 °С в течение 15 минут и очищение от остатков с использованием губки, пропитанной раствором бытового детергента после охлаждения поверхности до комнатной температуры.

Результаты и их обсуждение. Результаты определения зависимости краевого угла смачивания от температуры стекломатриц-основ легкоочищаемого покрытия KSM и каталитического покрытия GM от температуры (рис.1), свидетельствуют о том, что расплав стекломатрицы KSM смачивает подложку, начиная с 820 °С, но даже при 900 °С краевой угол смачивания превышает 70 градусов.

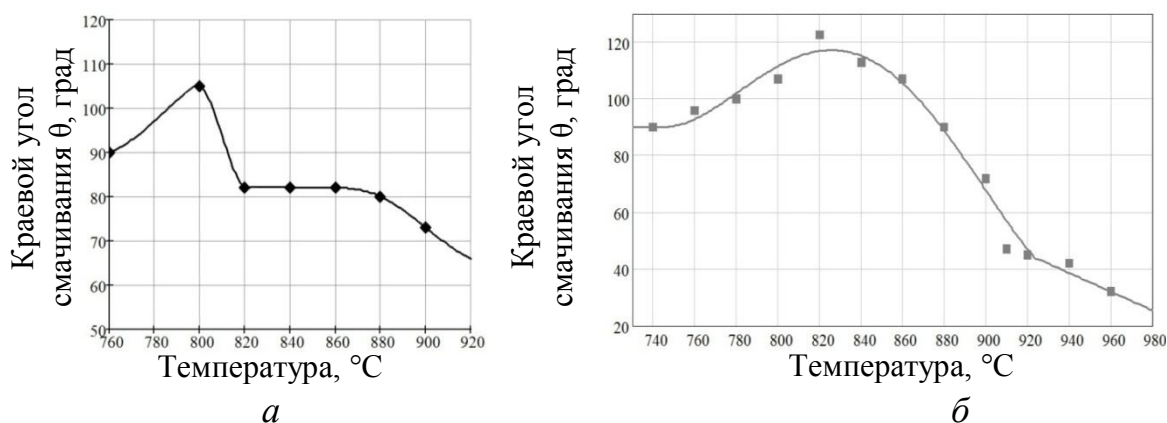


Рис. 1. Краевой угол смачивания стекломатриц: *а* – KSM, *б* – GM

Это происходит вследствие протекания процессов кристаллизации, особенно четко проявляющейся в условия длительного срока определения (120 мин). Согласно характеру кривой на рис. 1б, смачивание стали расплавом фритты GM начинается при температуре 860 °С и достигает интенсивной степени лишь после 920 °С.

Таким образом, данная фритта является достаточно тугоплавкой, что является предпосылкой формирования пористого покрытия уже при температуре 840 °С.

Значения поверхностного натяжения и температурного коэффициента линейного расширения фритт приведены в табл. 2. Согласно этим

показателям, на основе экспериментальных фритт можно получать покровные стеклоэмалевые покрытия, характеризующиеся бездефектной структурой.

Таблица 2. Значение физико-химических свойств экспериментальных стекломатриц

Свойство	Стекломатрица	
	KSM	GM
Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^7$, $1/^\circ\text{C}$	81,42	118,84
Поверхностное натяжение σ , мН/м	240	242,6

При создании композиций легкоочищаемых покрытий на основе фритты KSM в качестве тугоплавких наполнителей использовали оксиды кремния, циркония и алюминия (табл. 3). Их выбор обусловлен положительным влиянием на повышение химической стойкости и твердости покрытий.

Таблица 3. Состав экспериментальных легкоочищаемых композиционных покрытий

Маркировка	Содержание компонентов, масс.ч.			
	Стекломатрица (фритта KSM)	Наполнитель		
		Al_2O_3	ZrO_2	SiO_2
KSM-5A	100	5	–	–
KSM-10A	100	10	–	–
KSM-15A	100	15	–	–
KSM-5Z	100	–	5	–
KSM-10Z	100	–	10	–
KSM-15Z	100	–	15	–
KSM-5S	100	–	–	5
KSM-10S	100	–	–	10
KSM-15S	100	–	–	15



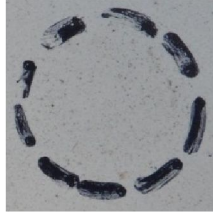


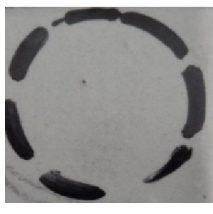
Установлено, что введение Al_2O_3 в количестве 5 масс. ч. сверх 100 масс. ч. фритт обусловило улучшение способности покрытия к легкой очистке при использовании всех видов тестовых продуктов.

Однако дальнейшее увеличение его содержания в композиции приводило к значительному ухудшению этого свойства.

Добавки кварцевого песка не улучшили способности покрытия к легкой очистке, тогда как введение ZrO_2 и увеличение его содержания до 10 и 15 масс. ч. приводило к существенному улучшению указанного свойства.

В результате определения химической стойкости, свободной поверхностной энергии и легкости очистки покрытий по международному ЕТС-тесту установлено, что композиция KSM-10Z в наибольшей степени отвечает выдвинутым требованиям (табл. 5).

Таблица 5. Результаты ЕТС-теста покрытий

Маркировка	Холодная лимонная кислота	Холодная лимонная кислота + $LiNO_3$	Холодная лимонная кислота + $LiNO_3$ + 20% раствор бульона
KSM			
KSM-Z10			

Полученное из композиции KSM-10Z покрытие было равномерным, с гладкой поверхностью. Температура его обжига составляла $840\text{ }^{\circ}\text{C}$, оно характеризовалось термостойкостью, которая отвечала ГОСТ Р 50696-2006, свободной поверхностной энергией $53,454\text{ мДж/м}^2$, химической стойкостью класса АА, твердостью по методу царапания – 9Н и отличной способностью к легкой очистке.

В качестве каталитических компонентов были выбраны MnO_2 , CuO и Fe_2O_3 , которые добавляли к стекломатрице GM (табл. 5). Этот выбор базировался на данных об их способности катализировать процессы окисления углеводов [12].

Таблица 5. Состав экспериментальных каталитических композиционных покрытий

Маркировка	Содержание компонентов, масс.ч.			
	Стекломатрица (фритта GM)	Наполнитель		
		MnO ₂	CuO	Fe ₂ O ₃
GM-10M	100	10	–	–
GM-20M	100	20	–	–
GM-30M	100	30	–	–
GM-10C	100	–	10	–
GM-20C	100	–	20	–
GM-30C	100	–	30	–
GM-10F	100	–	–	10
GM-20F	100	–	–	20
GM-30F	100	–	–	30

Покрытие на основе фритты GM и катализатора MnO₂, полученное после обжига при температуре 660 °С, показало самую большую способность к самоочистке (рис. 2), что свидетельствует о высокой каталитической активности к процессу разложения жиров именно марганецсодержащего наполнителя. Термостойкость покрытия отвечала ГОСТ Р 50696-2006.

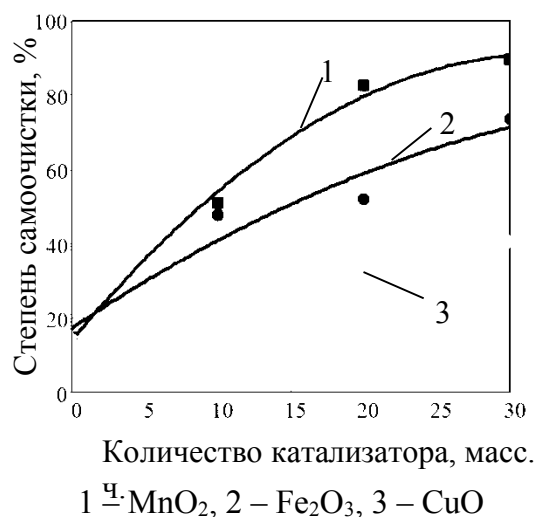


Рис. 2. Зависимость степени самоочищения композиционного покрытия от количества катализаторов

Максимальные значения пористости, которые обеспечивают высо-

кую степень самоочистки, наблюдались для покрытия состава GM-30M, обожженного при температуре 680 °C (рис. 3).

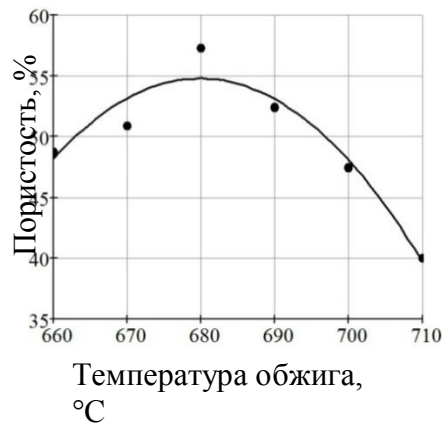


Рис. 3. Зависимость пористости композиционных марганецсодержащих покрытий GM от температуры обжига

Способность покрытия состава GM-30M к самоочистке по стандарту ДСТУ ISO 8291:2005 составляла 13 циклов (рис. 4), при том, что достаточное количество циклов для каталитических покрытий, полученных по шликерной технологии нанесения, составляет лишь 8 [5].



Рис. 4. Результаты испытания способности к самоочистке покрытий на основе композиции GM-30M

Выводы. В результате выполнения комплекса исследований установлены особенности получения легкоочищаемых и каталитических стеклокомпозиционных покрытий на основе разработанных стекломатриц в системе $R_2O - CaO - RO_2 - Al_2O_3 - B_2O_3 - P_2O_5 - SiO_2$ и тугоплавких и каталитических наполнителей. Разработанные покрытия отвечают требованиям международных стандартов к таким материалам и могут быть использованы для защиты духовых шкафов бытовых плит.

