

ІТЕ ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Щоквартальний науково-практичний журнал

1'2020

Видання засновано Харківським державним політехнічним університетом у 1998 році
(з листопада 2000 р. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»)

Держвидання
Свідчення Міністерства інформації України
КВ № 3427 від 18.08.1998 р.

Журнал включений
до переліку наукових фахових видань України
(Додаток 8 до наказу Міністерства освіти та науки України №1328 від 21.12.2015)

Журнал включений до зовнішніх інформаційних систем, у тому числі в бібліографічну базу даних OCLC WorldCat (США), індексується пошуковими системами Google Scholar і Crossref; зареєстрований у світовому каталозі періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Офіційний сайт видання: <http://ite.khpi.edu.ua>

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор

Л. Л. Товажнянський, член-кор. НАН України

Технічний редактор

К. О. Горбунов, канд. техн. наук, доц., професор НТУ "ХПІ"

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ:

О. П. Арсенєва, д-р техн. наук, професор, професор НТУ "ХПІ".
В. Є. Ведь, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ІТПА НТУ "ХПІ"
В. П. Шаповров, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ХТПЕ НТУ "ХПІ"
П. О. Некрасов, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ТЖПБ НТУ "ХПІ"
П. О. Качанов, д-р техн. наук, професор, зав.каф. АУТС НТУ "ХПІ"
Г. Л. Хавін, д-р техн. наук, професор, професор НТУ "ХПІ"
А. М. Ганжа, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ТЕТ НТУ "ХПІ"
Ю. Б. Данилов, д-р техн. наук, професор, професор НТУ "ХПІ".
О. Б. Аніпко, д-р техн. наук, професор каф. інженерно-авіаційного забезпечення, Харківський національний університет Повітряних сил ім. І.Кожедуба
В. А. Малиаренко, д-р техн. наук, професор, професор каф. СЕЕМ ХНУМГ
П. О. Капустенко, канд.техн. наук, професор, акад. Академії будівництва України
Ференс Фридлер, PhD, professor, Pázmány Péter Katolikus egyetem, Budapest, Magyarország
Шарифа Рафидан Ван Алви, PhD, professor, Малайзійський університет технологій
Девид Дж. Кукулька, PhD, професор, Державний університет Нью-Йоркського коледжу у Буффало, США
Й. Клемеш, PhD, DSc (Hon), ун-та «Паннонія» (м. Веспрем, Угорщина), та ун-та Манчестера (Великобританія)
Євген Кеніг, д-р техн. наук, професор, університет Падерборна, Німеччина
Мартін Пікон-Нуньєс, PhD, professor, Університет Гуанахуато, Мексика
Петар Варбанов, старший науковий співробітник NETME Center - SPIL, Технологічний університет Брно, Чеська республіка
Майкл Уолмслі, BE, PhD ChemEng, Університет Вайкато, Окленд, Нова Зеландія
П. Стехлік, PhD, проф., Директор Технологічного університету Брно (Чеська республіка)
Панос Сеферліс, PhD., проф., університет Арістотеля, Салоніки, Греція

EDITORIAL BOARD

The editor-in-chief

L. L. Tovazhnyansky, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, NTU "KhPI"

Technical editor

K. O. Gorbunov, PhD, Assistant Professor, professor NTU "KhPI"

THE MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

O. P. Arsenyeva, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
V. E. Ved, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
V. P. Shapovrov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
P. O. Nekrasov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
P. O. Kachanov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
G. L. Khavin, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
A. M. Hanzha, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
Yu. B. Danilov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
O. B. Anipko, Doctor of Technical Sciences, Prof., Kozhedub Kharkiv Air Force University
V. A. Malyarenko, Doctor of Technical Sciences, Prof., Kharkov National University of Municipal Economy named after O.M. Beketova
P. O. Kapustenko, PhD, professor NTU "KhPI"
Ferenc Friedler, PhD, professor, Pázmány Péter Catholic University, Budapest, Hungary
Sharifah Rafidah Wan Alwi, PhD, professor, Universiti Teknologi Malaysia,
David J. Kukulka, PhD., professor, State University of New York College at Buffalo, USA
Jiří Jaromír Klemes, PhD., professor, DSc (Hon) of the University of Pannonia (Veszprem, Hungary) and the University of Manchester (Great Britain)
Eugen Kenig, prof., dr.-ing., University of Paderborn, Germany
Martín Picón Núñez, PhD, professor, university of Guanajuato, Mexico
Petar Sabevarbanov, Senior Researcher, NETME Centre - SPIL, BRNO University of Technology, Czech Republic
Michael Walmsley, BE, PhD ChemEng, University of Waikato, New Zealand
Petr Stehlik, PhD., professor, Director of Institute BRNO University of Technology, Czech Republic
Panos Seferlis, PhD., professor, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:

61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2
Тел. 70-76-958

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Миронов А. М., Ільченко М. В.

Теплоенергетична інтеграція установки упарювання водних розчинів нітрату натрію..... 3

Биканов С. М., Бабак Т. Г., Данилов Ю. Б., Биканова В. В.

Застосування методу пінч-аналізу при проведенні теплової інтеграції процесу випарювання хлориду магнію..... 13

Горбунов К. О., Селіхов Ю. А., Коцаренко В. О., Пономаренко Г. В., Горбунова О. В.

Теплова інтеграція установки випарювання сірчаної кислоти..... 22

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Мардупенко О. О., Григоров А. Б., Сінкевич І. В.

Використання нафтового шламу у виробництві асфальтобетону..... 32

Пономаренко Г. В., Ведь В. Є., Горбунов К. О.

Розрахунок та проектування носія каталізатору нейтралізатора газових викидів сміттєспалювальної установки..... 37

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Махлай К. О., Цейтлін М. А., Райко В. Ф.

Вплив складу стічних вод птахофабрики на релевантну дозу коагулянту поліоксихлориду алюмінію..... 48

Селіхов Ю. А., Коцаренко В. О., Горбунов К. О., Россіхін В. В.

Інтеграція теплоенергетичної установки на поновлюваних джерелах енергії..... 58

Григоров А. Б.

Утилізація відпрацьованого пластичного мастила при виробництві будівельних матеріалів..... 67

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Мироненко Л. С., Тимченко В. К., Перевалов Л. І., Арутюнян Т. В.

Дослідження показників безпеки та окиснювальної стабільності сафлорової олії..... 72

Сторінка редколегії..... 82

Затверджено Вченою радою НТУ «ХПІ» (протокол № 11 від 27.12.2019 р.)

Інтегровані технології та енергозбереження / Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків : НТУ «ХПІ», 2020. – № 1. – 84 с.

Збірник наукових та науково-практичних статей з питань енергозбереження та сучасних технологій різноманітних галузей промисловості.

© Національний технічний університет «ХПІ», 2020

Наукове видання

Щоквартальний науково-практичний журнал

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

1'2020

Технічний редактор *К. О. Горбунов*

Свідоцтво Державного комітету інформаційної політики, телебачення
та радіомовлення України: Серія КВ №5212 від 18.06.2001 р.

Підп. до друку 12.12.2019 р. Формат 60 × 84 1/8. Папір офсетний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 5,2. Наклад 300 пр. 1-й з-д 1–60.
Зам. № 140. Ціна договірна.

Видавець і виготовлювач
Видавничий центр НТУ «ХПІ»,
вул. Кирпичова, 2, м. Харків-2, 61002

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

Миронов А.М., к.техн.н., Ільченко М.В., к.техн.н.

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНА ІНТЕГРАЦІЯ УСТАНОВКИ УПАРЮВАННЯ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ НІТРАТУ НАТРІЮ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ключові слова: інтеграція процесів, пінч-аналіз, рекуперація, складові криві, сіткова діаграма, випарна установка, нітрат натрію.

Початок ХХІ-го сторіччя поставив перед промисловістю низку складних питань щодо підвищення енергетичної ефективності виробничих процесів. Двадцять років, що минули, стали періодом докорінного переосмислення підходів до традиційних технологій й зміни уявлення про вичерпність звичних енергоресурсів та дали потужний поштовх до пошуку шляхів раціоналізації темпів використання останніх. Інженери усього світу звертають увагу суспільства на те, що людство надзвичайно близько підходить до межі вичерпання природних ресурсів: насамперед, ключових енергоносіїв – нафти та природного газу. Для вітчизняної промисловості наявні тенденції ускладнюються недостатньою забезпеченістю власними ресурсами у необхідних підприємствах об'ємах та надзвичайно марнотратним підходом до господарювання у виробничій сфері. Залежність української економіки від імпорту паливно-енергетичних ресурсів з-за кордону диктує необхідність вдосконалення теплообмінних мереж сучасними способами [1, 2].

Якісна перебудова економіки у цілому та на конкретних підприємствах зокрема полягає у відмові від морально та технічно застарілого обладнання, а також у підвищенні енергоефективності окремих процесів. Політика енергозаощадження та оптимізації виробничих циклів перш за все повинна торкнутися хімічної, харчової та переробної галузей. Потенціал подібних заходів полягає у реконструкції підприємств, впровадженні нових технологій та устаткування, а також у застосуванні інтеграції процесів як інструменту зменшення питомої частки зовнішніх енергоносіїв у собівартості кінцевої продукції [3].

Процеси випарювання належать до низки базових у хімічній та харчовій промисловості. Це означає, що їхня енергетична ефективність є одним з пріоритетів для економіки. Оскільки випарні апарати здійснюють видалення вологи з речовин у постійно діючих апаратах великої продуктивності, ці процеси вимагають суттєвих енерговитрат, пов'язаних з технологічно необхідним підігрівом та випаровуванням величезних мас. Незважаючи на те, що у відомих випарних установках багатокорпусної конструкції вже присутня певна ступінь рекуперації, технологію усе ще можливо піддати модернізації. Галузеві експерти давно говорять про те, що незатребуваними технологічним залишками можна користуватися як теплоносіями у побічних процесах, а теплоту продуктового сконцентрованого розчину, який зазвичай охолоджується, цілком можливо використати для інших цілей на виробництві [3, 4].

З середини 70-х років минулого сторіччя науковцям та промисловцям стає відомою інтеграції процесів. Серед низки подібних методів доволі швидко встиг особливо виділитися метод пінч-аналізу. Він дозволяє реконструювати існуючі та проектувати нові підприємства з оптимальними параметрами енергоспоживання та без втручання до власне виробничої складової. Синтез маловідходних та енергоощадних хіміко-технологічних систем зведений до зрозумілого алгоритму, який ще на початку обрахунків встановлює енергетичні цілі, а наприкінці дозволяє обирати з декількох альтернативних варіантів один, що якнайкраще співпадає з критеріями оптимальності для конкретної задачі. Важливою вимогою для масового застосування методу була його безумовність – незалежність від конкретного хімічного процесу, попереднього стану виробництва, а також знань проектувальника щодо особливостей технології виробництва [5–7].

Метою даної роботи є вдосконалення рекуперативного теплообміну на установці випарювання водних розчинів нітрату натрію шляхом використання прийомів пінч-аналізу, а також зменшення обсягів використання енергії зовнішніх теплоносіїв.

Задля формування уявлення про технологічний процес та наявні матеріальні потоки, необхідно вивчити технологічний регламент виробництва. Принципова схема трьохкорпусної прямотечійної випарної установки упарювання водних розчинів NaNO_3 , яка складається з випарних апаратів з природною циркуляцією (зі співвісною камерою) та кипінням розчину у трубах зображена на рис. 1.