Список литературы: 1. *Sarrazy K. RealEase® Coating // Technical Papers of 21st International Enamellers Congress. – Shanghai, 2008. – P. 76 – 81.* 2. *Pemco Enamel Manual. 2nd edition / Editor K. Lips. – Brugge: Pemco. 2008. – 276 p.* 3. *Jacobs D. Smaltatura di Forni // Smalto Porcellanato. – 2006. – № 1. – P. 36 – 44.* 4. *Пат. 7005396 США, МПК C03C 8/08, C03C 8/22, C03C 3/17, C03C 3/19. Enamel Composition. / Espargillière S., Schanné A., Roques F.; Ferro France-S.A.R.L, Saint Dizier. – № 10/311182; Заявл. 25.06.2001; Оpubл. 28.02.2006.* 5. *Aronica A. Smalti Autopulenti Catalitici per Applicazione Elettrostatica a Polvere // Smalto Porcellanato. – 2002. – № 2. – P. 49 – 53.* 6. *Пат. 4180482 США, МПК B01J 29/06, A21B 1/00. Self-Cleaning Catalytic Coating. / Nishino A., Sonetaka K., Kimura K., Watanabe Y.; Matsushita Electric Industrial Co., Kadoma. – № 915260; Заявл. 13.06.1978; Оpubл. 25.12.1979.* 7. *Пат. EP 1256556 Европа, МПК C03C 8/02. Porcelain Enamel Composition. / Eckmann J.C., Oumoumeme M.A.A., Roques F.; Ferro France S.A.R.L., Saint Dizier. – № 01111365.1 ; Заявл. 09.05.2001; Оpubл. 13.11.2002. – Bulletin 2002/46.* 8. *Powder electrostatic enamelling of household appliances [Electronic resource] / Bragina L., Shalygina O., Kuryakin N. et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2011. – Vol. 25. – № 1. – Mode of access: <http://iopscience.iop.org/1757-899X/25/1/012012>.* 9. *Курякин М.О. Легко- та самоочисні кальційборосилікатні склокомпозиційні покриття для побутового нагрівального обладнання: Автореф. дис... к-та техн. наук: 05.17.11 / НТУ «ХП». – Х.: 2013. – 20 с.* 10. *Голеус В.И. Проектирование составов эмалей с заданным комплексом свойств // Информационный вестник УАЭ. – 2008. – № 2. – С. 20 – 35.* 11. *Аппен А.А. Химия стекла. – Л.: Химия, 1976. – 296 с.* 12. *Пат. 3718498 США, МПК B44D 1/02. Catalytic Composition. / Denny P.J., Dowden D.A.; ICI Ltd., London – № 128684 ; Заявл. 29.03.1971; Оpubл. 27.02.1973.*

Надійшла до редколегії 25.03.14

УДК 666.293

Особенности синтеза стеклопокрытий с легко- и самоочищающейся поверхностью / Л.Л. Брагина, Н.А. Курякин, Ю.О. Соболев, М.Н. Капинос, А.А. Редина // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х.: НТУ «ХП» – 2014. – № 16 (1059). – С. 145 – 154. Бібліогр.: 12 назв.

З використанням розрахункових і експериментальних методів дослідження властивостей склоемалевих фрит та покриттів встановлена можливість одержання інноваційних легкоочисних й каталітичних склокомпозиційних покриттів на основі скломатриці в системі $R_2O - CaO - RO_2 - Al_2O_3 - B_2O_3 - P_2O_5 - SiO_2$ та кристалічних наповнювачів. Показано вплив обраних наповнювачів на фізико-хімічні та експлуатаційні властивості покриттів. Розроблено склокомпозиційні покриття, які відповідають вимогам до захисних покриттів для сталевих деталей побутових плит.

Ключові слова: легкоочисне покриття, каталітичне покриття, скломатриця, хімічна стійкість, духова шафа.

The possibility of obtaining the innovative easy-to-clean and catalytic glass-composite coatings on the base of glass matrices in the $R_2O - CaO - RO_2 - Al_2O_3 - B_2O_3 - P_2O_5 - SiO_2$ system and crystalline fillers has been established with the use of computational and experimental methods for determination of the properties of glass enamel frits and coatings. The effect of chosen fillers on physico-chemical and performance properties of the coatings has been shown. Glass-composite coatings that meet the requirements to protective coatings for steel parts of domestic stoves have been developed.

Keywords: easy-to-clean coating, catalytic coating, glass matrix, chemical resistance, oven.

Л.Л. БРАГИНА, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;
А.И. РОВЕНСКИЙ, канд. техн. наук., ст. науч. сотр. Северо-Восточного центра НАН Украины;
Г.К. ВОРОНОВ, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;
А.М. ГУБАРЕНКО, ст. науч. сотр. Северо-Восточного центра НАН Украины;
В.В. БОРОВАЯ, студентка НТУ «ХПИ»

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДЕТАЛЕЙ ТЕПЛООБМЕННИКОВ МУСОРОСЖИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Рассмотрены особенности утилизации твердых бытовых отходов путем применения мобильных мусоросжигательных установок и проблемы, возникающие при работе термokatалитического реактора этих установок. Показана возможность использования стеклокомпозиционных покрытий для защиты трубчатых деталей теплообменников от высокотемпературной газовой коррозии. Приведены результаты исследований по созданию защитных покрытий.

Ключевые слова: теплообменник, бытовые отходы, жаростойкое стеклокомпозиционное покрытие, тугоплавкий наполнитель, мусоросжигательная установка.

Введение. Актуальной экологической проблемой современности является утилизация и обезвреживание бытовых и промышленных отходов. Их растущее количество и нехватка средств на переработку характерны для крупных промышленных центров.

Для решения этой проблемы специалистами НПФ «Технология» Северо-Восточного научного центра НАНУ разработана технология сжигания таких отходов в передвижных мусоросжигательных установках, размещаемых на железнодорожных платформах, которые по производительности, экологическим и техническим показателям не уступают установкам зарубежного типа, а по отдельным показателям качества очистки отходящих газов – не менее чем на 99% – превосходят действующие нормативы [1, 2].

Однако вследствие агрессивного характера среды и высокой температуры в камере сжигания происходит интенсивная высокотемпературная газовая коррозия трубчатых деталей теплообменников из нелегированных сталей, что приводит к сокращению сроков эксплуатации этих установок.

© Л.Л. Брагина, А.И. Ровенский, Г.К. Воронов, А.М. Губаренко, В.В. Боровая. 2014

Использование же высоколегированных нержавеющей сталей для изготовления указанных деталей существенно повышает стоимость всей мусоросжигательной установки.

Одним из эффективных способов борьбы с коррозией сталей и сплавов при высоких температурах является использование жаростойких покрытий на основе стекол, эмалей и тугоплавких наполнителей.

Цель работы – увеличение срока службы деталей из низколегированной стали теплообменников мусоросжигательной установки с помощью защитных стеклокомпозиционных покрытий.

Это обусловило детальное рассмотрение комплекса вопросов, связанных с особенностями эксплуатации мусоросжигательных установок и возникающих при этом экологических проблем, а также анализ известных типов защитных покрытий.

Общая характеристика мусоросжигательных установок.

Твердые бытовые отходы (ТБО) являются сложной многокомпонентной смесью, включающей ценные сырьевые материалы (макулатуру, металлы, пластмассы и др.), пищевые отходы, отходы промышленных предприятий (ветошь, спецодежда, отработанные масляные и воздушные фильтры и пр.). Кроме того, они могут включать такие опасные составляющие, как тяжелые металлы, болезнетворные микроорганизмы и др.

Одним из широко применяемых способов утилизации ТБО является их сжигание с использованием различных установок, включая и мобильные. К ним относятся установки, разработанные НПФ «Технология» Северо-Восточного научного центра НАНУ. Они предназначены для обезвреживания бытовых и промышленных отходов, не пригодных к использованию лекарственных средств и т.п. Кроме обезвреживания ТБО, на этих установках возможно и уничтожение жидких нефтешламов, в т.ч. отработанных масел, нефтесборочных сорбентов и т.д. Их единичная мощность составляет от 50 до 400 кг/ч (0,25–1,5 м³/ч) [1].

Установки размещаются на железнодорожной платформе и включают камерную печь, оборудованную топливной форсункой; камеру дожигания; систему теплообменников; каталитический реактор; кассетный тканевой фильтр; систему подачи топлива и щелочного раствора; систему контроля, управления и защиты (рис. 1).

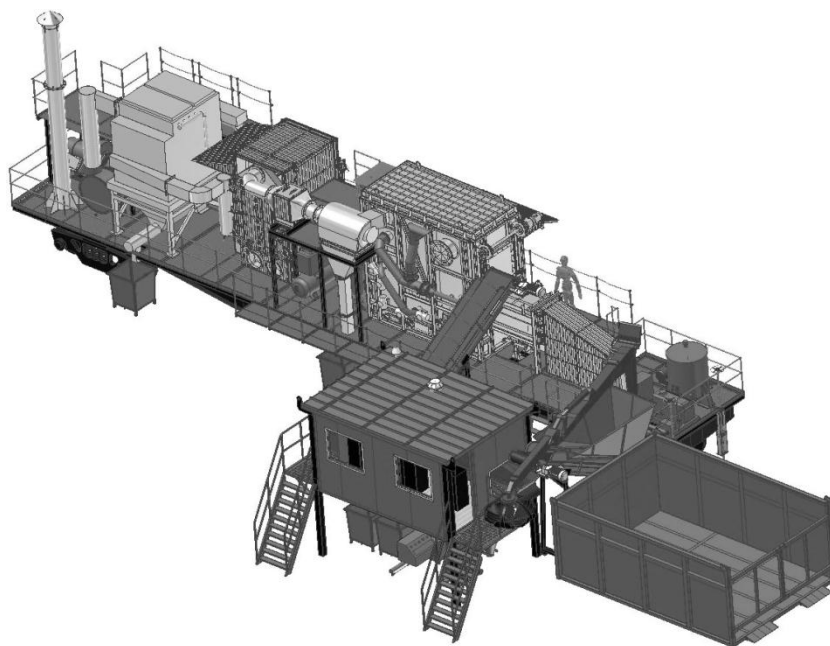


Рис.1. Общий вид установки термokatалитического обезвреживания и утилизации отходов производительностью 300 кг/час [2]

Эти установки используют технологию термokatалитического сжигания обезвреживания продуктов сжигания бытовых отходов. Ее технология заключается в следующем.

Поступившие на термokatалитическое обезвреживание отходы загружают в барабанную печь посредством загрузочного устройства. Отходы сжигают в медленно вращающемся футерованном барабане. Порционная загрузка и постоянное вращение барабана позволяют не только выжечь органическую часть отходов, но и прокалить минеральный остаток, что является необходимым и достаточным условием безопасного обезвреживания и утилизации твёрдой части отходов.

Образовавшиеся в процессе горения дымовые газы поступают в камеру дожигания и находятся там при температуре $900 \div 1200$ °C в течение $2 \div 2,5$ с, что обеспечивает разложение и сжигание тяжелых углеводородов, а также СО не менее, чем на 98 %.

После камеры дожигания дымовые газы проходят через высокотемпературный каталитический реактор I-ой ступени. Не догоревшие в камере дожигания печи трудноокисляемые органические вещества, включая бенз(а)пирен, диоксины, фураны и др., обезвреживаются на слое катализатора не менее чем на 95 %.

Затем дымовые газы проходят рекуператор, в котором нагревается наружный воздух до температуры $300 \div 350$ °С и подается дутьевым вентилятором к топливной форсунке и в камеру дожигания. Охлажденные до $450\text{--}500$ °С дымовые газы далее поступают на очистку в каталитический реактор II-ой ступени, в котором происходит их окончательная доочистка от органических веществ. Очистка продуктов сгорания от кислых неорганических соединений производится 10%-ном раствором кальцинированной соды, впрыскиваемым в камеру после каталитического реактора II-ой ступени. Дымовые газы, охлажденные до $110\text{--}120$ °С в экономайзере, подаются на очистку от взвешенных веществ на рукавный фильтр воздухом от компрессора. КПД фильтра составляет $99,4\div 99,5$ %. Для улавливания тяжелых металлов, паров ртути, кадмия, кобальта и др. установлен углетканевый фильтр с эффективностью поглощения до 98 %.

Высокие температуры дымовых газов в сочетании с агрессивностью среды приводят к коррозионному разрушению стальных труб теплообменников, в которых находится охлаждающий воздух, и кассет катализатора, даже в случае использования для их изготовления среднелегированных сталей типа 12X18H10T (рис.2).



Рис.2. Коррозия а – рекуператора, б – кассеты катализатора из стали 12X18H10T

Обеспечение надежной антикоррозионной защиты трубчатых деталей теплообменников, в частности из низколегированных и нелегированных марок сталей, позволит существенно продлить срок службы и удешевить рассматриваемые мобильные установки.

Подобная защита успешно реализуется в случае применения температуроустойчивых химически стойких стеклоэмалевых и стеклокомпозиционных покрытий, применяемых при производстве крупногабаритной

стальной химической аппаратуры, труб, деталей теплообменников и др. [3 – 5].

Здесь также следует упомянуть о недавно возникшей проблеме защиты от коррозионного воздействия продуктов сгорания биомассы (древесины, соломы, натуральных удобрений) на стенки металлических фильтров в связи с получением биотоплива. Эти продукты содержат пыль, органические и неорганические высококоррозионные компоненты: SO_2 и HCl , которые в короткий срок разрушают стальные фильтры (рис.3).

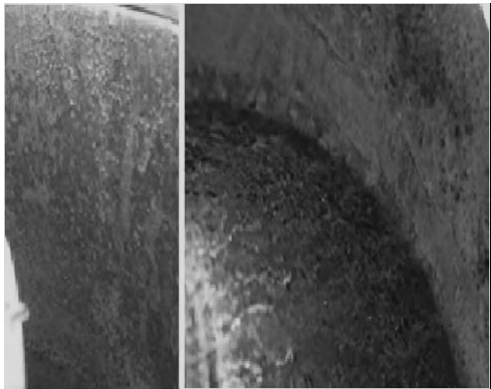


Рис.3. Коррозионное воздействие продуктов сгорания биомассы на стенки стального фильтра установки для сжигания биотоплива

Как показали исследования специалистов фирмы Wendel-Email (Германия) [6], применение химически стойких температуроустойчивых стеклоэмалевых покрытий позволяет существенно продлить срок службы фильтров из низколегированных сталей.

С учетом накопленного опыта в области указанных покрытий в данной работе были выполнены исследования, направленные на изучение возможности защиты стальных трубчатых деталей теплообменников мобильной мусоросжигательной термokatалитической установки путем применения химически стойких жаростойких стеклокомпозиционных покрытий.

Экспериментальная часть. Поскольку стальные трубы работают в агрессивной среде, покрытия для их защиты должны быть химически стойкими и температуроустойчивыми. Поэтому в качестве таких покрытий были выбраны стеклокомпозиционные составы на основе эмалевой фритты-стекломатрицы и тугоплавких наполнителей.

В качестве стекломатрицы была использована щелочборосиликатная химически стойкая эмаль У0. В качестве наполнителей были выбраны песок кварцевый и циркон ZrSiO_4 . Применение песка обусловлено его положительным влиянием на жаростойкость и интервал обжига эмалевых покрытий, а также дешевизной и доступностью. Циркон повышает термостойкость и коррозионную стойкость покрытий. Эту композицию

использовали для получения покровного слоя, в качестве грунтового слоя были выбраны химически стойкие грунты 31–32 и X–19–6 (в соотношении 70:30), используемые при производстве химической аппаратуры. Их химический состав приведен в табл. 1.

Экспериментальные эмали получали путем варки шихты из сырьевых материалов преимущественно отечественного происхождения. Шихты фритт рассчитывали с помощью программы Mathcad. Согласно пробам на нить все фритты были сварены до полной готовности, не имели непроваренных частиц и повышенного количества пузырей.

Таблица 1 – Химический состав экспериментальных эмалей и грунтов

Маркировка эмали	Содержание, мас %										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Li ₂ O	CaO	SrO	ZrO ₂	CaF ₂	Прочие
У0	68,37	–	2,04	10,2	3,06	5,1	2,04	2,55	6,63	–	–
31–32	50,0	2,0	26,8	12,2	1,3	–	1,0	–	–	3,7	MnO ₂ 0,6
X–19–6	47,57	1,98	20,81	14,37	1,98	–	1,98	–	–	6,24	5,07

Исследовали плавкость по методу К.П. Азарова и смачивающую способность фритт – по растеканию капли [5]. Из фритт, наполнителей, глинистых компонентов, электролитов и воды в качестве дисперсионной среды получали шликера методом мокрого помола, покрытия из них наносили на образцы из трубной стали 3пс, высушивали при температуре 80–100 °С и затем обжигали грунт при температуре 880 °С и покровные – при температуре 860 °С. Химическую стойкость полученных стеклокомпозиционных покрытий определяли согласно стандарту EN 14483 – 2:2004 по потерям массы после непрерывного кипячения на в течение 18 часов в 30%-м растворе H₂SO₄ с плотностью 1,217–1,220 г/мл. Для испытания применяли плоские эмалированные квадратные пластины из листовой стали со стороной квадрата (97 ± 2) мм. Каждый из образцов взвешивали с точностью до 0,0002 г, определяя их первоначальную массу.

Прочность сцепления покрытий со сталью оценивали по ГСТУ 3-17-48-98 [7]. Эффективность защитного действия покрытий оценивали термобарометрическим методом путем сравнения потерь металла в окалину для защищенных и не защищенных покрытиями стальных образцов в процессе их изотермического нагрева (Δg, кг/м²·цикл) при 800 °С в течение 4 часов [5].

Результаты и обсуждение. Сравнение кривых температурной зависимости краевого угла смачивания (θ , град) фриттами стальной подложки позволяет сделать вывод, что полное смачивание поверхности стальных пластинок достигается лишь при температуре 800–820 °С, то есть все фритты являются относительно тугоплавкими (рис.4). Полное смачивание, соответствующее $\theta = 20$ град, для фритты У0 не наблюдалось вследствие более высокотемпературного интервала ее плавкости.

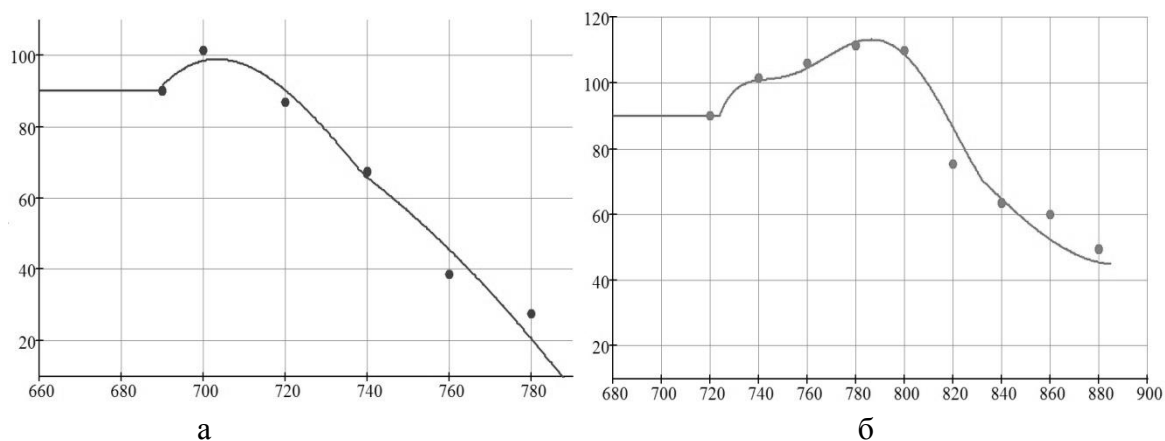


Рис. 4. Температурная зависимость смачивающей способности:
а – смеси грунтов 31–32 и X–19–6, б – У0

Как свидетельствуют данные определения химической стойкости композиционных покрытий на основе фритты У0 с тугоплавкими наполнителями: У1 (У0 + 20 м.ч. SiO₂), У2 (У0 + 40 м.ч. SiO₂), У3 (У0 + 60 м.ч. SiO₂), У4 (У0 + 20 м.ч. ZrSiO₄), У5 (У0 + 10 м.ч. ZrSiO₄ + 10 м.ч. SiO₂), все экспериментальные составы, содержащие кварцевый песок, характеризовались достаточно высокой химической стойкостью, которая возрастала при повышении его содержания до 40 массовых частей (табл. 2, рис. 5).

Таблица 2. Химическая стойкость исследуемых покрытий

Характеристика	У0	У1	У2	У3	У4	У5
Толщина покрытия, мкм	487	620	417	317	477	423
Потери массы, $\Delta m \cdot 10^3$ г/см ²	4,852	3,427	9,12	2,942	3,146	3,443

Это связано с положительным влиянием данного компонента на химическую устойчивость стекол и стеклопокрытия к реагентам первого типа, к которым относится серная кислота [5].

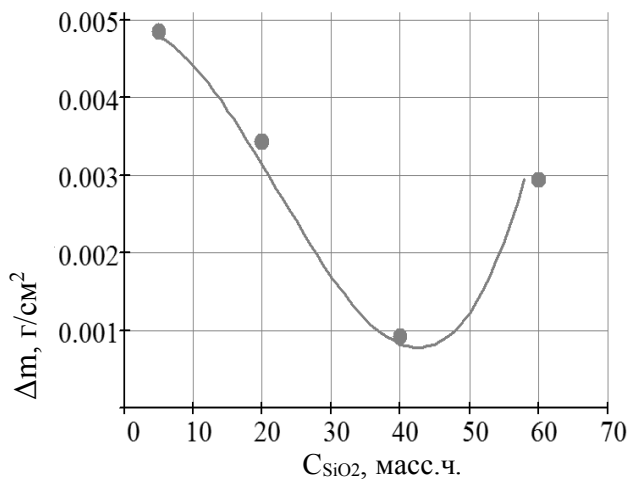


Рис. 5. Коррозионное воздействие продуктов сгорания биомассы на стенки стального фильтра установки для сжигания биотоплива

Дальнейший рост содержания кварцевого песка в покрытии приводил к появлению дефектов в нем в виде многочисленных мелких пор и вследствие этого – к ухудшению химической стойкости. Дополнительное введение в состав покрытий циркона не улучшило упомянутый показатель из-за недостаточной сплошности покрытия.