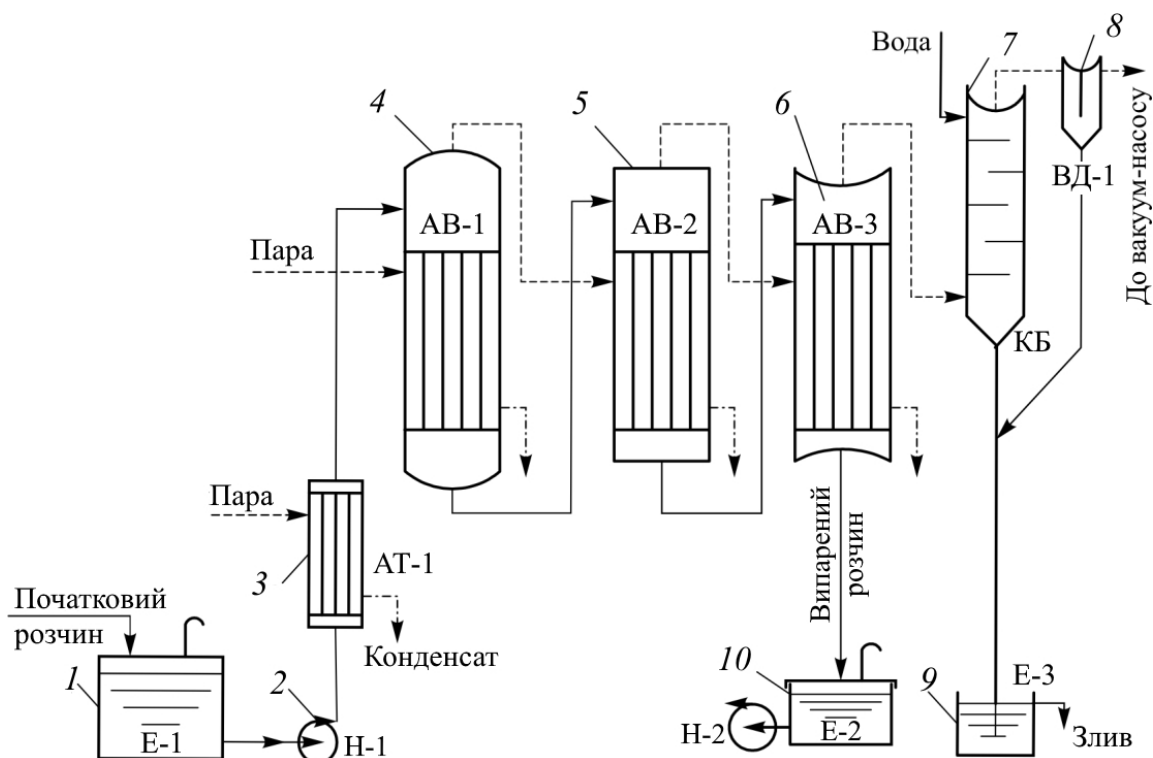


Рисунок 1 – Принципова схема установки упарювання водних розчинів нітрату натрію

- 1 – ємність початкового розчину Е-1; 2 – нагнітаючий насос Н-2;
- 3 – підігрівач початкового розчину АТ-1; 4–6 – випарні апарати АВ-1–АВ-3;
- 7 – барометричний конденсатор КБ; 8 – вологовідділювач ВД-1;
- 9 – барометричний стакан Е-3; 10 – збірник упареного розчину Е-2

Процес упарювання відбувається наступним чином. Початковий водний розчин NaNO_3 з початковою температурою 20°C з ємності Е-1 нагнітається насосом Н-1 до трубного простору підігрівача розчину АТ-1. Тут розчин нагрівається водяною парою до температури кипіння ($T=155^\circ\text{C}$) та направляється до першого корпусу АВ-1 випарної установки. У трубному просторі нижньої частини апарату розчин приймає тепло гріючої пари, що надходить в міжтрубний простір. Процес упарювання відбувається у киплячому за температури 141°C розчині, який піднімається у трубному просторі за рахунок енергії піднімаючих парів. Новоутворена суміш вторинних парів, інертних газів і розчину нітрату натрію піднімається у верхню частину випарного апарату, де пари звільняються від рідини та надходять у міжтрубний простір другого корпусу АВ-2 випарної установки у якості гріючої пари. Рідка фаза самопливом зливається по зовнішній трубі у нижню частину випарного апарату. Після досягнення концентрації нітрату натрію у циркулюючому розчині 4 % (контролюється за температурою кипіння $T=141^\circ\text{C}$), він самопливом перетікає з верхньої частини АВ-1 у трубний простір АВ-2.

У трубному просторі нижньої частини апарату АВ-2 розчин приймає тепло вторинної пари від першого корпусу, процес упарювання відбувається у киплячому за температури $109\text{--}141^\circ\text{C}$ розчині, аналогічно процесу, що відбувається у першому корпусі. Вторинна пара з другого корпусу надходить у міжтрубний простір третього корпусу АВ-3 випарної установки у якості гріючої пари. Після досягнення концентрації NaNO_3 у циркулюючому у другому корпусі розчині 6,4 % (контролюється за температурою кипіння $T=109^\circ\text{C}$), він самопливом перетікає з верхньої частини АВ-2 у трубний простір АВ-3.

У трубному просторі нижньої частини апарату АВ-3 розчин приймає тепло вторинної пари від другого корпусу, процес упарювання відбувається у киплячому за температури $71,4\text{--}109^\circ\text{C}$ розчині, аналогічно процесу, що відбувається у першому та другому корпусах, але на відміну від двох перших корпусів, розчин у третьому корпусі кипить під тиском нижче атмосферного. Вакуум у третьому корпусі створюється вакуум-насосом. Вода для всмоктування вакуум-насосом відділяється від інертних газів з установки у вологовідділювачі ВД-1. Після досягнення концентрації нітрату натрію у циркулюючому у третьому корпусі розчині 18 % (контролюється за температурою кипіння $T=71,4^\circ\text{C}$), він самопливом перетікає з верхньої частини АВ-3 до збірника готового розчину Е-2, звідки перекачується насосом Н-2 на подальшу переробку або упаковку за температури не вище 32°C .

Вторинна пара корпусу АВ-3 надходить до барометричного конденсатору КБ, де спочатку конденсується, а потім охолоджується за рахунок теплообміну з охолоджувальною водою до температури 25°C . Вода надходить зі свердловини з початковою температурою 7°C . Конденсат, що утворився, виводиться до каналізації через барометричний стакан Е-3. Температура води на виході з КБ становить 57°C .

Утворені після теплообмінників АТ-1, АВ-1, АВ-2 та АВ-3 конденсати гріючих пар з температурами 20°C , $52,6^\circ\text{C}$, $47,8^\circ\text{C}$ та 31°C , відповідно, через охолоджувачі відводяться у виробничу лінію конденсату через конденсатовідвідники.

Спираючись на дані, екстраговані з опису технологічної схеми, а також низку теплофізичних характеристик потоків, складено таблицю потокових даних, де вказано початкову T_S та цільову T_T температури потоків, їхні масові витрати G , теплоємності

речовин c , питому теплоту конденсації r (для потоку зі зміною фази), потокові теплоємності CP та зміни ентальпій ΔH – таблиця 1.

Таблиця 1 – Потокові дані установки

№	Найменування потоку	Тип	T_s , °C	T_T , °C	G , кг/с	c , кДж/кг·К	r , кДж/кг	CP , кВт/°C	ΔH , кВт
1	Конденсат 1 корп.	гар.	169,6	52,6	3,20	4,19	–	13,41	1568,74
2	Конденсат 2 корп.	гар.	153,8	47,8	2,70	3,993	–	10,78	1142,80
3	Конденсат 3 корп.	гар.	107	31	1,90	3,894	–	7,40	562,29
4а	Вторинна пара 3 корп. (конд.)	гар.	60,7	60,7	2,07	–	2178,15	–	4508,77
4б	Вторинна пара 3 корп. (охол.)	гар.	60,7	25	2,07	3,454	–	7,15	255,25
5	Упарений розчин	гар.	71,4	32	1,11	3,105	–	3,45	135,79
6	Початковий розчин	хол.	20	155	7,78	4,033	–	31,38	4235,86
7	Вода в КБ	хол.	7	57	22,74	4,19	–	95,28	4764,03

Сукупна зміна ентальпій за гарячими потоками становить 8173,64 кВт, а за холодними потоками – 8999,89 кВт. Величина рекуперації, яка наразі існує у теплообмінній мережі, складає 4764,02 кВт. Інформації, наведеної у таблиці 1, достатньо для початку розрахунків з пінч-інтеграції теплообмінної мережі установки упарювання водних розчинів NaNO_3 [8, 9].

Спочатку зобразимо наявну рекуперацію за допомогою інструменту складових кривих – рис. 2.

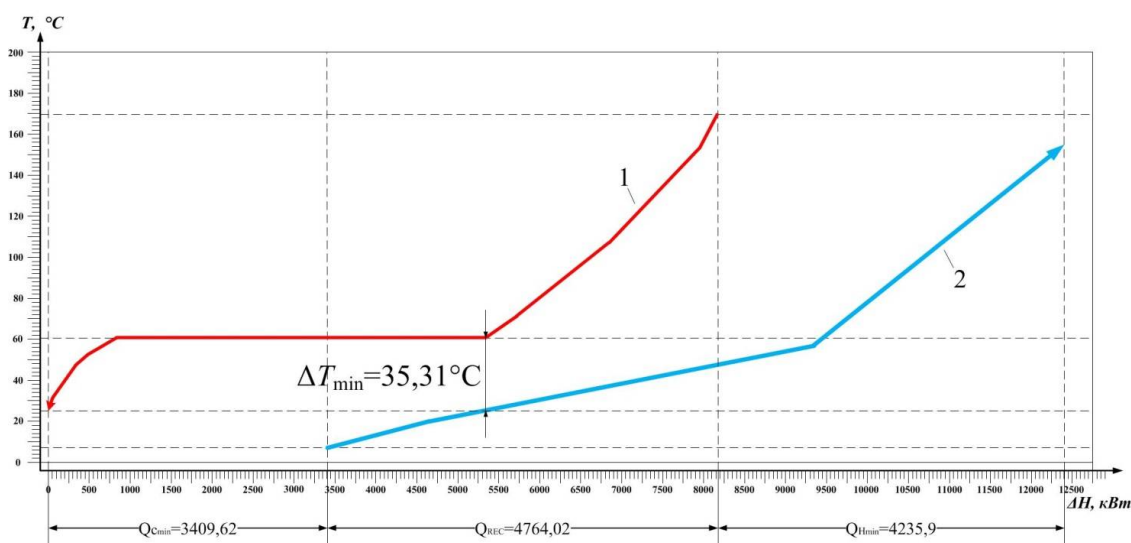


Рисунок 2 – Спільне зображення гарячої та холодної складових кривих для існуючого процесу
1 – гаряча складова крива; 2 – холодна складова крива

З рисунку 2 видно, що у процесі присутня енергія холодних утиліт Q_C величиною 3409,62 кВт та енергія гарячих утиліт Q_H , яка становить 4232,9 кВт. При цьому мінімальна різниця температур $\Delta T_{\min}$ у області пінчу складає 35,31 °С.

Очевидно, що вказане значення $\Delta T_{\min}$ є далеким від оптимального: у системі наявний потенціал енергозбереження, задіяння якого потягне за собою збільшення рекуперації та зменшення енергії сторонніх теплоносіїв. Щоб досягти потрібних цільових енергетичних значень, слід зменшити $\Delta T_{\min}$ та змінити структуру системи теплообміну установки випарювання [10, 11].

Нове значення мінімальної різниці температур $\Delta T_{\min} = 10$ °С визначене за допомогою програмного забезпечення «PINCH» [12]. Для цієї нової величини складові криві процесу матимуть вигляд як на рис. 3.

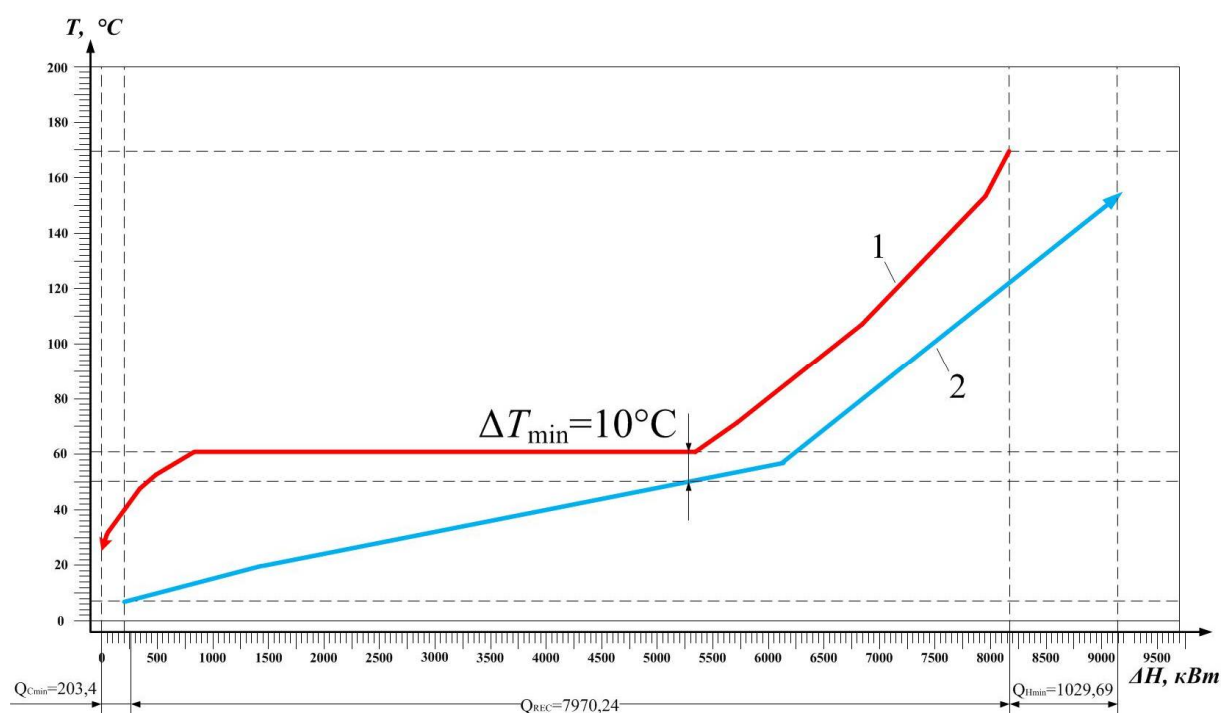


Рисунок 3 – Спільне зображення гарячої та холодної складових кривих для $\Delta T_{\min} = 10$ °С
1 – гаряча складова крива; 2 – холодна складова крива; $Q_{C\min}$ та $Q_{H\min}$ – споживання потужності гарячих утиліт та холодних утиліт, відповідно

Рисунок 3 демонструє збільшення потужності рекуперації Q_{rec} до 7970,24 кВт, а також зменшення утиліт $Q_{C\min}$ та $Q_{H\min}$ до 203,4 кВт та 1029,69 кВт, відповідно. Пінч при цьому локалізується на температурах 60,7 °С та 50,7 °С.