Лучшей химической стойкостью характеризовалось покрытие У2, содержащее 40 массовых частей песка.

При исследовании прочности сцепления экспериментальных покрытий были получены результаты, приведенные в табл.3.

Как следует из этих данных, наиболее высокой прочностью сцепления, соответствующей баллам 4–5 (по пятибалльной системе) [5], характеризовались стеклокомпозиционные покрытия составов У1 и У2.

Таблица 3. Прочность сцепления экспериментальных покрытий со сталью.

Марка покрытия	Прочность сцепления эмалевого покрытия со сталью, баллы
У0	2-3
У1	4-5
У2	4-5
У3	4
У4	2-3
У5	2

Результаты исследования защитного действия экспериментальных покрытий отражены на рис. 6, из которого видно, что все исследуемые

составы покрытий существенно уменьшили потери стали 3пс при изотермическом нагреве в течение 4х часов. Наиболее эффективное защитное действие было достигнуто при использовании состава У5 на базе эмали У0 + 10 м. ч. SiO₂ и 10 м.ч. ZrSiO₄: потери металла и его угар уменьшились соответственно в 2,5 и 3 раза

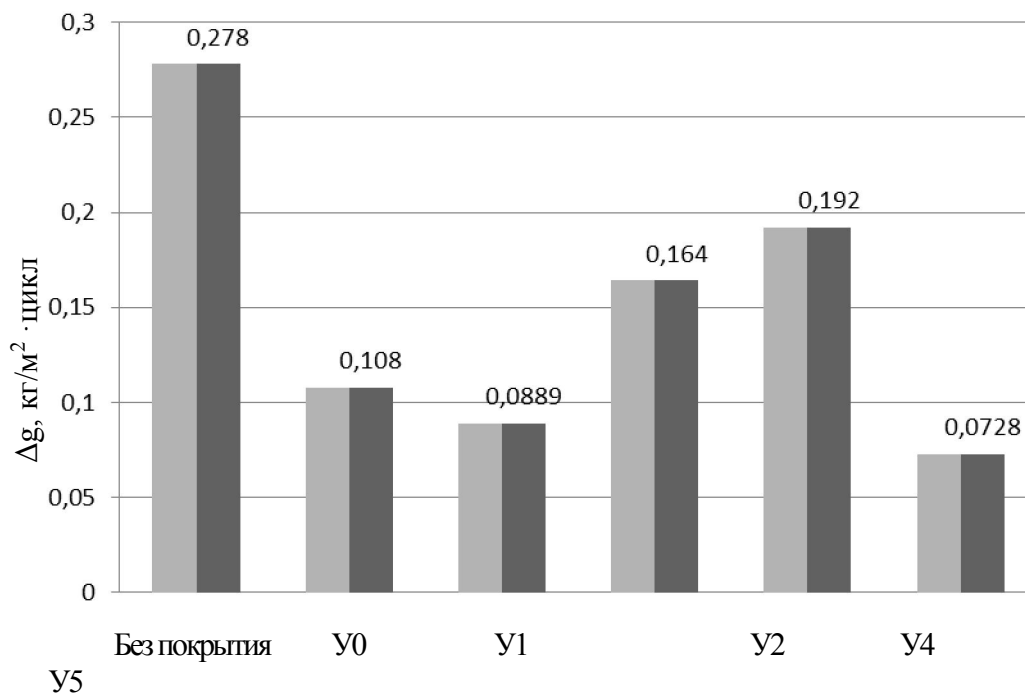


Рис. 6. Потери металла Δg , г/м²·цикл

По комплексу эксплуатационных характеристик: химической стойкости, защитного действия покрытия, а также прочности сцепления со сталью 3пс лучшим был признан состав У2 с добавлением 40 массовых частей кварцевого песка. Он был испытан в условиях работы термокаталитической установки для сжигания мусора. Установлено, что после 14 дней покрытие сохранило свою сплошность и эксплуатационные характеристики.

Выводы. Таким образом, в результате выполнения комплекса исследований получен состав стеклокомпозиционного покрытия на основе щелочборосиликатной фритты типа аппаратурных эмалей и тугоплавкого наполнителя – диоксида кремния, который характеризуется сочетанием повышенных значений кислотостойкости, защитного действия против высокотемпературного окисления трубной стали 3пс и прочности сцепления с металлом. На основании положительных результатов опытно-

промышленных опробований это покрытие может быть рекомендовано для дальнейших испытаний и промышленного внедрения.

Список литературы: 1. *Симоненко А.В.* Изучение экологических показателей функционирования передвижного мусороперерабатывающего комплекса МПК-300. / А.В. Симоненко., А.И. Ровенский, В.Е. Вель, А.М. Губаренко // Сотрудничество для решения проблемы отходов: Матер. VII Международной конференции 7-8 апреля 2010 р. – г. Харьков: ЭкоИнформ, 2010. – С. 120-122. 2. Патент на полезную модель № 88103 РФ МПК F 23 G 5/40. Передвижная мусоросжигательная установка / Остапчук В.Н., Ровенский А.И., № 2009110419 / 22; заявл. 23.03.2009; опубл. 27.10.2009, Бюл. №30. 3. *Аппен А.А.* Температуроустойчивые неорганические покрытия / *Аппен А.А.* – 2-е изд., пер. и доп. – Л.: «Химия», 1976 – 295с. 4. *Певзнер Б.З.* Об использовании температуроустойчивых электроизоляционных покрытий в электрическом аппаратостроении (ЭФА) // Температуроустойчивые покрытия – Л.: Наука, 1985 – С. 211-215 5. *Технология эмали и защитных покрытий: Учеб. Пособие / Под ред. Л.Л. Брагиной, А.П. Зубехина.* – Харьков: НТУ«ХПИ»; Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2003. – 484 с. 6. *Koch C.* Electrically Conductive Enamel / *C. Koch., E. Voss* // Lectures of 22nd International Enamellers' Congress, 3rd - 7th June 2012, Cologne. P. 41 – 52. 7. ГСТУ 3-17-49-98 Метод випробувань на удар. – К.: Мінпромполітики України, 1998.

Надійшла до редколегії 12.04.14

УДК 666.293

Композиционные покрытия для защиты деталей теплообменников мусоросжигательных установок / Брагина Л.Л., Ровенский О.И., Воронов Г.К., Губаренко А.М., Боровая В.В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 16 (1059). – С. 155 – 164. **Бібліогр.:** 7 назв.

Розглянуто особливості утилізації твердих побутових відходів шляхом застосування мобільних сміттєспалювальних установок та проблеми, що виникають при роботі термokatалітичного реактора цих установок. Показано можливість використання склокомпозиційних покриттів для захисту трубчастих деталей теплообмінників від високотемпературної газової корозії. Наведено результати досліджень щодо створення захисних покриттів.

Ключові слова: теплообмінник, побутові відходи, жаростійке склокомпозиційне покриття, тугоплавкий наповнювач, сміттєспалювальна установка.

Features of utilization of solid domestic wastes by using mobile waste-burning facilities and problems that occur during the work of thermocatalytic reactor of these facilities have been considered. Possibility of application of glass-composite coatings for protection of tubular parts of heat exchangers against high-temperature gas corrosion has been shown. Results of the research on creating protective coatings are given.

Key words: heat-exchanger, domestic wastes, heat-resistant glass-composite coating, refractory filler, waste-burning facility.

Л.Л. БРАГИНА, докт. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;
С.Н. ЯИЦКИЙ, асп. НТУ «ХПИ»;
В.В. МАШКИН, студент НТУ «ХПИ»

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ СТЕКЛА С НИЗКОЭМИССИОННЫМИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Рассмотрено применение светотеплозащитных стекол как эффективного способа теплоэнергосбережения в архитектурно-строительной сфере. Приведены результаты сравнительного анализа свойств и технологий низкоэмиссионных стекол К-стекла (Low-E) с «твердым» и Е-стекло (Double Low-E) с «мягким» покрытиями, а также особенности производства Е-стекла (Double Low-E) на ЗАО «ЛСЗ «Пролетарий».

Ключевые слова: Энергоэффективные стекла, низкоэмиссионные покрытия, Е-стекло, К-стекло, флоат-стекло, магнетронное напыление.

Введение. В последние годы значительное увеличение стоимости энергоресурсов обострило проблему теплосбережения. Эффективные способы решения этой проблемы в архитектурно-строительной сфере предусматривают снижение потерь тепла через оконные проемы, составляющих 20 – 25 % от общих теплопотерь, что позволит повысить температуру в помещениях и значительно уменьшит затраты на отопление.

Эти способы включают применение многослойных стеклопакетов, обеспечение герметичности последних для уменьшения конвективной составляющей теплопередачи и применение энергосберегающих и светозащитных стёкол с целью значительного снижения доли инфракрасного излучения, достигающей 70 % в общем балансе потерь тепла через систему освещения [1]. Последний способ признан наиболее эффективным. Светотеплозащитное стекло, изменяя спектральный состав проходящего через него света, создает более комфортное по сравнению с бесцветным стеклом освещение, обеспечивая высокую четкость восприятия предметов и не вызывая зрительного утомления. Такое стекло в значительной мере сокращает теплопоступление внутрь зданий и защищает от разрушительного воздействия ультрафиолетовых лучей [2].

© Л.Л. Брагина, С.Н. Яицкий, В.В. Машкин. 2014

Светотеплозащитные стекла широко применяются для остекления зданий, где существует проблема снижения яркости освещения, есть необходимость одностороннего просмотра в дневное время, помещений, где предъявляют особые требования к параметрам внутренней среды, для фасадной и внутренней отделки административных, общественных и жилых зданий, а также для остекления транспортных средств, мебели и др. [3].

Известны два вида таких стекол: 1 – окрашенные в массе оксидами металлов в бронзовый, серый, голубой, зеленый, лазурный и другие цвета; указанные компоненты обеспечивают поглощение солнечной тепловой радиации и снижение пропускания в видимой области спектра, за счет чего достигается требуемый эффект [4]; 2 – со специальными светотеплозащитными покрытиями, которые обеспечивают аналогичный эффект [5].

Недостатком светотеплозащитных стёкол, окрашенных в массе, является очень высокая стоимость, обусловленная использованием весьма дорогостоящих и дефицитных, особенно в Украине, красящих компонентов. Это ограничивает их применение в архитектурно-строительной сфере и определяет возрастающий объем производства стекол со специальными покрытиями.

Целью данной работы явился сравнительный анализ технологий и свойств различных типов светотеплозащитных стекол с покрытиями и рассмотрение технологических особенностей производства на ЗАО «ЛСЗ «Пролетарий» низкоэмиссионных стёкол типа Low-E с инновационными покрытиями, наносимыми магнетронным напылением.

Особенности теплообмена в помещении. Теплообмен в помещении происходит, в первую очередь, с более холодными предметами – стенами и окнами. Чем ниже их температура, тем быстрее может произойти переохлаждение. Кроме того, в воздухе всегда содержится определенное количество влаги. Наиболее благоприятной для человека является относительная влажность воздуха, равна 55 %. При более высокой влажности наступает ощущение дискомфорта. Слишком сухой воздух приводит к пересыханию слизистой оболочки горла и носа [6].

Из данных, приведенных на рис. 1, где указана также температура теплового комфорта, видно, что с повышением сопротивления теплопе-

редаче стеклопакета температура на внутренней поверхности остекления возрастает [7].

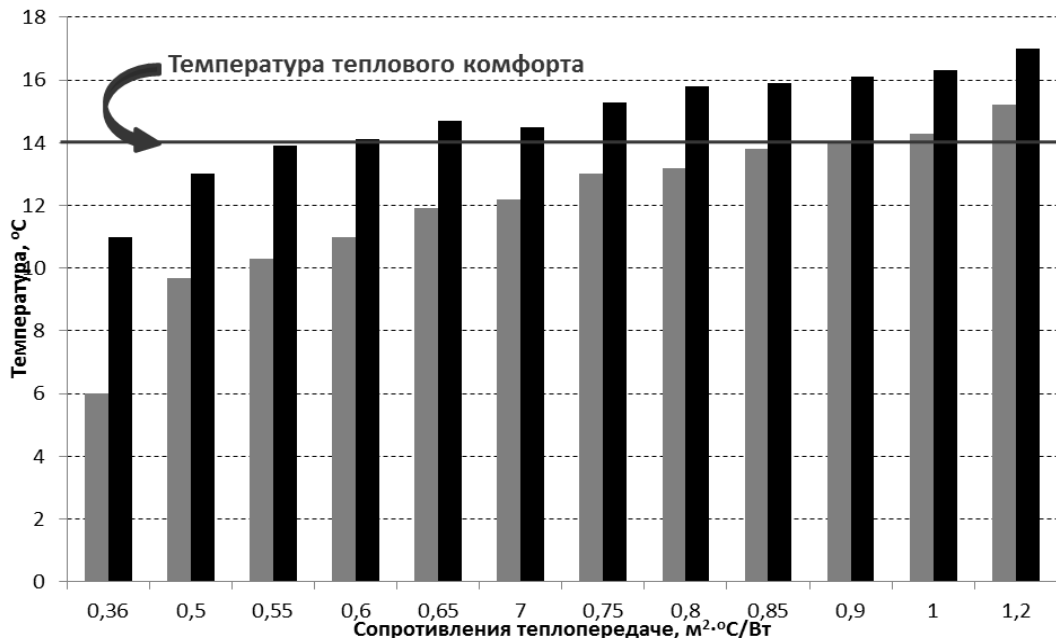


Рис. 1. Зависимость температуры в помещении от сопротивления теплопередаче стеклопакетов: ■ – температура снаружи – 20 °С; ■ – температура снаружи – 5 °С

На рис. 2 изображена зависимость относительной влажности в помещении от сопротивления теплопередаче окна и наиболее комфортная влажность в помещении.

Как следует из приведенных на обоих рисунках данных, температура теплового комфорта и наиболее комфортная влажность в помещении достигается при сопротивлении теплопередаче стекла, равном 0,55 м²·°C/Вт.

Как отмечалось выше, наиболее существенное снижение теплопотерь достигается в случае использования светотеплозащитных низкоэмиссионных стекол. Под их эмиссией, или излучательной способностью, подразумевают способность стеклянной поверхности излучать невидимые инфракрасные лучи определенной длины.

Таким образом, эмиссия поверхности определяет потери теплоты излучением.

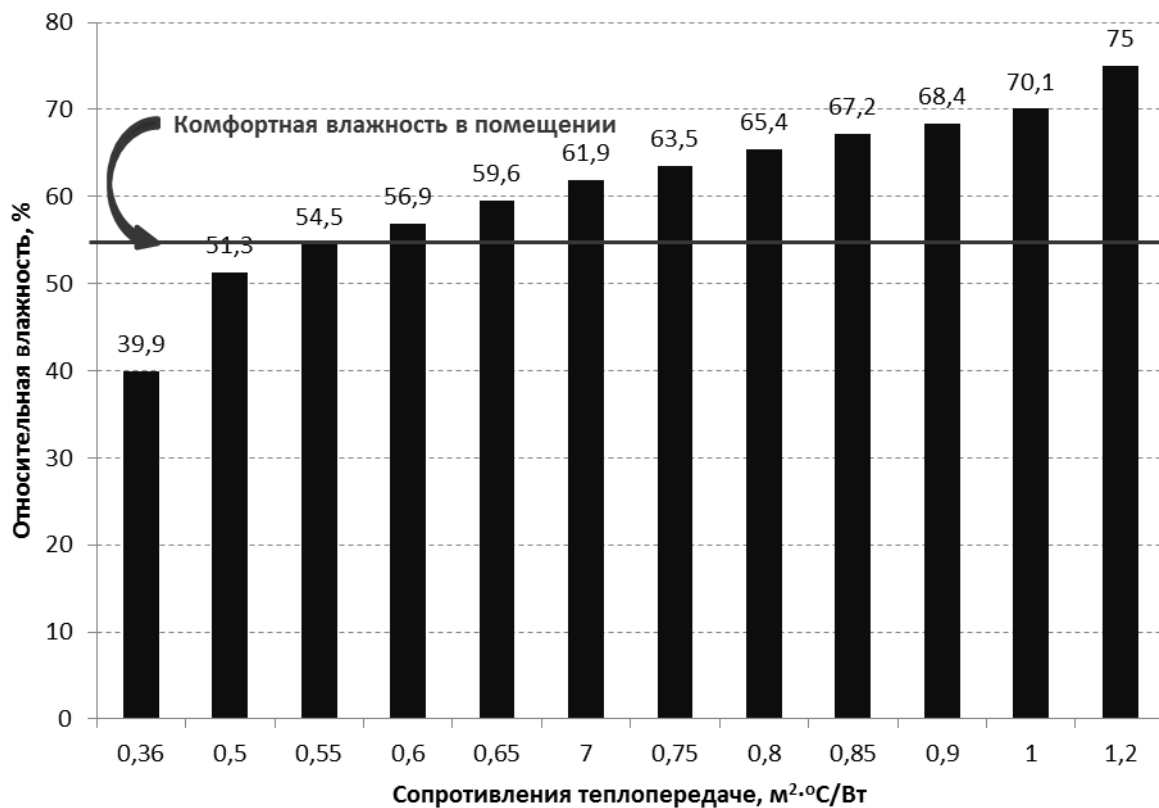


Рис.2. Зависимость относительной влажности в помещении от сопротивления теплопередаче стеклопакетов

Коэффициент эмиссии E , который равен отношению мощности излучения поверхности стекла к мощности излучения абсолютно черного тела, для обычных стекол составляет 0,83; для низкоэмиссионных он может составлять всего лишь 0,04.

Таким образом, чем меньше коэффициент эмиссии стекла, тем выше его теплосберегающие свойства.

Среди низкоэмиссионных стекол следует выделить закаленные безопасные стекла, используемые преимущественно в многоэтажных офисах и других общественных зданиях для обеспечения норм безопасности [8].

Благодаря достижениям в области составов и технологии нанесения низкоэмиссионных покрытий энергосберегающие стекла становятся все более востребованными, так как они более чем на 50 % снижают теплотери по отношению к обычному стеклу. Использование низкоэмиссионных стекол помогает сохранить энергетическую эффективность оконных конструкций, что при строительстве офисных зданий обуслов-

ливаает тенденцию к использованию крупногабаритных стекол, которые обеспечивают лучшие свойства среды при естественном освещении.

С точки зрения экономии энергии системы двойного остекления с такими стеклами более рентабельны по сравнению с традиционными окнами из-за меньшего веса и упрощенной конструкции. С последней четверти прошлого столетия такие стекла получили широкое распространение в Европе. Особенно интенсивное применение стекол с низкоэмиссионными покрытиями началось в 1995 году в Германии в связи с принятием здесь новых норм теплоизоляции, основанных на положениях энергетического баланса, которые учитывают тепло, поступающее через окно. Сегодня использование низкоэмиссионных стекол стало стандартом в большинстве европейских стран и на других континентах и получает все большее признание в Украине.

Сравнительная характеристика низкоэмиссионных стекол и технологий их получения. В настоящее время применяют два типа низкоэмиссионных стекол: так называемое К-стекло (Low-E) с «твердым» покрытием и Е-стекло (Double Low-E) с «мягким» покрытием. Различия между Е-стеклом и К-стеклом заключаются в технологии производства, значениях коэффициента излучательной способности и твердости [9].

Е-стекло (Double Low-E) с «мягким» покрытием. «Мягкое» покрытие в основном наносят методом вакуумного магнетронного напыления. При этом способе лист стекла с предварительно подготовленной поверхностью помещают в вакуумную камеру, оснащенную специальным катодом с системой подачи на него отрицательного потенциала. Вакуумная среда способствует «поджиганию» плазмы. Позитивно заряженные ионы газа плазмы притягиваются к отрицательно заряженной мишени, которая является источником металлического покрытия. Позитивные заряды, ударяясь в мишень, выбивают атомы, которые осаждаются на поверхности стекла и таким образом формируют покрытие.

Вакуумная установка для нанесения на стекло покрытия типа Low-E состоит из шести магнетронов, попарно размещенных в трех последовательно соединенных рабочих камерах. На входе и на выходе установки оснащены шлюзовыми системами, которые дают возможность поддерживать высокие значения вакуума в рабочем объеме установки. В целом линия представляет собой конвейер, по которому одновременно движет-

ся до шести поддонов со стеклом. Общая длина вакуумной установки составляет примерно 42 м. Максимальные размеры стекла – порядка $1,6 \times 2,5 \text{ м}^2$. Контролируют толщину и качество покрытия быстродействующими спектрофотометрами. Изменение толщины покрытия регулируется путем изменения скорости движения стекла во всех рабочих камерах установки. Ниже на рис. 3 представлена вакуумная установка для магнетронного нанесения покрытия [10].