Наявна інформація дозволяє починати розміщення рекуперативних та утилітних теплообмінників на сітковій діаграмі. Дотримуючись усіх принципів пінч-аналізу, виконуючи необхідні розщеплення потоків за N - та CP -правилами та виключаючи переніс теплової енергії через лінію пінча [5, 6, 13] було побудовано сіткову діаграму інтегрованого процесу – рис. 4. На ній схематично зображена вдосконалена система теплообмінників, у тому числі дев'ять рекуперативних та чотири утилітних (2 нагрівача та 2 охолоджувача).

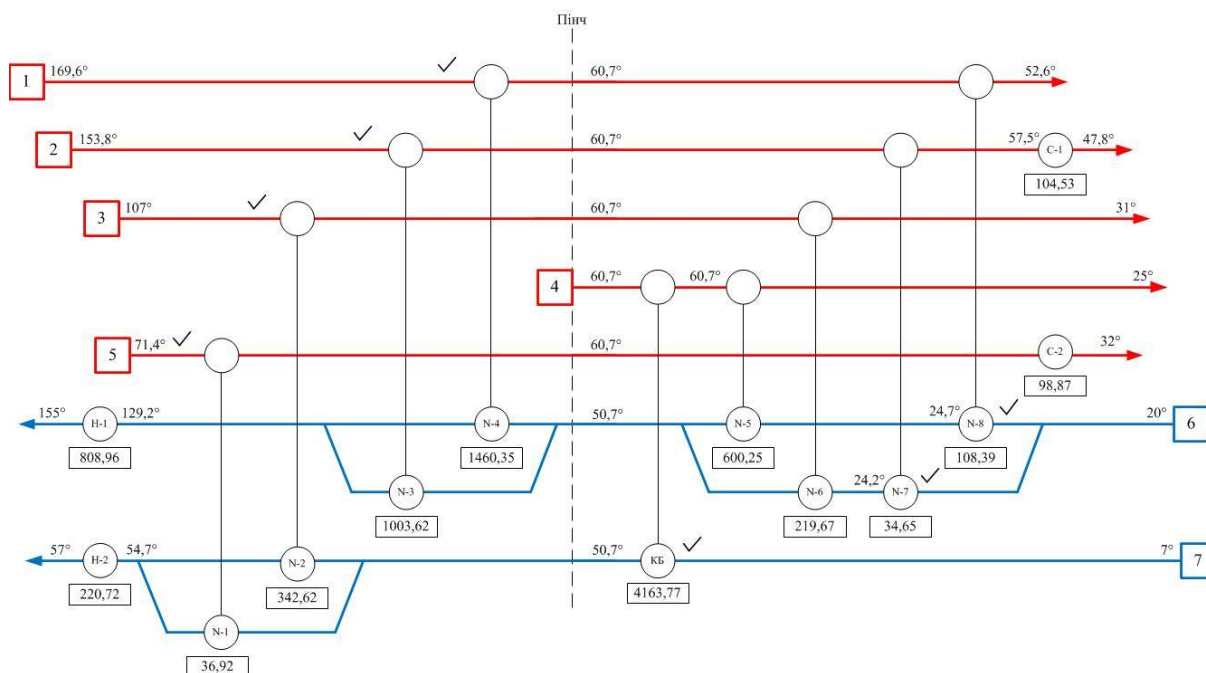


Рисунок 4 – Сіткова діаграма інтегрованого процесу
1–5 – гарячі потоки; 6 – 7 – холодні потоки; N-1–N-8 – теплообмінники;
H-1–H-2 – нагрівачі; C-1–C-2 – охолоджувачі

Порівняти енергетичні характеристики установки до та після впровадження заходів з інтеграції процесів можна за допомогою таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняння енергетичних характеристик існуючої та інтегрованої теплообмінних мереж установки випарювання водних розчинів нітрату натрію

Технологічна схема	Гарячі утиліти, кВт	Холодні утиліти, кВт	Рекуперація, кВт
Існуюча	4235,90	3409,62	4764,02
Інтегрована	1029,69	203,40	7970,24

Базуючись на результатах розрахунків, спроектовано нову принципову схему теплообмінної мережі установки випарювання водних розчинів нітрату натрію – рис. 5.

Висновки

Розглянута у роботі установка випарювання водних розчинів нітрату натрію має великий потенціал енергозбереження, що підкріплюється графічним зображенням складових кривих процесу. Застосування методів пінч-аналізу та скорочення мінімальної різниці температур процесу з 35,31 °C до 10 °C здатне забезпечити підвищення рекуперації теплової енергії у процесі на 67,5 %, а також зменшення енергії зовнішніх теплоносіїв на ту ж саму величину. Поставлені цілі досягаються за рахунок встановлення 8 нових рекуперативних теплообмінників, 4 утилітних та використання штатного баро-

метричного конденсатору системи у якості додаткового рекуперативного теплообмінного апарату.

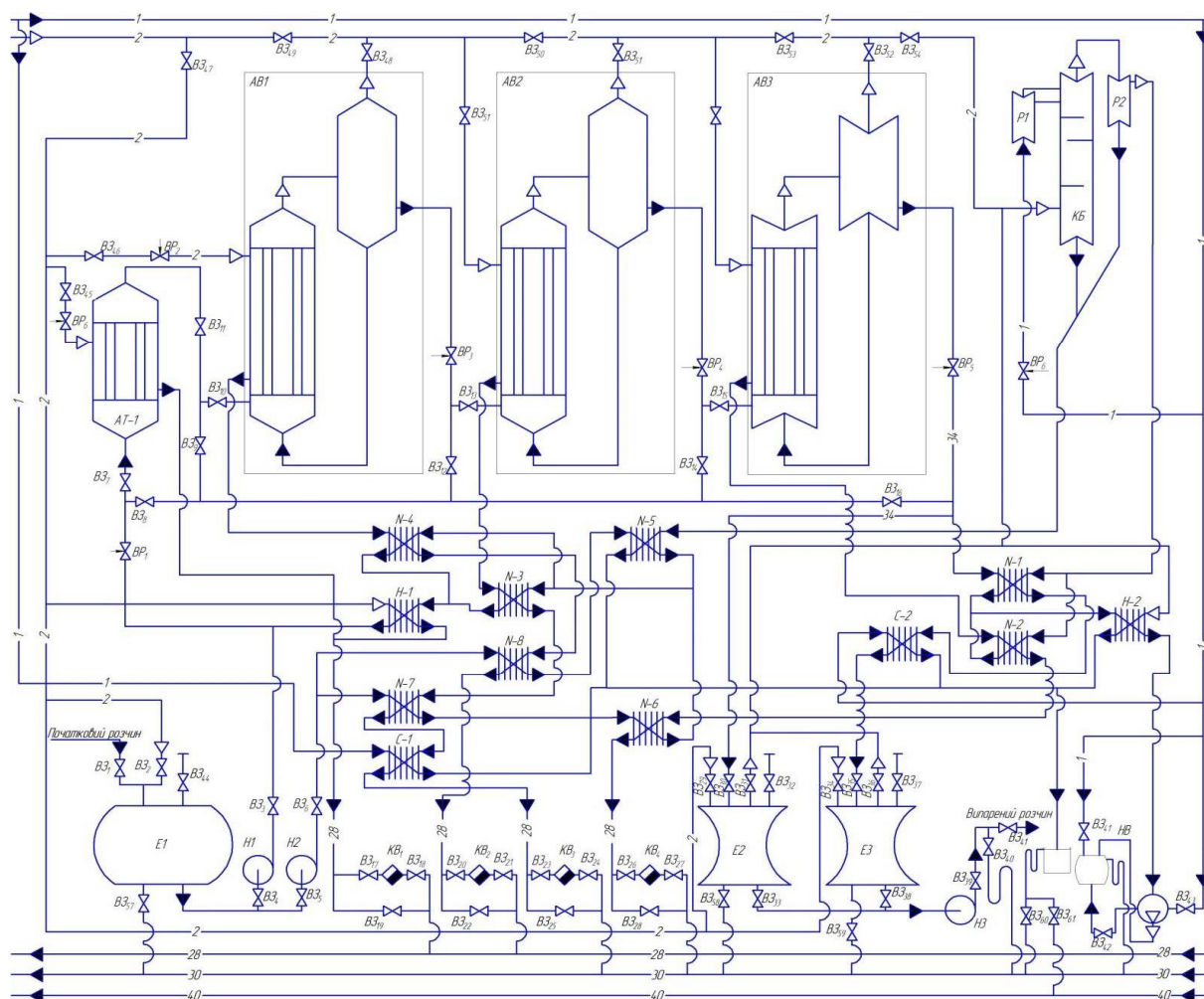


Рисунок 5 – Принципова технологічна схема проекту інтеграції системи теплообміну установки випарювання водних розчинів нітрату натрію

Література

1. Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition), International Renewable Energy Agency. – Abu Dhabi: IRENA, 2019. – 52 p.
2. Renewable Energy: A Global Review of Technologies, Policies and Markets / Edited by D. Aßmann, U. Laumanns and D. Uh – UK-US: Earthscan (Taylor & Francis), 2006. – 320 p.
3. Tovazhyanskyy L.L. Application of process integration for energy saving and pollution reduction in Ukraine / L.L. Tovazhyanskyy, P.A. Kapustenko, L.M. Uliev et al. // Budapest: PRES'99 Proceedings, ed. by F. Friedler and J. Klemes (Hungarian Chemical Society) – 1999. – PP. 659–664.
4. Morgan S. Use process integration to improve process designs and the design process / S. Morgan // Chemical engineering progress – 1992. – № 9. – P. 62–68.

5. Linnhoff B. Synthesis of heat exchanger networks: Part I. Systematic generation of energy optimal networks / B. Linnhoff, J. R. Flower // American Institute of Chemical Engineers Journal (AIChE Journal), 1978. – № 24 (4). – PP. 633–642.
6. Linnhoff B. Synthesis of heat exchanger networks: Part II: Evolutionary generation of networks with various criteria of optimality / B. Linnhoff B., J. R. Flower // American Institute of Chemical Engineers Journal (AIChE Journal), 1978. – № 24 (4). – PP. 642–654.
7. Rodera N. A methodology for improving heat exchanger network operation / N. Rodera, D. L. Westphalen, H. K. Shethna // Applied thermal engineering – 2003. – № 23. – PP. 1729–1741.
8. Gundersen T. The synthesis of cost optimal heat exchanger networks. An industrial review of the state of the art / T. Gundersen, L. Naess // Computer & Chemical Engineering – 1988. – № 12(6). – PP. 503–530.
9. Kapustenko P.O. Integration processes of benzene-toluene-xylene fraction, hydrogenation, hydrodesulphurization and hydrothermoprocessing on installation of benzene unit / P.O. Kapustenko, L.M. Ulyev, M.V. Ilchenko, O.P. Arsenyeva // Chemical Engineering Transactions – 2015. – Vol. 45. – PP. 235–240.
10. Moodley A. Development of a unified mass and heat integration framework for sustainable design. An automated approach / A. Moodley, T. Majozi // Chemical Engineering Transactions – 2005. – № 7. – PP. 465–470.
11. Taal M. Cost estimation and energy price forecasts for economic evaluation of retrofit projects / M. Taal, I. Bulatov, J. Klemes et al. // Applied Thermal Engineering – 2003. – № 23. – PP. 1819–1835.
12. PINCH Software, version 2.02. CESIT, NTU “KhPI”, Ukraine, Kharkiv: NTU “KhPI”, 2002. Available at: <http://www.sodr-t.kharkiv.com> (accessed 06.01.2020).
13. Klemes J. Total Sites integrating renewables with extended heat transfer and recovery / J. Klemes, P. Varbanov // Heat Transfer Engineering – 2010. – № 31(9). – PP. 733–741.

УДК 66.045.12

Миронов А.М., Ільченко М.В.