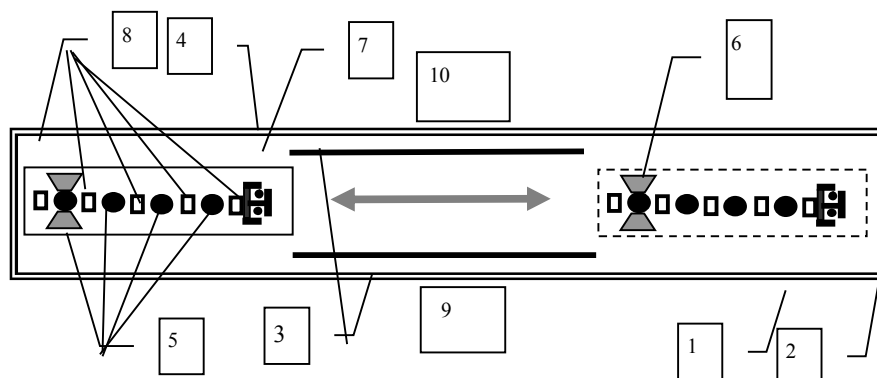


Рис. 3. Вакуумная установка для магнетронного нанесения покрытия: 1 – вакуумная камера, 2 – дверь, 3 – стекла, 4 – каретка, 5 – МРС, 6 – потоки распыленных атомов, 7 – ионный источник, 8 – аноды, 9 – источник света, 10 – оптическая система регистрации

В ряде технологий для увеличения до 50 % эффекта теплоизоляции за мишенью устанавливают магнитную систему, образующую магнитное поле, которая захватывает вторичные электроны с поверхности катода.

Стекло с «мягким» покрытием имеет высокое качество, но характеризуется ограниченным сроком хранения: оно требует аккуратного и тщательного обращения при изготовлении стеклопакетов.

K-стекло (Low-E) с «твердым» покрытием. «Твердое» покрытие в основном наносят на поверхность стекла методом пиролиза.

Пиролиз – это технологический процесс, который заключается в том, что на горячую ($500\text{--}590 \text{ }^\circ\text{C}$) ленту листового стекла во флоат-ванне или в первой зоне печи отжига непрерывно наносится вещество, которое при контакте со стеклом под действием температуры разлагается и в виде оксидов TiO_2 , SnO_2 , Fe_2O_3 , In_2O_3 , и т.д., соединяется с поверхностью стекла.

Недостатком данного процесса является то, что при пиролизе, кроме указанных оксидов, образуются также другие соединения, которые достаточно тяжело удалить. Имеются и другие трудности, связанные с необходимостью удаления образовавшегося покрытия, не равномерного по ширине ленты.

«Твердое» покрытие, полученное по способу пиролиза, является стойким по отношению к механическому и атмосферному воздействиям. Стекло с таким покрытием можно закалять, моллировать, использовать при изготовлении многослойных систем остекления.

В Украине линия по выпуску энергосберегающего Е-стекла (Double Low-E) с «мягким» покрытием впервые введена в эксплуатацию в ноябре 2008 года на ЗАО «ЛСЗ «Пролетарий» [11]. Это единственное отечественное предприятие, на котором флоат-способом производится полированное стекло толщиной 2–19 мм. Здесь же осуществляется промпереработка стекол с получением зеркал и других видов стеклоизделий и выпуск закаленных стекол.

На ЗАО «ЛСЗ «Пролетарий» производят низкоэмиссионное энергосберегающее листовое стекло «Комфорт Плюс» с многослойным покрытием, в котором пленка металлического серебра, обеспечивающая эффект энергосбережения, размещается между слоями оксидов металлов и нитрида кремния, а также солнцезащитное листовое стекло с покрытием из оксидов металлов и нитрида кремния, придающих ему солнцезащитные свойства и цвет. Послойная структура такого покрытия представлена на рис. 4.

Производство этого стекла с мягким покрытием включает следующие стадии технологического процесса:

- отбор листов стекла;
- укладка листов на горизонтальный рольганг подачи стекла;
- мойка и сушка листов;
- нанесение многослойных покрытий;
- контроль качества готовых изделий; нанесение перекладочных материалов;
- выгрузка и упаковка продукции;
- транспортировка на склад готовой продукции.



Рис. 4. Структура мягкого покрытия Е-стекла (Double Low-E):

1 – предварительно подготовленное стекло; 2 – диоксид олова SnO₂ в качестве базового слоя; 3 – серебро Ag как слой, отражающий инфракрасное излучение; 4 – NiCr_xO_y как защищающий серебро слой; 5 – диоксид олова SnO₂ как покровный слой; 6 – нитрид кремния Si₃N₄ в качестве механически стабильного защищающего слоя

Годовая производительность линии – 4054000 м² стекла с мягким покрытием, причем в ассортименте продукции 80 % энергосберегающее стекло составляет 80 %, солнцезащитное стекло – 20 %.

Энергосберегающие и солнцезащитные стекла с мягким покрытием, выпускаемые на ЗАО «ЛСЗ «Пролетарий» и получившие широкое применение при остеклении в пакетном варианте светопрозрачных конструкций зданий, сооружений, интерьеров, фасадного остекления и при производстве других изделий технического и бытового назначения, успешно конкурируют с аналогичной зарубежной продукцией.

Выводы.

Разработка и применение низкоэмиссионных светотеплосберегающих стекол является одним из актуальнейших направлений в стекольной промышленности. Сравнительный анализ свойств и технологий получения различных типов указанных стекол показал, что более простое производство имеет место в случае К-стекла (Low-E) с более прочным «твердым» покрытием, наносимым способом пиролиза, тогда как Е-стекло (Double Low-E) с многослойным «мягким» покрытием, наносимым по сложной технологии магнетронного вакуумного напыления, выпускаемое на крупнейшем

отечественном предприятии ЗАО «ЛСЗ «Пролетарий», характеризуется более высокой энергоэффективностью и широким диапазоном цветовых характеристик.

Список литературы: 1. Сравнение свойств низкоэмиссионных k-стеклол и i-стеклол // интернет-ресурс <http://zmk.name/vsyo-o-stekle/sravnienie-svoystv-nizko-missionnykh-k-steklol-i-i-steklol>. 2. Кондрашов В.И. Совершенствование нормативно-технической документации на светотеплозащитное стекло / В.И. Кондрашов, Ю.В. Зверев, В.Н. Прохода // Стекло и Бизнес – 1999. – № 3. – С.34. 3. Гуляян Ю.А. Технология стекла и стеклоизделий: – Владимир: «Транзит-Икс», 2003. – С. 217 – 221. 4. Гуляян Ю.А. Физико-химические основы технологии стекла. – Владимир: «Транзит-Икс», 2008 г. – С. 559–562. 5. *Shelby J. E.* Introduction to Glass Science and Technology. Second Edition.- Cambridge: The Royal Society of Chemistry. 2005. – 308 p. 6. Виткала Дж. Закалка низкоэмиссионного стекла. Новейшие результаты / Дж. Виткала, О. Тамгласс // Стекло и Бизнес – 2000. – № 3. – С. 7–9. 7. Казимиров Н. Н. Требования к теплозащите наружных ограждений // Стекло и Бизнес – 1999. – № 3. – С. 22. 8. Шиповская Н. Ф. Низкоэмиссионное стекло // интернет-ресурс http://www.wikipro.ru/index.php/Низкоэмиссионное_стекло. 9. Теплосберегающие низкоэмиссионные стекла // Светопрозрачные конструкции – 2003. – № 6. – С. 30. 10. Яцишин Й.М. Технологія скла у трьох частинах. Ч. III. // Й.М Яцишин, Я.І. Вахула,,Т.Б. Жеплинський., О.І. Козій О.Й Ч. III. Підручник – Львів: Видавництво «Растр-7», 2011. – С. 111 – 115. 11. Шепитько О., Анастасов А. «Пролетарию» - 100 лет. – Донецк: Изд. «Шепитько и К^О», – 2013. – С. 156-159.

Надійшла до редколегії 12.04.14

Архитектурно-строительные стекла с низкоэмиссионными энергосберегающими покрытиями / Брагина Л.Л., Яицкий С.М., Машкин В.В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 16 (1059). – С. 165 – 173. Бібліогр.: 11 назв.

Розглянуто застосування світлотеплозахисних стекол як ефективного засобу теплоенергозбереження в архітектурно-будівельній сфері. Наведені результати порівняльного аналізу властивостей та технологій низькоемісійних стекол К-скло (Low-E) з «твердим» і Є-скло (Double Low-E) з «м'яким» покриттями, а також особливості виробництва Е-скла (Double Low-E) на ЗАТ «ЛСЗ «Пролетарий».

Ключові слова: Енергоефективні стекла, низькоемісійні покриття, Є-скло, К-скло, флоат-скло, магнетронне напилення.

The application of the light- and heat-protective glasses as an effective mean for saving of energy in architecture field is discussed. The results of comparative analysis of the properties and technologies of low-emission K-glass (Low-E) with “hard” coating and E-glass (Double Low-E) with a “soft” coating, and also features of E-glass (Double Low-E) manufacture on CJSC “LSZ Proletary” are presented.

Keywords: Energy-efficient glass, low emissivity coating, E-glass, K-glass, float glass, magnetron sputtering.

Г.И. МИРОНОВА, аспирант, НТУ «ХПИ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОСТОЙКОСТИ СТЕКЛОФРИТТ И ЗАЩИТНЫХ СТЕКЛОЭМАЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ БАКОВ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

В работе рассмотрены проблемы разработки водостойких стеклоэмалевых покрытий для защиты внутренних стальных баков нагревательной аппаратуры. В ограниченной значимости критериальных свойств области, выбранной щелочесборалюмосиликатной системы, синтезирована серия модельных стекол – основы химически- и водостойких монофриттных стеклоэмалевых покрытий. Проведены эксперименты по определению водостойкости стеклофритт и химической стойкости стеклоэмалевых покрытий. По комплексу физико-химических и эксплуатационных свойств установлен оптимальный состав модельного стекла – основы.

Ключевые слова: водостойкость, химическая стойкость, стеклоэмаль, фритта, структурные факторы.

Введение. Водостойкость в общем случае – способность материалов сохранять свои эксплуатационные свойства при длительном воздействии воды и водяного пара. В случае защитных стеклоэмалевых покрытий для водонагревательной аппаратуры водостойкость является одним из основных эксплуатационных свойств. Мерой водостойкости стеклоэмалевых покрытий является удельная потеря массы после испытаний, выраженная в $\text{г}/\text{м}^2$. Как и другие эксплуатационные характеристики защитных покрытий для водонагревательной аппаратуры, водостойкость регламентируется нормами европейского стандарта DIN 4753 «Водонагреватели и системы водяного отопления питьевой и технической воды. Защита от водной коррозии путем эмалирования», и должна составлять $\leq 8,5 \text{ г}/\text{м}^2$ после 2 циклов непрерывного кипячения образцов в течение 504 часов. Такие жесткие нормы по водостойкости покрытий предъявляются только к оборудованию, рабочая поверхность которых подвергается непрерывному воздействию водно-паровой среды в условиях переменных температур от 10 до 95 °С и давлении до 6 атмосфер.