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНА ІНТЕГРАЦІЯ УСТАНОВКИ УПАРЮВАННЯ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ НІТРАТУ НАТРІЮ

Роботу присвячено вивченню можливості модернізації теплообмінної мережі установки упарювання водних розчинів нітрату натрію шляхом використання засобів інтеграції процесів. Мета роботи полягає у збільшенні величини рекуперації теплової енергії у хіміко-технологічній системі та зменшенні частки сторонніх утиліт у загальній структурі енергоспоживання підприємства, що розглядається. Поставлені задачі досягаються за рахунок застосування проектувальних та розрахункових методів пінч-аналізу як однієї з базових методологій інтеграції процесів. Найбільш важливим результатом роботи є розрахунково доведена можливість збільшення рекуперації енергії на 3,2 МВт, а також зниження потужності зовнішніх теплоносіїв на ту саму величину.

Значимість отриманих результатів полягає у тому, що синтезовані при розрахунках схеми теплообмінних мереж можуть бути використані при проектуванні або реконструкції аналогічних установок упарювання водних розчинів нітрату натрію та інших хімічно подібних речовин. Окрім того, викладені принципи можуть бути адаптовані спеціалістами різних промислових підприємств задля модернізації інших виробничих установок та суттєвого зниження витрат на функціонування хіміко-технологічних систем. У якості основного розрахункового методу в роботі використано пінч-аналіз. Доступний потенціал енергозбереження схеми оцінено за допомогою інструмента складових кривих процесу. Встановлено, що рекуперація у існуючому процесі складає приблизно 4,76 МВт, а мінімальна різниця температур у системі дорівнює 35,31 °С. За допомогою програмного забезпечення «PINCH» визначено нове оптимальне значення мінімальної різниці температур, яке становить 10 °С. Для встановленої величини побудовано сіткову діаграму процесу та принципову схему проекту інтеграції теплообмінної мережі. Запропонована схема здатна забезпечити збільшення рекуперації тепла та зменшення теплової енергії зовнішніх утиліт процесу на 67,5 %. Вказані проектні показники досягаються за рахунок використання комплексу з дев'яти рекуперативних та чотирьох утилітних теплообмінників.

Ключові слова: інтеграція процесів, пінч-аналіз, рекуперація, складові криві, сіткова діаграма, випарна установка, нітрат натрію.

Миронов А.Н., Ильченко М.В.

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ УСТАНОВКИ УПАРИВАНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ НИТРАТА НАТРИЯ

Работа посвящена изучению возможности модернизации теплообменной сети установки упаривания водных растворов нитрата натрия путём использования средств интеграции процессов. Цель работы состоит в повышении величины рекуперации тепловой энергии в химико-технологической системе и снижении доли сторонних утилит в общей структуре энергопотребления рассматриваемого предприятия. Поставленные задачи достигаются за счёт применения проектных и расчётных методов пинч-анализа как одной из базовых методологий интеграции процессов. Наиболее важным результатом работы является расчётно доказанная возможность увеличения рекуперации энергии на 3,2 МВт, а также уменьшения мощности внешних теплоносителей на ту же величину. Значимость полученных результатов заключается в том, что синтезированные при расчётах схемы теплообменных сетей могут быть использованы при проектировании или реконструкции аналогичных установок упаривания водных растворов нитрата натрия и других химически подобных веществ. Кроме того, изложенные принципы могут быть адаптированы специалистами разных промышленных предприятий для модернизации других производственных установок и существенного снижения затрат на функционирование химико-технологических систем. В качестве основного расчётного метода в работе использован пинч-анализ. Доступный потенциал энергосбережения схемы оценён при помощи инструмента составных кривых процесса. Установлено, что

рекуперация в существующем процессе составляет примерно 4,76 МВт, а минимальная разница температур в системе равна 35,31 °С. При помощи программного обеспечения «PINCH» определено новое оптимальное значение минимальной разницы температур, которое составляет 10 °С. Для установленной величины построена сеточная диаграмма процесса и принципиальная схема проекта интеграции теплообменной сети. Предложенная схема способна обеспечить увеличение рекуперации тепла и уменьшение тепловой энергии внешних утилит процесса на 67,5 % от исходного значения. Указанные проектные показатели достигаются за счёт использования комплекта из девяти рекуперативных и четырёх утилитных теплообменников.

Ключевые слова: интеграция процессов, пинч-анализ, рекуперация, составные кривые, сеточная диаграмма, выпарная установка, нитрат натрия.

Myronov A.M., Ilchenko M.V.

HEAT AND ENERGY INTEGRATION OF SODIUM NITRATE AQUEOUS SOLUTIONS EVAPORATION UNIT

The work is devoted to investigation of possibility of the heat exchange network for sodium nitrate aqueous solutions evaporation unit modernization by means of process integration. The purpose of the work is to increase the amount of heat recovery in the chemical-technological system and to reduce the share of third-party utilities in the overall structure of energy consumption at the company under consideration. The tasks are achieved by design and calculation methods of pinch analysis, which is one of the basic methodologies for process integration. The most important result of the work is the calculatedly proven possibility of energy recovery increasing by 3.2 MW, as well as reducing the capacity of external heat carriers by the same amount. The significance of the obtained results lies in the fact that the heat exchanger network circuits synthesized during the calculations can be used in the design or reconstruction of similar installations of sodium nitrate aqueous solutions evaporation units or other chemically similar substances. In addition, the stated principles can be adapted by specialists of various industrial enterprises for the modernization of other production facilities and significant reduction of the cost for functioning of chemical-technological systems. Pinch analysis is used as the main method of calculation. The available energy saving potential of the circuit is estimated using the process component curves tool. It is established that the recuperation in the existing process is approximately 4.76 MW, and the minimum temperature difference in the system is 35.31 °C. With PINCH software, a new optimal value of the minimum temperature difference of 10°C has been determined. A grid diagram of the process and a concept scheme of the heat exchanger network integration project is constructed for the obtained value. The proposed scheme is capable to increase a heat recovery and reduce a thermal energy of external process utilities by 67.5 %. These design targets are achieved using a set of nine recuperative and four utility heat exchangers.

Keywords: process integration, pinch analysis, recuperation, component curves, grid diagram, evaporation unit, sodium nitrate.

Биканов С.М.¹, к.техн.н., доцент, Бабак Т.Г.¹, доцент,
Данилов Ю.Б.¹, д.техн.н., професор, Биканова В.В.², к.техн.н., наук. співроб.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПІНЧ-АНАЛІЗУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТЕПЛОВОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ ХЛОРИДУ МАГНІЮ

¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна

² ДУ «НІОХІМ», Харків, Україна

Ключові слова: тепла інтеграція, пінч-аналіз, гарячі утиліти, складені криві, рекуперативні теплообмінники, рекуперація, випарювання.

Вступ. В хімічній і харчовій промисловості широко розповсюджені процеси випарювання. Випарювання застосовують для випарювання розчинів солей (NH_4NO_3 , KNO_3 , MgCl_2 , NaCl , KCl , т.д.) та луг (NaOH , KOH , т.д.), опріснення морської води, при виробництві бішофіту. Прикладом застосування випарювання в харчовій промисловості може бути випарювання при отриманні цукру, переробці плодів і ягід [1–4]. Як відомо, випарювання речовин супроводжується великими енергетичними затратами. Щоб підтримувати процес кипіння розчину, потрібно підводити велику кількість тепла. Наприклад, при проведенні випарювання в однокорпусному випарному апараті, для випарювання 1 кг води затрати гріючого пару складають 1,1–1,25 кг/(кг води) [1]. Тому економія тепла в процесі випарювання є актуальною задачею.

Найбільш розповсюдженим і відомим засобом економії є застосування багатокорпусних випарних установок (ВУ), в яких вторинний пар попереднього корпусу є гріючим для наступного. Інший засіб це вдосконалення конструкцій самих випарних апаратів, завдяки чому збільшуються коефіцієнти теплопередачі і підвищується інтенсивність кипіння розчину, що сприяє зменшенню витрат гріючого пару. Одним із прикладів такого вдосконалення є застосування випарних апаратів з пластинчастою гріючою камерою [5,6]. Іноді у випарних апаратах застосовується тепловий насос, завдяки чому вторинний пар стискається в компресорі і направляється на нагрівання того ж випарного апарату.

Також одним із засобів економії тепла при випарюванні є проведення комплексної теплової інтеграції випарної установки (ВУ), яку можна проводити за допомогою методу пінч-аналізу [7–11]. Раніше було показано проведення такої теплової інтеграції на прикладі трьохкорпусної установки по випарюванню їдкою натрію [12]. В цій статті автори намагаються показати проведення теплової інтеграції процесу випарювання на прикладі двохкорпусній випарній установці по випарюванню хлориду магнію.

Теплова інтеграція процесу випарювання. Отже, за основу для проведення теплової інтеграції і розрахунків була взята принципова технологічна схема процесу випарювання водного розчину хлориду магнію з природною циркуляцією. Число корпусів – два. Продуктивність установки складала 7 тон/год початкового розчину MgCl_2 , початкова концентрація розчину 7 %, кінцева 33 % масс. Тиск гріючої пари у першому корпусі було прийнято 0,3 МПа, тиск в барометричному конденсаторі 0,015 МПа.

Принципову технологічну схему випарювання хлориду магнію наведено на рис. 1. Згідно цієї схеми, початковий розчин з ємкості E1 насосом подається в теплообмінник-підігрівач Н1, де він підігрівается до температури кипіння і подається на випарку в випарну установку, що складається з двох корпусів. Задача теплової інтеграції полягає в тому, щоб досягти максимальної рекуперації тепла і використати тепло конденсатів з першого і другого корпусів, упареного розчину для підігріву початкової суміші, а також

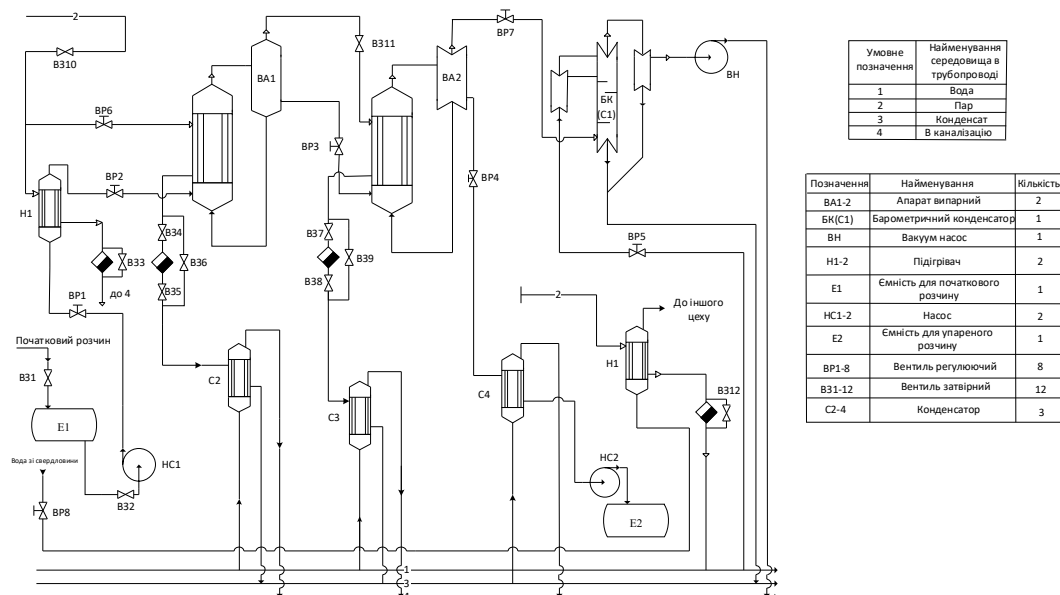


Рисунок 1 – Принципова технологічна схема процесу випарювання хлориду магнію

Таблиця 1 – Таблиця з поточковими даними для інтеграції процесу випарювання

№	Потік	Тип	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_T, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг/с}$	$C, \text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	$CP, \text{кВт/К}$	$r, \text{кДж/кг}$	$\Delta H, \text{кВт}$
1	Конденсат з 1-го корпусу	гар	129	35	0.8195	4,2	3,442	—	323,6
2	Конденсат з 2-го корпусу	гар	103	35	0,766	4,190	3,21	—	218,3
3	Вторинна пара з 1-го корпусу	гар	106	106	0.766	—	—	2264	1734
4	Вторинна пара з 2-го корпусу	гар	53	53	0.764	—	—	2370	1810,7
5	Упарений розчин	гар	83	35	0.414	3,08	1,275	—	61,2
6	Початковий розчин MgCl_2	хол	25	113	1.944	3,897	7,578	—	666,9
7	Розчин MgCl_2 в 1-му корпусі	хол	112	112	1.944	—	—	2228,8	1793
8	Розчин MgCl_2 в 2-му корпусі	хол	83	83	1.178	—	—	2302,2	1734
9	Вода на технічні потреби	хол	20	60	0,4	4,190	1,68	—	67,2

Для отримання поточкових даних проводимо розрахунок випарної установки на основі рівнянь матеріального і теплового балансу. Внаслідок розрахунків отримаємо витрату води, що випарюється по корпусам (W_1, W_2), температури вторинних і гріючих парів, теплове навантаження корпусів установки, теплоємності потоків.

Для теплової інтеграції згідно технологічної схеми (рис. 1), обираємо дев'ять технологічних потоків: п'ять гарячих і чотири холодних. Гарячі потоки: конденсати з 1 і 2 корпусів, вторинні пари з 1 і 2 корпусів, упарений розчин. Холодні потоки: початковий розчин $MgCl_2$, розчин, що випаровується у 1 і 2 корпусах, вода на технічні потреби. Обрані потоки представмо у поточковій таблиці 1.

В таблиці наведено початкові і кінцеві температури технологічних потоків які узяті для інтеграції (T_S і T_T), їх витрати (G , кг/с), теплоємності (C , кДж/(кг·К)), питомі теплоти пароутворення (r , кДж/кг), поточкові теплоємності (CP , кВт/К), теплове навантаження потоків (ΔH , кВт). Витрати, температури, теплоємності та питомі теплоти пароутворення потоків розраховано за матеріальним і тепловим балансом ВУ. Поточкові теплоємності та теплове навантаження потоків розраховуємо за формулою [7]:

$$\Delta H = G \cdot C \cdot (T_S - T_T) = CP \cdot \Delta T$$

В існуючій схемі є рекуперація тепла $Q_{REC}=1734$ кВт, яка відповідає тепловому навантаженню другого корпусу ВУ. Це цілком відповідає принципу багатокорпусного випарювання, згідно якому вторинний пар попереднього корпусу використовується як гріючий для наступного. Але, зауважимо, не використовується надлишок тепла упареного розчину, потоків конденсату з корпусів та вторинної пари останнього корпусу.

Для даної схеми на основі техніко-економічних розрахунків було обрано мінімальну температурну різницю в теплообмінному обладнанні $\Delta T_{min} = 8^\circ\text{C}$. Складені криві потоків, які побудовані для обраного значення ΔT_{min} (рис. 2) вказують на можливість синтезувати мережу рекуперативного теплообміну, завдяки якому буде зменшено використання холодних і гарячих утиліт. В результаті отримуємо цільові енергетичні значення гарячих $Q_{Hmin}=1873,16$ кВт і холодних $Q_{Cmin}=1759,83$ кВт утиліт. Максимальна потужність рекуперації складає $Q_{REC}=2387,9$ кВт (рис.2), що приблизно на 650 кВт більш, ніж у існуючій схемі випарювання ($Q_{REC}=1734$ кВт). Температура пінча гарячих потоків дорівнює 53°C , холодних 45°C .

На основі розташування точки пінча на складених кривих, отримуємо сіткову діаграму, і приступаємо до розташування теплообмінників, користуючись N-правилами ($N_{in} \leq N_{out}$) та CP-правилами ($CP_{in} \leq CP_{out}$), рис. 3. Для даної технологічної схеми випарювання існують деякі обмеження, що не дозволяють максимізувати навантаження теплообмінників при розміщенні. А саме, виходячи з технологічних міркувань, температура потоку початкової суміші (потік № 6) після теплообмінника РТ1 не потрібна перевищувати 100°C , оскільки ця температура наближається до температури кипіння розчину. Тому було прийнято рішення не максимізувати теплове навантаження теплообмінника РТ1 і зменшити його теплове навантаження з $261,59$ кВт до $210,72$ кВт, тобто на $50,87$ кВт. Це призвело до того, що потік № 1 (конденсат 1 корпусу) не віддає потрібне тепло, щоб досягти температури пінча, тобто замість 53°C температура потоку № 1 після теплообмінника РТ1 склала $67,8^\circ\text{C}$. У підсумку, ми маємо передачу тепла через пінч у кількості $50,87$ кВт [7,11]. Це призвело до збільшення потужності зовнішніх утиліт – і гарячих і холодних, на $50,87$ кВт. Тобто, замість $Q_{Hmin}=1873,16$ кВт отримуємо 1924 кВт, замість $Q_{Cmin}=1759,83$ кВт отримуємо $1810,7$ кВт. Теплове навантаження підігрівача Н1 збільшилось з $80,16$ кВт до $131,03$ кВт, охолоджувача БК з $1759,83$ до

1810,7 кВт (рис. 3). Отже, теплове навантаження охолоджувача відповідає тепловому навантаженню барометричного конденсатора, яку отримано при розрахунках.

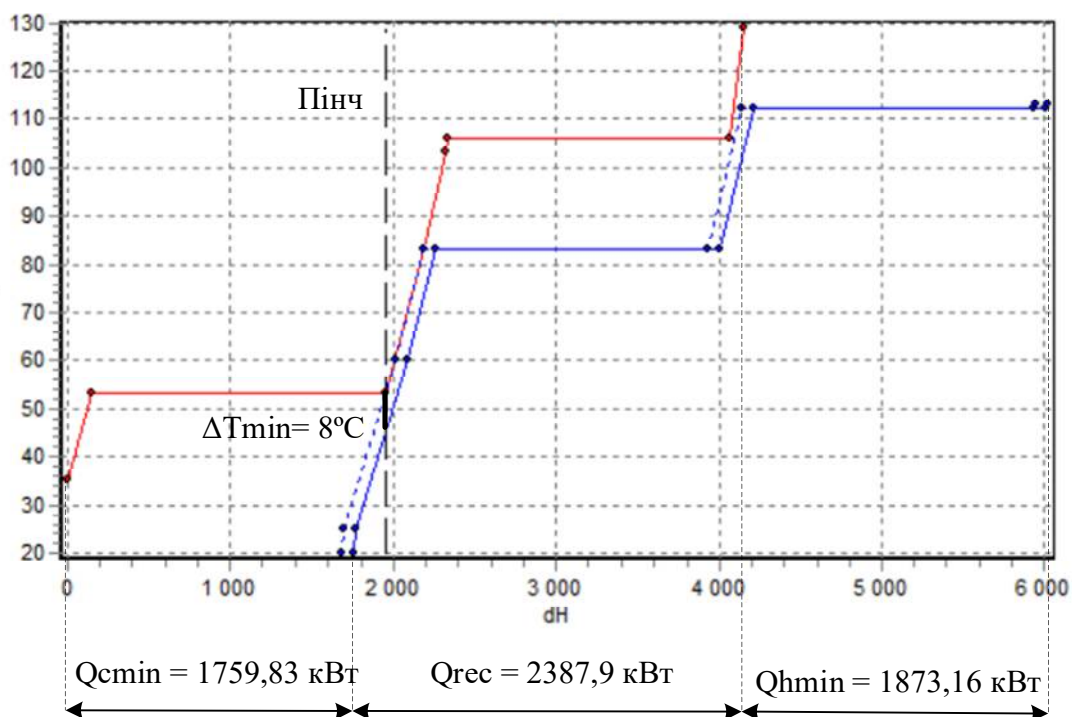


Рисунок 2 – Складені криві для інтегрованого процесу випарювання розчину $MgCl_2$

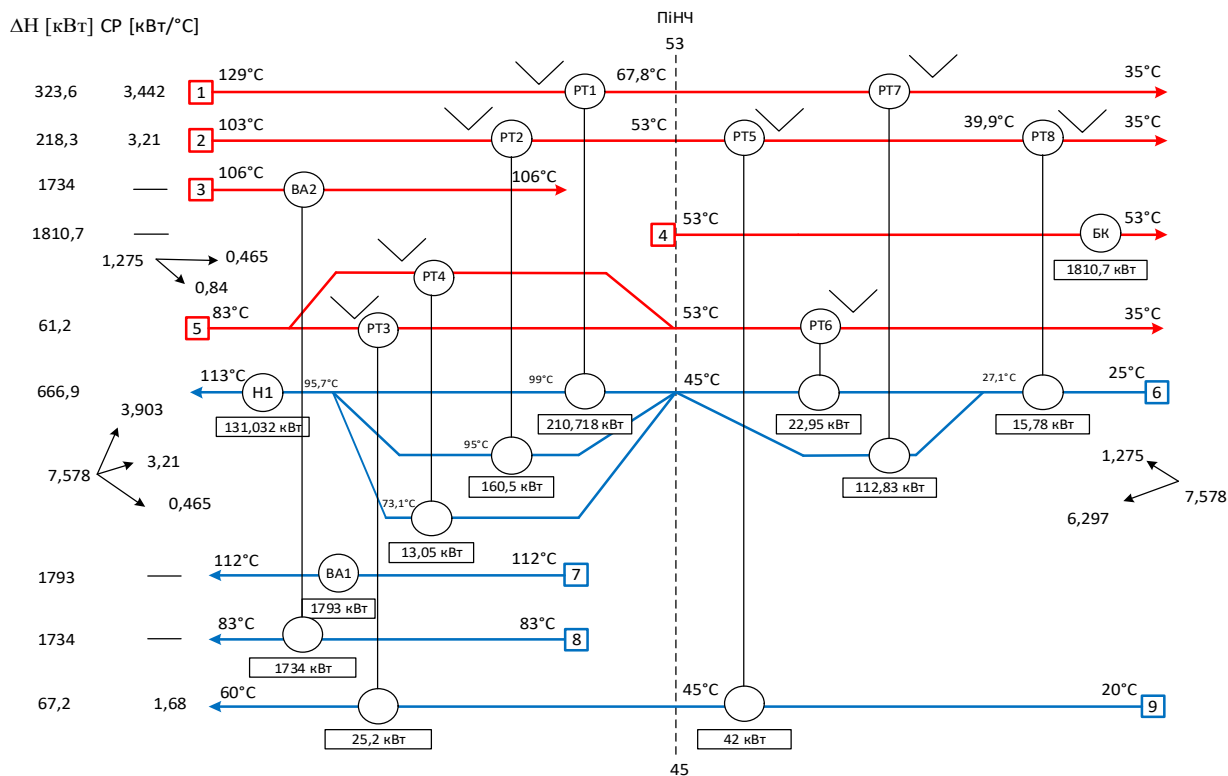


Рисунок 3 – Сіткова діаграма процесу випарювання хлориду магнію після реконструкції

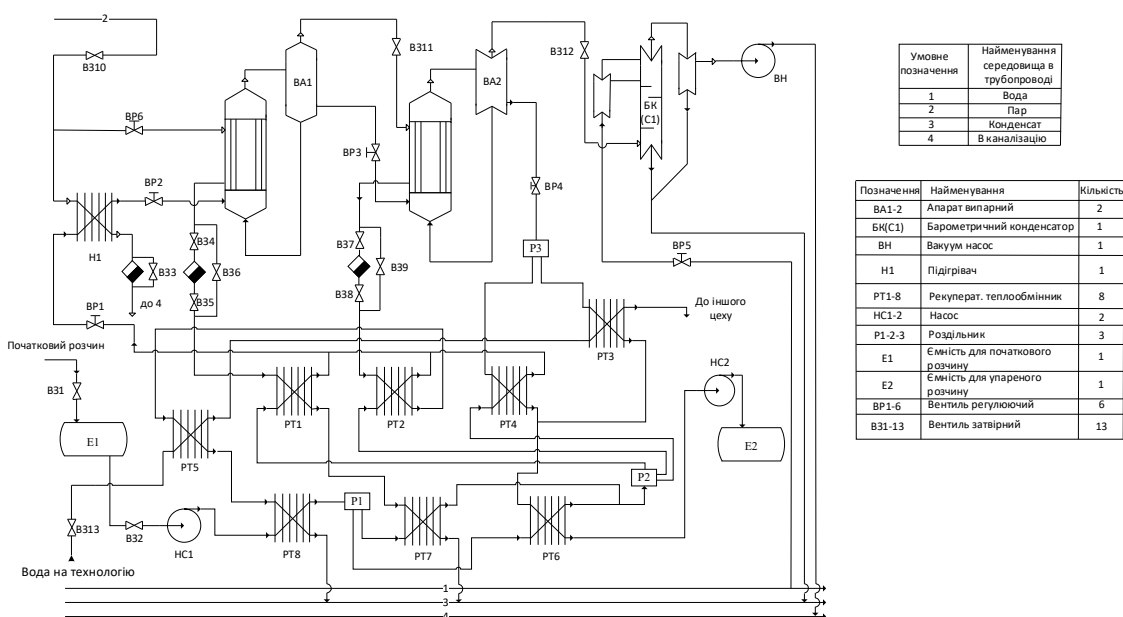


Рисунок 4 – Технологічна схема випарювання хлориду натрію після реконструкції

В результаті отримуємо, що для реалізації заданих цільових значень гарячих і холодних утиліт необхідно 8 рекуперативних теплообмінників (PT1-PT8), 2 підігрівача (Н1, BA1), один охолоджувач (БК). У якості підігрівача використовуємо пластинчастий теплообмінник Н1 та перший корпус випарного апарату, який обігрівается гріючим паром. У якості охолоджувача виступає барометричний конденсатор. Отже, в цієї частині, принципова технологічна схема випарювання не зазнала змін. Але, завдяки використуванню тепла конденсатів та кінцевого розчину, схема дещо змінюється.