© Г.И. Миронова. 2014

В связи со сложностью, длительностью и трудоемкостью процесса определения водостойкости покрытий, при разработке составов эмалей для водонагревателей проводят определение водостойкости стеклоэмалевых фритт зерновым методом – ГОСТ 10134.1–82 «Стекло неорганическое и стеклокристаллические материалы. Методы определения водостойкости при 98 °С».

Цель нашей работы заключалась в установлении водостойкости разрабатываемой серии экспериментальных модельных стеклофритт – основы монофриттных защитных стеклоэмалевых покрытий, а также определение химической стойкости готовых покрытий.

Экспериментальная часть.

С целью синтеза монофриттных водостойких защитных покрытий в качестве основы была выбрана щелочебороалюмосиликатная система $R_2O - RO - B_2O_3 - Al_2O_3 - SiO_2$, где $R_2O - \sum Na_2O + K_2O$; $RO - \sum CaO + BaO$ с содержанием компонентов, мол. %: $SiO_2 - 60$; $B_2O_3 - 5-35$; $Al_2O_3 - 0-30$ и суммой модификаторов $(R_2O + RO) - 5-35$ в соотношении $R_2O:RO = 2:1$. При этом принималось соотношение в группе модификаторов $K_2O:Na_2O = 1,5:1$ и $CaO:BaO = 3:1$.

В работе использовали метод симплекс-решетчатого математического моделирования экспериментальных составов на основании комплекса заданных интервалов значений критериальных свойств, обусловленных требованиями к стеклоэмалевым фриттам, порошкам и покрытиям. Были получены четыре диаграммы, в которых изолиниями ограничены области допустимых значений заданных свойств: температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) $((80-120) \text{ град}^{-1})$, температура варки $(\leq 1300 \text{ }^\circ\text{C})$, поверхностное натяжение $(280-340 \text{ мН/м})$, удельное электросопротивление $(\rho > 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м})$.

Путем наложения областей оптимальных составов четырех диаграмм была получена область составов модельных стекол с заданными свойствами.

В ограниченной области было синтезировано 8 экспериментальных составов, отличающихся содержанием стеклообразующих и модифицирующих компонентов, а, следовательно, и различными показателями структурных факторов ψ_B и f_{Si} – таблица 1.

Таблица 1. Химический состав и значения структурных факторов экспериментальных модельных стекол

Модельные стекла	Структурные факторы		Содержание оксидов, мол. %						
	ψ_B	f_{Si}	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	BaO
МС 1	0,14	0,29	60,0	13,0	12,0	6,0	4,0	3,8	1,3
МС 2	0,88	0,30	60,0	12,0	8,0	8,0	5,3	5,0	1,8
МС 3	1,63	0,32	60,0	13,0	2,0	10,0	6,7	6,3	2,1
МС 4	1,54	0,32	60,0	15,0	0	10,0	6,7	6,3	2,1
МС 5	0,93	0,30	60,0	20,0	0	8,0	5,3	5,0	1,8
МС 6	0,56	0,29	60,0	25,0	0	6,0	4,0	3,8	1,3
МС 7	0,52	0,29	60,0	15,0	8,0	6,8	4,5	4,3	1,4
МС 8	0,9	0,30	60,0	15,0	5,0	8,0	5,3	5,0	1,7

Определение водостойкости фритт модельных стекол проводили зерновым методом в соответствии с ГОСТ 10134.1–82. Сущность метода заключается в воздействии дистиллированной воды при 98 °С на измельченное стекло и определении расхода 0,01н. раствора соляной кислоты при титровании. После проведения испытаний водостойкость стекла X_A в см³·г⁻¹ вычисляли по формуле (1):

$$X_A = \left[V - \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right) \right] / m, \quad (1)$$

где V – объем 0,01 н. раствора HCl, израсходованный на титрование 25 см³ анализируемого раствора, см³;

V_1, V_2 – объемы 0,01 н. раствора HCl, израсходованные на титрование 25 см³ раствора контрольных опытов, см³;

m – масса навески измельченного стекла, г.

Окончательным результатом испытаний является среднее арифметическое результатов трех параллельных определений.

Проведение испытания состоит из следующих этапов:

1) Приготовление экспериментальных проб стекла путем его измельчения до прохождения через набор сит с размером ячеек 1,000 и 0,500 мм с последующим измельчением крупной части в ступке и просеивания проб через сито с размером ячеек 0,315 мм.

2) Отбор 3-х навесок по 2,000 г в мерные колбы вместимостью 50 см³ с добавлением дистиллированной воды до метки.

3) Погружение колб с исследуемыми пробами стекла в водяную баню при 98 °С, выдержка 60 мин.

4) Добавление дистиллированной воды, перемешивание, осаждения стекла.

5) Отбор из каждой колбы по 25 см³ прозрачного раствора в конические колбы вместимостью 100 см³, добавление 0,1 см³ раствора метилового красного и титрование 0,01 н раствором HCl до перехода окраски индикатора от желтой к красно-оранжевой. Определение окончания титрования совпадением цветовых оттенков 25 см³ буферного раствора с 0,1 см³ индикатора и титруемого раствора.

Водостойкость экспериментальных стекол оценивали по расходу 0,01 н. раствора HCl при титровании V , см³·г⁻¹.

В результате испытания водостойкости модельных стеклофритт установлено, что наилучшими показателями характеризовались составы МС 3 и МС 4, на титрование анализируемых растворов которых пошло минимальное количество 0,01-% соляной кислоты – 1,1 и 1,3 см³·г⁻¹ соответственно, что свидетельствует о более высокой стойкости к воде по сравнению с остальными образцами, а именно на 50–60%. В соответствии с ГОСТ 10134.1–82 экспериментальные составы модельных стекол МС 3 и МС 4 соответствуют III классу водостойкости, а остальные – IV классу – таблица 2.

Определение химической стойкости стеклоэмалевых покрытий. Европейским стандартом DIN 4753 предусмотрено определение водостойкости стеклоэмалевого покрытия методом кипячения в течение 2-х циклов по 504 часа. Так как этот процесс является достаточно длительным и трудоемким, то тем же стандартом предусмотрено в качестве экспресс-оценки определение кислотостойкости покрытий по методике EN ISO 28706–1/9, который предусматривает выдержку образца со стеклоэмалевым защитным покрытием в растворе 10 % лимонной кислоты в течение 1 часа при комнатной температуре. Классификация результатов после проведения испытания проводится в соответствии с ISO 2722 (ГОСТ 29021) «Эмали стекловидные и фарфоровые. Определение стойкости к лимонной кислоте при комнатной температуре», согласно которому наивысший класс химстойкости – AA – поверхность стеклопокрытия без каких-либо изменений; A – заметно слабое потускнение, но при

штриховке карандашом не обнаруживаются границы пятна; В – заметно потускнение, при штриховке карандашом есть границы пятна, стираемые сухой тканью; С – то же, но штриховка стирается мокрой тканью, и самый низкий – класс D – грубая матовость покрытия.

Образцы экспериментальных покрытий изготавливали путем нанесения порошков модельных стекол на предварительно загрунтованные стальные пластины размером 100×100 мм с последующим обжигом в лабораторной муфельной печи при температуре 840 °С в течение 4 мин.

Покрытия на основе экспериментальных стекол МС 3 и МС 4 характеризовались хорошей растекаемостью, сплошностью и гладкой глянцевой поверхностью. Экспериментальные покрытия марок МС 1 и МС 6 имели грубую шероховатую поверхность, что может объясняться интенсивной кристаллизацией α -, β -кристобалита и кварца – рисунок 1, таблица 2.

Таблица 2. Водостойкость и химстойкость экспериментальных фритт и покрытий

Модельные стекла	Расход 0,01 н. раствора HCl при титровании $V, \text{см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$	Класс водостойкости фритт ГОСТ 10134.1–82	Класс химической стойкости покрытий ISO 2722 (ГОСТ 29021)
МС 1	2,5	IV	C
МС 2	1,9	IV	A
МС 3	1,1	III	AA
МС 4	1,3	III	AA
МС 5	2,9	IV	C
МС 6	2,5	IV	C
МС 7	1,8	IV	C
МС 8	2,2	IV	B

После проведения испытаний на покрытиях наивысшим классом химической устойчивости характеризуются покрытия на основе составов МС 3 и МС 4 – класс AA.