На основі сіткової діаграми створюємо інтегровану технологічну схему випарювання хлориду магнію, яка наведена на рис. 4. Згідно цієї схеми, початковий розчин $MgCl_2$ з ємності E1 насосом подається до рекуперативного теплообмінника PT8, де нагрівається до температури 27 °С теплом конденсату другого корпусу. Потім потік початкового розчину розділяється на два потоки у розподільювачу P1 і потрапляє у рекуперативні теплообмінники PT7 і PT6, де нагрівається теплом конденсатів першого корпусу і теплом упареного розчину до 45 °С. Потім потоки об'єднуються і знов розділяються, але вже на три потоки у розподільювачу P2 і підігріваються у рекуперативних теплообмінниках PT1, PT2, PT4 завдяки теплоті конденсатів першого і другого корпусів, а також тепла упареного розчину, який, в свою чергу, розділяється у розподільювачу P3 на два потоки. Потім початковий розчин об'єднується, і маючи температуру 96 °С остаточно підігрівається до температури кипіння 113 °С в підігрівачі Н1. Гарячою утилітою виступає гріючий пар. З цього теплообмінника розчин надходить до 1-го корпусу випарної установки, де концентрується спочатку до 11 %, а потім до 33 %.

Перший корпус обігрівается гріючим паром, а другий – вторинним паром з першого корпусу, як і в принциповій схемі випарювання. З другого корпусу виходить випарений розчин, який охолоджується до 35 °С у теплообмінниках PT3, PT4 та PT6 і насосом відправляється до ємності E2. Вода на технічні потреби підігрівається до цільової температури 60 °С в рекуперативних теплообмінниках PT5 і PT3 завдяки теплоті конденсату з другого корпусу і кінцевого розчину. Для реалізації подібної схеми обира-

ємо пластинчасті рекуперативні теплообмінники РТ1–РТ8, і пластинчастий підігрівач Н1. Інше обладнання залишається незмінним.

Висновки. Завдяки застосуванню рекуперації тепла і використанню тепла конденсатів першого і другого корпусів та кінцевого розчину, вдалось зменшити споживання гарячих і холодних утиліт у порівнянні із проведенням процесу випарювання за принциповою схемою. Отже, початкові значення споживання гарячих утиліт скоротились з початкових $Q_H=2527,1$ кВт до $Q_{Hmin}=1924$ кВт, тобто на 603 кВт. У якості гарячої утиліти використовується гріючий пар. Витрата гріючої пари, згідно розрахунків, зменшилась з 4190 кг/год до 3190 кг/год, тобто на 23 %. Кількість холодних утиліт зменшилась з $Q_C=2413,8$ кВт до $Q_{Cmin}=1810,7$ кВт, тобто на 603 кВт. Кількість тепла рекуперації збільшилась з $Q_{REC}=1734$ кВт до інтеграції до $Q_{REC}=2337,03$ кВт після проведення інтеграції. Для досягнення такого результату потрібно встановити 8 рекуперативних теплообмінників РТ1–РТ8 і один підігрівач Н1, встановити три розподільвачі потоків (Р1–Р3), застосувати необхідні засоби автоматизації, прокласти додаткові трубопроводи. Все це потребує матеріальних затрат. Однак, проведення теплової інтеграції процесу випарювання хлориду магнію, нарешті, приведе до зменшення енерговитрат при проведенні процесу. За розрахунками, строк окупності інтегрованої технологічної схеми випарювання хлориду магнію у порівнянні із проведенням цього процесу за принциповою схемою випарювання, складає від 1,5 до 2 років.

Література

1. Таубман Е.И. Выпаривание. – М.: Химия, 1982. – 327 с.
2. Коваленко С.С., Казанов А.Н., Шибитова Н.В. Выбор оборудования на стадии выпаривания бишофита. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 7 (часть 3) С. 516–517.
3. Штангеев В.О., Кобер В.Т., Белостоцкий Л.Г. и др.. Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства. – К.: Цукор Украины, 2004 г. – 320 с.
4. А. Емельянов, К. Емельянов. Выпаривание соков прямого отжима в вакууме. – Palmarium – 2012 г. – 316 с.
5. Данилов Ю.Б., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., Перцев Л.П. Пластинчатый выпарный аппарат. Патент на винахід, №88836, бюл.22, 2009.
6. Данилов Ю.Б., Быканов С.Н., Гапонова Е.А., Нагорный А.О., Русинов О.И. Интенсивные и энергосберегающие выпарные аппараты с пластинчатой греющей камерой. // Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2018 – № 35. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія – С. 38–44.
7. Смит Р., Клемеш Й., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. Основы интеграции тепловых процессов. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2000.–456 с.
8. Smith R. Chemical Process Design and Integration. Chichester. McGraw-Hill, John Wiley and Sons Ltd. 2005. 687 p.
9. Kemp Ian C. Pinch Analysis and Process Integration. – OXFORD. Elsevier Ltd. 2007. 396 p.
10. Introduction to Pinch Technology <https://www.ou.edu/class/chedesign/a-design/Introduction%20to%20Pinch%20Technology-LinHoffMarch.pdf>.
11. Мешалкин В.П., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., Капустенко П.А. Основы теории ресурсосберегающих интегрированных химико-технологических систем. Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. 412 с.

12. Быканов С.Н., Горбунов К.А., Горбунова О.В., Ким А.Е. Тепловая интеграция процесса выпаривания едкого натра. // Интегрированные технологии и энергосбережение. – Харьков. – НТУ «ХПИ». – 2016. – №3. – С. 9–14.

Bibliography (transliterated)

1. Taubman E.I. Vyiparivanie. – M.: Himiya, 1982. – 327 p.
2. Kovalenko S.S., Kazanov A.N., Shibitova N.V. Vyibor oborudovaniya na stadii vyiparivaniya bishofita. // Mezhdunarodnyiy zhurnal prikladnih i fundamentalnyih issledovaniy. – 2016. – # 7 (chast 3) P. 516–517.
3. Shtangeev V.O., Kober V.T., Belostotskiy L.G. i dr.. Sovremennyye tehnologi i oborudovanie sveklosaharnogo proizvodstva. – K.: Tsukor Ukrainyi, 2004 g. – 320 p.
4. A. Emelyanov, K. Emelyanov. Vyiparivanie sokov pryamogo otzhima v vakuumе. – Palmarium – 2012 g. – 316 p.
5. Danilov Yu.B., Tovazhnyansky L.L., Pertsev L.P. Plastinchaty viparniy aparat. Patent na vinahid, #88836, byul.22, 2009.
6. Danilov Yu.B., Byikanov S.N., Gaponova E.A., Nagorniy A.O., Rusinov O.I. Intensivnyie i energosberegayushchie vyiparnyye apparaty s plastinchatoy greyushey kame-roy. // Visnik Natsionalnogo Tehnichnogo Universitetu «HPI». – Harkiv: NTU «HPI», 2018 – # 35. Seriya: Himiya, himichna tehnologiya ta ekologiya – P. 38–44.
7. Smit R., Klemesh Y., Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.A., Ulev L.M. Osnovy integratsii teplovyih protsessov. – Harkov: NTU «HPI». 2000. – 456 p.
8. Smith R. Chemical Process Design and Integration. Chichester. McGraw-Hill, John Wiley and Sons Ltd. 2005. 687 p.
9. Kemp Ian C. Pinch Analysis and Process Integration. – OXFORD. Elsevier Ltd. 2007. 396 p.
10. Introduction to Pinch Technology [https://www.ou.edu/class/chedesign/a_design/Introduction to Pinch Technology-LinhoffMarch.pdf](https://www.ou.edu/class/chedesign/a_design/Introduction%20to%20Pinch%20Technology-LinhoffMarch.pdf).
11. Meshalkin V.P., Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.A. Osnovy teorii resur-soberegayushchih integrirovannyih himiko-tehnologicheskikh sistem. Harkov: NTU «HPI», 2006. 412 p.
12. Byikanov S.N., Gorbunov K.A., Gorbunova O.V., Kim A.E. Teplovaya integratsiya protsessa vyiparivaniya edkogo natra. // Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie. – Harkov. – NTU «HPI». – 2016. – #3. – P. 9–14.

УДК 658.28:665.63

Биканов С.М., Бабак Т.Г., Данилов Ю.Б., Биканова В.В.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПІНЧ-АНАЛІЗУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТЕПЛОВОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ ХЛОРИДУ МАГНІЮ

Проведено теплову інтеграцію процесу випарювання хлориду магнію з використанням методу пінч-аналізу. Сформовано таблицю з поточковими даними для інтеграції процесу випарювання на основі розрахунків матеріального і теплового балансу процесу. Для проведення теплової інтеграції обрано п'ять гарячих і чотири холодних потоків. Гарячі потоки: конденсати з першого і другого корпусів, вторинні пари з першого і

другого корпусів, упарений розчин. Холодні потоки: початковий розчин, розчин, що випаровується у першому і другому корпусах, вода на технічні потреби. Побудовано складені криві потоків, які отримані для обраного значення мінімальної різниці температур, визначено цільові енергетичні значення гарячих і холодних утиліт. Встановлено, що температура пінча гарячих потоків дорівнює 53 °С, холодних 45 °С. Отримано сіткову діаграму, на якій розташовано теплообмінники, користуючись N-правилами та СР-правилами. Виходячи з технологічних міркувань, а саме, з температурних обмежень для початкової суміші, температура якої має не наближуватися до температури кипіння в жодному з потоків, що з'явилися в результаті розщеплення, прийняте рішення щодо переносу тепла через пінч потужністю 50,87 кВт, що призводить до зміни потужності зовнішніх утиліт. Розраховано, що в результаті проведення теплової інтеграції, значення споживання гарячих утиліт скоротились з початкових $Q_H=2527,1$ кВт до $Q_{Hmin}=1924$ кВт, тобто на 603 кВт. Витрата гріючої пари, згідно розрахунків, зменшено на 23 % у порівнянні з проведенням процесу за принциповою схемою. Показано, що теплове навантаження охолоджувача відповідає тепловому навантаженню барометричного конденсатора, яку отримано при розрахунках. Розраховано, що кількість тепла рекуперації збільшилась з $Q_{REC}=1734$ кВт до інтеграції до $Q_{REC}=2337,03$ кВт після проведення інтеграції. Встановлено, що для реалізації заданих цільових значень гарячих і холодних утиліт необхідно встановити вісім рекуперативних теплообмінників і один підігрівач. На основі сіткової діаграми отримано інтегровану технологічну схему випарювання хлориду магнію, яка забезпечує необхідну рекуперацію тепла.

Ключові слова: теплова інтеграція, пінч-аналіз, гарячі утиліти, складені криві, рекуперативні теплообмінники, рекуперація, випарювання.

Быканов С.Н., Бабак Т.Г. Данилов Ю.Б., Быканова В.В.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПИНЧ-АНАЛИЗА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕПЛОВОЙ ИНТЕГРАЦИИ ПРОЦЕССА ВЫПАРИВАНИЯ ХЛОРИДА МАГНИЯ

Проведена тепловая интеграция процесса выпаривания хлорида магния с использованием метода пинч-анализа. Сформирована таблица с потоковыми данными для интеграции процесса выпаривания на основе расчетов материального и теплового балансов процесса. Для проведения тепловой интеграции выбраны пять горячих и четыре холодных потоков. Горячие потоки: конденсаты первого и второго корпусов, вторичный пар первого и второго корпусов, упаренный раствор. Холодные потоки: исходный раствор, раствор, выпаривающийся в первом и втором корпусах, вода на технические нужды. Построены составные кривые потоков, которые получены для выбранного значения минимальной разности температур, определены целевые энергетические значения горячих и холодных утилит. Установлено, что температура пинча горячих потоков составляет 53 °С, холодных 45 °С. Построена сеточная диаграмма, на которой, пользуясь N-правилами и СР-правилами, размещены теплообменники. Исходя из технологических соображений, а именно, исходя из температурных ограничений для исходной смеси, температура которой не должна приближаться к температуре кипения в каждом из потоков, которые образовались в результате расщепления, принято решение о переносе тепла через пинч в количестве 50,87 кВт. Это привело к изменению количества внешних утилит. Рассчитано, что в результате проведения тепловой интеграции, значения потребления горячих утилит уменьшились от первоначальных $Q_H=2527,1$ кВт до $Q_{Hmin}=1924$ кВт, то есть на 603 кВт. Расход греющего пара, согласно расчетам, умень-

шился на 23 % в сравнении с проведением процесса по принципиальной схеме. Показано, что тепловая нагрузка холодильника отвечает тепловой нагрузке барометрического конденсатора, которая получена при расчетах. Рассчитано, что количество тепла рекуперации увеличилось от $Q_{\text{REC}}=1734$ кВт до интеграции до $Q_{\text{REC}}=2337,03$ кВт после проведения интеграции. Установлено, что для реализации заданных целевых значений горячих и холодных утилит необходимо установить восемь рекуперативных теплообменников и один подогреватель. На основе сеточной диаграммы получена интегрированная технологическая схема выпаривания хлорида магния, которая обеспечивает необходимую рекуперацию тепла.

Ключевые слова: тепловая интеграция, пинч-анализ, горячие утилиты, составные кривые, рекуперативные теплообменники, рекуперация, выпаривание.

Bykanov S.N., Babak T.G., Danilov Yu.B., Bykanova V.V.

APPLICATION OF THE PINCH-ANALYSIS METHOD IN A THERMAL INTEGRATION OF THE MAGNESIUM CHLORIDE VAPORIZING PROCESS

The thermal integration of the evaporation of magnesium chloride was carried out using the pinch analysis method. A table with streaming data has been generated to integrate the evaporation process based on calculations of the material and thermal balances of the process. Five thermal and four cold flows were selected for thermal integration. Hot flows are: condensates of the first and second frames, secondary steam of the first and second frames, one stripped off solution. Cold flows are: initial solution, solution evaporated in the first and second frames, water for technical needs. Composite flow curves are constructed, which are obtained for the selected value of the minimum temperature difference, the target energy values of hot and cold utilities are determined. It has been established that the pinch temperature of hot flows is 53 °C, and for cold flows is 45 °C. A grid diagram is constructed where heat exchangers are placed, using the N and CP rules. A decision was made to transfer heat through the pinch in the amount of 50,87 kW. It based on technological considerations, namely, on the temperature restrictions for the initial mixture, the temperature of which should not approach the boiling point in each of the streams that were formed as a result of splitting,. This has led to a change in the number of external utilities. It is calculated that as a result of thermal integration, the consumption values of hot utilities decreased from the initial $Q_H=2527,1$ kW to $Q_{H\text{min}}=1924$ kW, i.e. by 603 kW. According to calculations the consumption of heating steam decreased by 23 % in comparison with the process according to the principle scheme. It is shown that the thermal load of the refrigerator corresponds to the thermal load of the barometric capacitor, which was obtained in the calculations. It is estimated that the amount of heat of recovery has increased for $Q_{\text{REC}}=1734$ kW before integration to $Q_{\text{REC}}=2337,03$ kW after integration. It was established that in order to realize the set target values of hot and cold utilities, it is necessary to install eight recuperative heat exchangers and one heater. Based on the grid diagram, an integrated technological scheme for the evaporation of magnesium chloride was obtained, which provides the necessary heat recovery.

Key words: thermal integration, pinch analysis, hot utilities, composite curves, recuperative heat exchangers, recovery, evaporation.

Горбунов К.О., к.техн.н., професор, Селіхов Ю.А., к.техн.н., професор, Коцаренко В.О., к.техн.н., професор, Пономаренко Г.В., к.техн.н., доцент, Горбунова О.В., ст.викладач

ТЕПЛОВА ІНТЕГРАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИПАРЮВАННЯ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ключові слова: сірна кислота, випарювання, інтеграція, пінч-аналіз

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час в Україні гостро стоїть питання енергозбереження. Вже не викликає сумнівів, що безперервний зріст вартості енергоносіїв вимагає створення енергоефективних виробництв.

Проектування таких промислових виробництв може бути розділене на два етапи. Перший етап – це проектування індивідуальних установок, таких як, реактори, печі, системи розподілу, теплообмінні апарати сушарки, і так далі. Другий етап – це об'єднання цих установок в інтегровані системи виробничих процесів. Пінч-аналіз пов'язан з другим етапом [1–12].

Необхідно також відзначити ще два важливих моменти, які є важливою частиною пінч-аналізу. По-перше – це можливість встановлення цілей проектування перед початком самого проектування. По-друге, це можливість інтеграції процесів в межах великого виробничо-територіального комплексу.

У зв'язку з вищесказаним, вважаємо за доцільне використання в якості методу інтеграції саме пінч-аналіз.

З усіх сполук сірки, які виробляються і споживаються в промисловості, перше місце займає сірчана кислота [13–14].

Вибір методу переробки залежить головним чином від складу кислоти. Найчастіше потрібна попередня підготовка кислоти в регенерації, яку здійснюють методом екстракції, окислення, висолювання, коагуляції, адсорбції, термічного розкладання. Регенерація сірчаної кислоти з отриманням продукту високої якості може бути досягнута термічною деструкцією H_2SO_4 до SO_2 , коли в умовах високих температур всі органічні домішки повністю згорають. Діоксид сірки очищають, переводять в триоксид (сірчаний ангідрид) і абсорбують. Концентрація SO_2 в контактних газах майже лінійно залежить від концентрації сірчаної кислоти, яка направляється на розкладання.

У статті [15] авторами було розглянуто питання теплової інтеграції установки кристалізації гідролізної сірчаної кислоти на прикладі трикорпусної випарної установки.

У даній роботі досліджуються процеси, що протікають при випаровуванні сірчаної кислоти в чотирьохкорпусній випарній установці. В якості вихідних даних були задані наступні:

1. Продуктивність по вихідному розчину 12 т/год.
2. Початкова концентрація розчину 20 % (мас.).
3. Кінцева концентрація розчину 60 % (мас.).
4. Тиск гріючого пара 1 МПа.
5. Тиск у барометричному конденсаторі 0,02 ат.

Схема випарювання прямоточна. Циркуляція розчину природна. Вихідний розчин підігрівається в теплообміннику до температури кипіння в 1-му випарному апараті.

Опис технологічної схеми установки. Початковий розчин подається з ємності відцентровим насосом через підігрівач в перший корпус випарної установки. У підігрівачі початковий розчин нагрівається до температури близької до температури кипіння розчину. Перший корпус установки обігрівається свіжим (первинним) паром. Вторинний пар, який утворюється при кипінні розчину в першому корпусі, спрямовується як гріючий пар в другий корпус, сюди ж надходить частково сконцентрований розчин з першого корпусу. Аналогічно упарений розчин з другого корпусу подається в третій і четвертий корпуси. Упарений до кінцевої концентрації в четвертому корпусі готовий продукт надходить в ємність. У міру проходження з корпусу в корпус тиск і температура пари знижується, і з останнього (четвертого) корпусу пар з низьким тиском відводиться в барометричний конденсатор, в якому при конденсації пари створюється вакуум. Розчин і вторинний пар переміщуються з корпусу в корпус самопливом завдяки загальному перепаду тиску, що виникає в результаті надмірного тиску в першому корпусі і вакууму в останньому.

Суміш охолоджуючої води і конденсату зливається самопливом через трубу в бак-гідрозатор. Конденсат пари, що гріє з випарних апаратів і теплообмінника виводиться за допомогою конденсатовідвідників.

Принципова схема чотирьохкорпусний вакуум-випарної установки безперервної дії представлена на рис. 1.

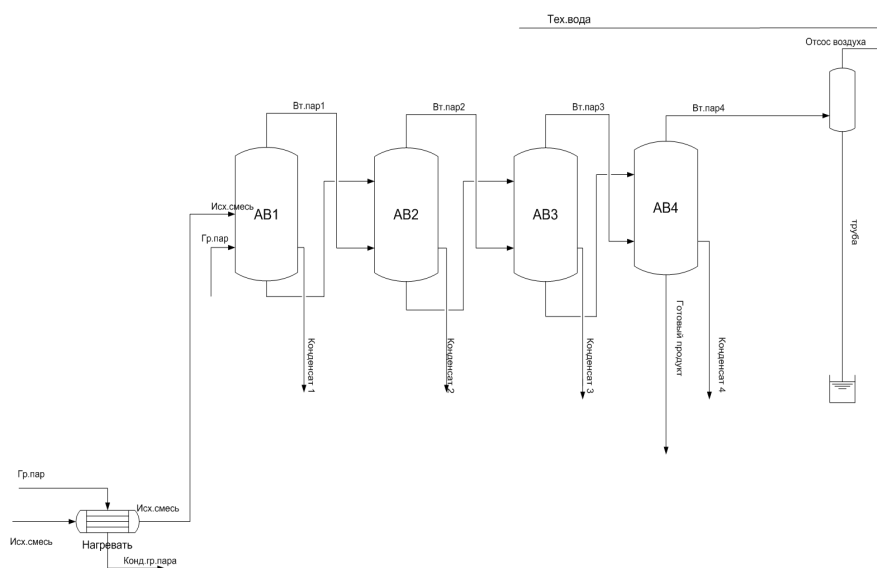


Рисунок 1 – Принципова схема установки випарювання сірчаної кислоти

Виділення технологічних потоків для визначення енергозберігаючого потенціалу установки. Збір даних, необхідних для розрахунку матеріального і теплового балансів, здійснювався шляхом прямих вимірювань температур і витрат потоків на обладнанні за допомогою витратомірів, стаціонарних і переносних термометрів [16]. В ході такого обстеження установки були отримані дані, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Система потоків для аналізу енергоспоживання установки

№	Назва потоку	Тип	$T_s, ^\circ C$	$T_t, ^\circ C$	$CP, \text{кВт/К}$	$\Delta H, \text{кВт}$
1	Кондесат гр. пара	гар	180	90	2,748	247
2	Конденсат вт. пара 1 корп.	гар	167	30	2,062	283
3	Конденсат вт. пара 2 корп.	гар	155	25	2,257	293
4	Конденсат вт. пара 3 корп.	гар	129	20	2,453	267
5	Втор. пар 4 корп.	гар	110	110		1481
6	Готовий продукт	гар	114	20	2,790	346
7	Вихідна суміш	хол	10	139	10,706	1381
8	Технологічна вода	хол	15	60	10,475	471

Використовуючи дані, отримані при обстеженні установки (табл. 1), була побудована сіткова діаграма процесу, як показано на рис. 2.

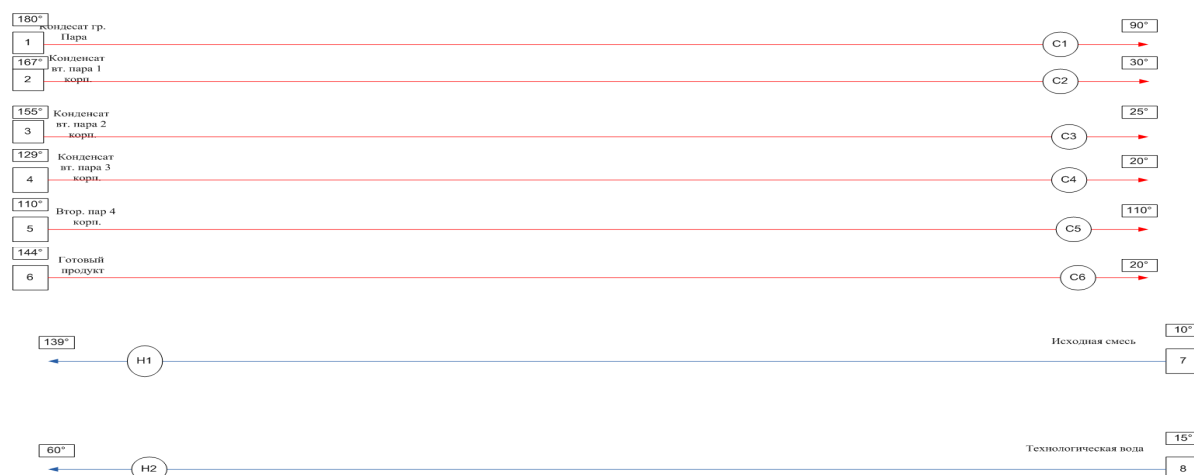


Рисунок 2 – Сіткова діаграма процесу до реконструкції

Для економічної оптимізації використовується графік залежності загальної річної вартості експлуатації проекту від найменшого температурного напору на теплообмінному обладнанні [17]. Вартість енергії, що витрачається зростає за рахунок недорекуперації теплоти, а вартість самого обладнання зменшується за рахунок зменшення поверхні теплообміну, що і призводить до немонотонної залежності сумарною річною вартості зовнішніх теплоносіїв і устаткування, що, в свою чергу, дозволяє визначити оптимальне мінімальне значення різниці температур (рис. 3).

Температура пінча для гарячих потоків склала $114\text{ }^\circ\text{C}$, а температура пінча для холодних потоків становить $94\text{ }^\circ\text{C}$.

Використовуючи отримані дані, будуємо нову сіткову діаграму. При цьому при проектуванні нової схеми, необхідно дотримуватися CP та ΔT правил, із заборобою переносу теплоти через пінч.