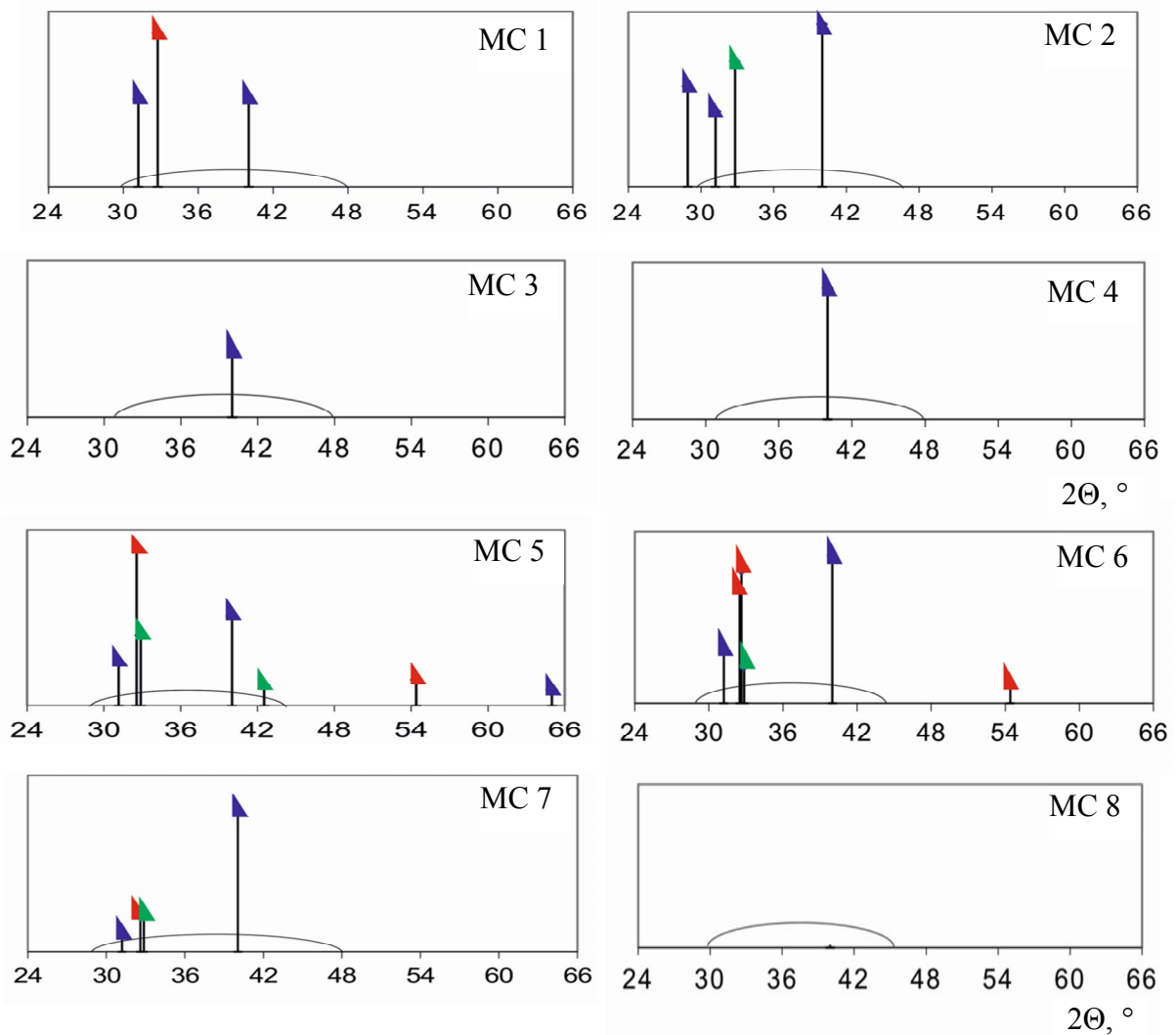


Рис. 1. Рентгенограмма серии МС : ▲ – SiO₂ кварц, ▲ – SiO₂ кристобалит низкотемпературный; ▲ – SiO₂ кристобалит высокотемпературный

Таким образом, опираясь на полученные результаты исследований, можно сделать вывод об универсальности разработанных стеклофритт, а именно их возможность противостоять как коррозионному действию воды и водяного пара, так и раствору кислоты.

Выводы. В работе синтезирована серия модельных стекол – основа химически и водостойких монофриттных стеклоэмалевых покрытий, полученная в результате ограничения значений критериальных свойств области щелочеборобороалюмосиликатной системы. Экспериментально установлена водостойкость стеклофритт и химстойкость стеклоэмалевых покрытий. Определен оптимальный состав модельного стекла – основы по комплексу физико-химических и эксплуатационных свойств.

Список литературы: 1. Технология эмали и защитных покрытий: Учеб. пособие / [Бельий Я.И., Гузий В.А., Казанов Ю.К. и др.] ; под ред. Л.Л. Брагиной, А.П. Зубехина. — Харьков: НТУ «ХПИ»; Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2003. — 484 с. 2. Quality requirements for enamelled hot water tanks (boilers) / Quality requirements of European enamel authority. 2 Edition. — Hagen: DEV, 2004. — 138 p. 3. Water heaters, water heating installations and storage water heaters for drinking water. Part 3. Requirements and testing.: DIN 4753-3-2011 [Published 11/01/2009]. — Deutsches Institut Fur Normung E.V., 2009. — 19 p. — (German National Standard) 4. Технология эмали и эмалирования металлов / [Варгин, В.В.; Антонова, Е.А.; Гупорова, Л.Л. и др.]; под ред. В.В. Варгина. — М.: Стройиздат, 1965. — 316 с. 5. Vitreous and porcelain enamels — Determination of resistance to chemical corrosion: EN ISO 28706-5:2010. [Edition: 2011-09-01]. — Geneva: Austrian Standards Institute, 2010. 6. Ходский Л.Г. Химически устойчивые стеклоэмали // Л.Г. Ходский. — Минск: Наука і тэхніка, 1991. — 111 с. 7. Стекло неорганическое и стеклокристаллические материалы. Методы определения водостойкости при 98°C: ГОСТ 10134.1 – 82. – [Действует от 01.07.83]. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1982. – 10 с. – (Госстандарт СССР)

Поступила в редколлегию 14.04.14

УДК 666.21

Определение водостойкости стеклофритт и защитных стеклоэмалевых покрытий для баков водонагревателей / Миронова Г.И. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 16 (1059). – С. 174 – 180. Бібліогр.: 7 назв.

В роботі розглянуті проблеми розробки водостійких склоемалевих покриттів для захисту внутрішніх сталевих баків нагрівальної апаратури. В обмеженій значеннями критеріальних властивостей області обраної лугоборобороалюмосилікатної системи, синтезована серія модельних стекол – основи хімічно- і водостійких монофритних склоемалевих покриттів. Проведені експерименти щодо визначення водостійкості склофрит та хімістійкості склоемалевих покриттів. За комплексом фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей встановлено оптимальний склад модельного скла – основи.

Ключові слова: Водостійкість, хімічна стійкість, склоемаль, фрита, структурні фактори.

The work discusses the problems of developing glass-enamel water resistant coatings for protection of steel tanks of domestic heating equipment. In selected region of the alkaliboroaluminosilicate system, limited by the values of criterial properties, a series of model glasses – a basis of chemically and water resistant monofrit glass-enamel coatings has been synthesized. Experiments on determination of water resistance of the glass frits and chemical resistance of the glass-enamel coatings have been conducted. The optimal composition of the basic model glass have been established by the complex of physico-chemical and performance properties.

Keywords: water resistance, chemical resistance, glass-enamels, frit, structural factors.

ЗМІСТ

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ Й НАУКОВІ РОЗРОБКИ

1. **БУХКАЛО С.І.** Удосконалювання методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів 3
2. **ГАВРИЛИЧЕНКО И.Г., ДАНИЛОВ Ю.Б.** Экспериментальные исследования теплогидродинамических процессов выпаривания при плёночном течении жидкости 12
3. **МАЛЕВАНЫЙ М.С., АБЛЕЕВ А.Г.** Кінетичні особливості екологічної безпеки технології утилізації токсичних компонентів окиснювача ракетного палива 22
4. **ІЛЬІНА К.О., ДЕНИСОВА А.Є.** Перспективи використання геотермальних ресурсів України 30
5. **БОДНАРЬ И.А., ДЕНИСОВА А.Е., БУХКАЛО С.И.** Анализ энергетической эффективности теплонасосных установок с использованием тепла грунтовых вод 36
6. **УЛЬЄВ Л.М., ГАРЄВ А.О., МИРОНОВ А.Н.** Застосування методу табличного алгоритму «Каскад» та робота з сітковою діаграмою 45
7. **УЛЬЄВ Л.М., ИЛЬЧЕНКО М.В.** Пинч-интеграция блока атмосферной перегонки нефти на установке типа АВТ 59

МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ

8. **КОЗУЛЯ Т.В., БІЛОВА М.О.** Оцінка екологічного стану регіонів України за методом компараторної ідентифікації 67
9. **ШАРОНОВА Н.В., КОЗУЛЯ М.М.** Моделювання природно-техногенних систем та комплексна екологічна оцінка якості довкілля 76
10. **УЛЬЄВ Л.М., БОЛДИРЕВ С.О., ГАРЄВ А.О., МИРОНОВ А.М.** Побудова імітаційної моделі інтегрованої схеми ХТС із застосуванням ПЗ UniSim Design 82
11. **ЄМЕЛЬЯНОВА Д.І.** Методично-інформаційне забезпечення комплексної еколого-економічної оцінки стану природно-техногенних об'єктів 89

ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ЯК ЗАДАЧІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ІННОВАЦІЙ

12. **УЛЬЄВ Л.М., КЕРЖАКОВА М.О.** Проект пинч-реконструкции действующей установки стабилизации нефти 97

13. **РУДНЕВА Л.Л., БУХКАЛО С.І.** Деякі можливості комплексної переробки рослинної сировини 105
14. **БІЛОУС О.В., ДЕМИДОВ І.М.** Вплив рослинних екстрактів на стабілізацію соняшникової олії до процесів окиснення 113
15. **ОЛЬХОВСКАЯ О.И.** Опыт организации производства, развития и эксплуатации объектов альтернативной энергетики в Швеции 118
16. **НЕВМИВАКА Д.В., ДЕМИДОВ И.Н.** Определение адсорбции моноацилглицеролов на границе раздела фаз масло – вода 127
17. **ЛЮБАВИНА О.О., МИХАЙЛЕНКО В.Г., ПИВЕНЬ О.М., АКСЬОНОВА О.Ф.** Дослідження факторів, що впливають на стійкість негазованої мінеральної води «Березівська» 134
18. **ДОБРУНОВ Д.Є., ПЕРЕВАЛОВ Л.І., ПИВЕНЬ О.Н.** Вплив попередньої обробки безлушпинного ядра соняшника на ступінь вилучення олії 140

ІННОВАЦІЙНІ ЗАХОДИ ДЛЯ ОЦІНКИ ВИРОБНИЦТВА ПОКРИТТЯ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

19. **БРАГИНА Л.Л., КУРЯКИН Н.А, СОБОЛЬ Ю.О., КАПИНОС М.Н., РЕДИНА А.А.** Особенности синтеза стеклопокрытий с легко- и самоочищающейся поверхностью 145
20. **БРАГИНА Л.Л., РОВЕНСКИЙ О.И, ВОРОНОВ Г.К., ГУБАРЕНКО А.М., БОРОВАЯ В.В.** Композиционные покрытия для защиты деталей теплообменников мусоросжигательных установок 155
21. **БРАГИНА Л.Л., ЯИЦКИЙ С.Н., МАШКИН В.В.** Архитектурно-строительные стекла с низкоэмиссионными энергосберегающими покрытиями 165
22. **МИРОНОВА Г.И.** Определение водостойкости стеклофритт и защитных стеклоэмалевых покрытий для баков водонагревателей 174

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХП»**

Збірник наукових праць

Серія
«Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів»

№ 16 (1059) 2014

Відповідальний за випуск *І. Б. Обухова*
Наукові редактори: *Л. М. Ульянов, С. І. Бухкало*
Технічний редактор *О. І. Ольховська*

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ»
Каф. Інтегрованих технологій, процесів та апаратів, тел.(057)7076304,
E-mail: bis.khr@gmail.com

Підп. до друку « » _____ 2014 р. Наклад 300 прим. 1-й з-д 1-100

Друкарня НТУ «ХПІ»
Адреса: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21