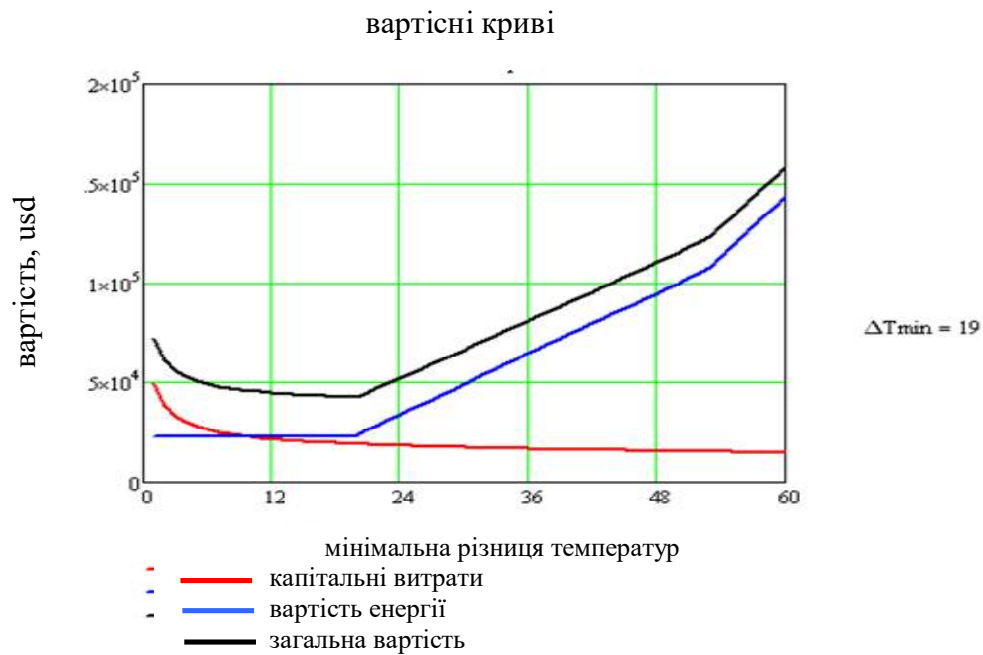


Рисунок 3 – Визначення оптимальної мінімальної різниці температур

Використовуючи дані з таблиці 1 і сітчастої діаграми (рис. 1), будуюмо на ентальпійно-температурній діаграмі складові криві (рис. 4) [18].

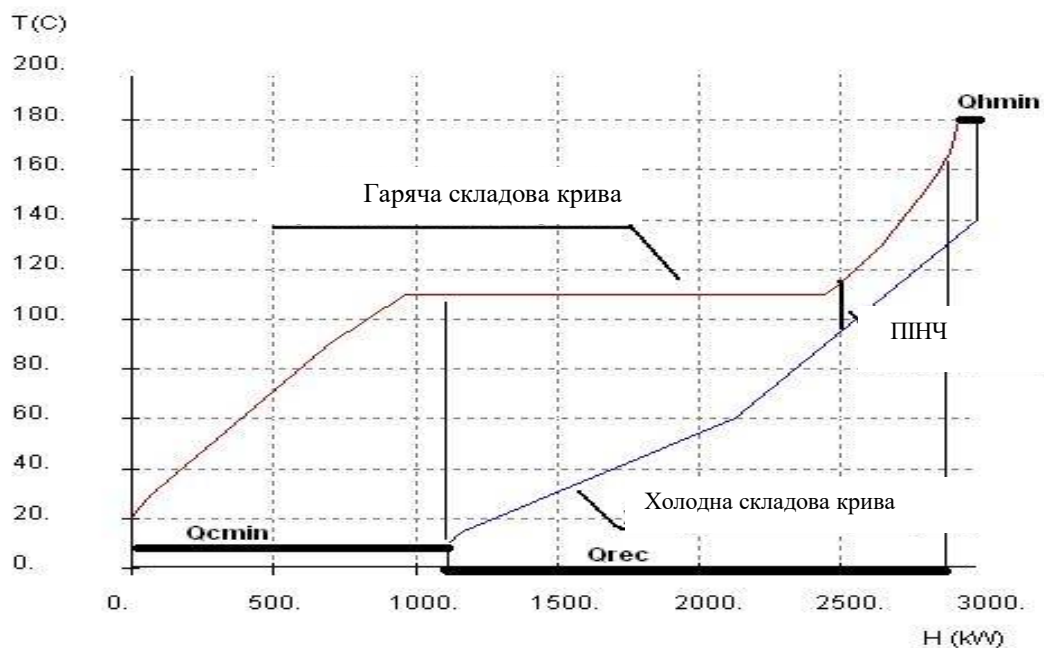


Рисунок 4 – Складові криві для $\Delta T_{\min} = 19^\circ\text{C}$

Побудова підсистем вище і нижче пінча і установка нових теплообмінних апаратів наведена на рис. 5.

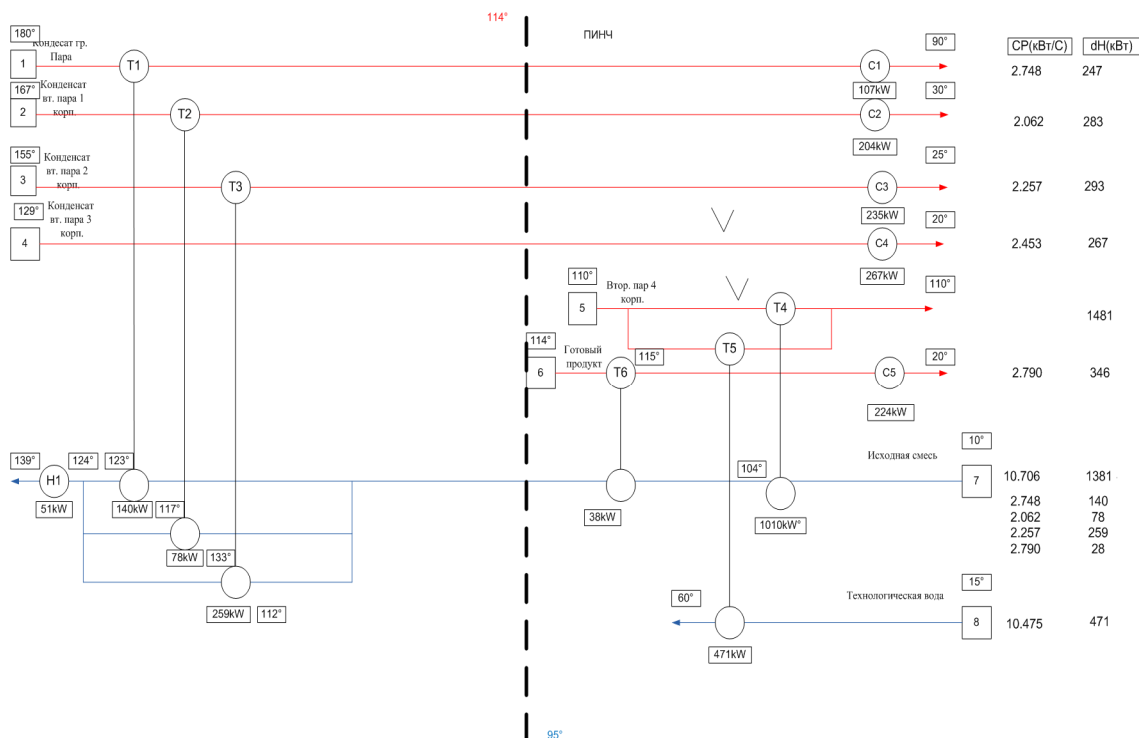


Рисунок 5 – Побудова підсистем вище і нижче пінча

Даний підхід до інтеграції виробництва сірчаної кислоти стало можливим завдяки проектуванню нової енерго-функціональної схеми – схеми проекту реконструкції установки (рис. 6).

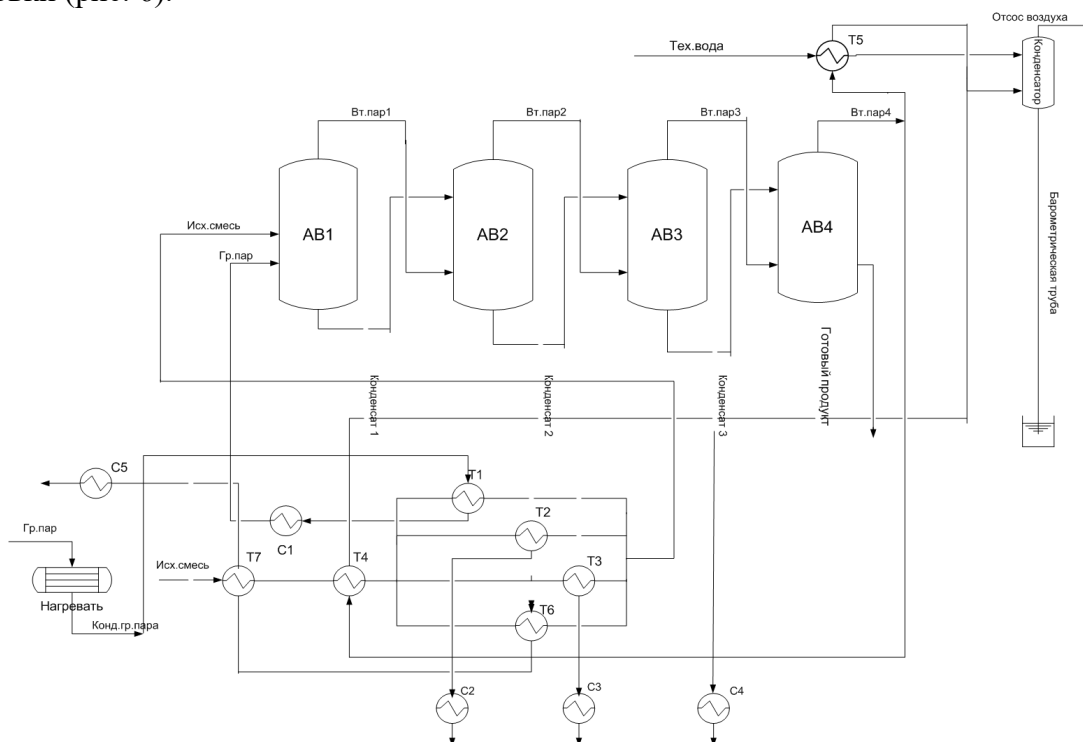


Рисунок 6 – Енерго-функціональна схема виробництва

Висновки

В роботі був запропонований проект реконструкції системи теплообміну процесу випарювання сірчаної кислоти у багатокорпусній випарній установці, який дозволяє знизити витрати енергії. Після проведення інтеграції та розрахунків, було отримано економічні показники. Таким чином, потенціал енергозбереження складає близько 30 тис. грн на рік. Строк окупності запропонованого проекту реконструкції складає величину близько 4 місяців.

Література

1. Klemes J.J., Arsenyeva O., Kapustenko P., Tovazhnyansky L., 2015, Compact Heat Exchangers for Energy Transfer Intensification: Low Grade Heat and Fouling Mitigation, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
2. Law R., Harvey A., Reay D. 2013. Opportunities for low-grade heat recovery in the UK food processing industry. Applied Thermal Engineering 53: 188–196.
3. Kapustenko P.O., Arsenyeva O.P. 2013. Process Integration for Energy Saving in Buildings and Building Complexes. Chapter 31 in Handbook of Process Integration (PI), Edited by Klemes J.J., Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK: 938-965. ASHRAE. 2013., Handbook Fundamentals. www.ashrae.org. (Accessed 10th April 2014).
4. Cipolla S.S., Maglionico M. 2014. Heat recovery from urban wastewater: analysis of the variability of flow rate and temperature in the sewer of Bologna, Italy. Energy Procedia 45: 288–297.
5. Frijns, J., Hofman, J., Nederlof, M. 2013. The potential of (waste) water as energy carrier. Energy Conversion and Management 65: 357–363.
6. Schmid F. 2009, Sewage water: interesting heat source for heat pumps and chillers, Energy-engineer FH, Swiss Energy Agency for Infrastructure Plants. Zürich, Switzerland. 10p.
7. Energy Saver. 2019. Whole house ventilation systems. USDE. <https://www.energy.gov/energysaver/weatherize/ventilation/whole-house-ventilation> (Accessed 27th November 2019).
8. ASHRAE Handbook Fundamentals, 2017, <https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook> (accessed 30 November 2019).
9. Kilkovsky B., Stehlik P., Jegla Z., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O., Kapustenko P. O. 2014. Heat exchangers for energy recovery in waste and biomass to energy technologies—Energy recovery from flue gas. Applied Thermal Engineering 64(1): 213–223.
10. Doty S., Turner W. C. 2009. Energy management handbook. The Fairmont Press, Inc., Lilburn, GA, USA.
11. Основы интеграции тепловых процессов / [Смит Р., Товажнянский Л.Л., Клемеш Й. Капустенко П.А., Ульянов Л.М.]. – Х.: ХГПУ. 2000. – 457 с.
12. Linnhoff B., Townsend D.W., Boland D., et. al., User Guide on PROCESS INTEGRATION for the EFFICIENT USE OF ENERGY. – Rugby.: IChemE. 1982, last edition 1994. P. 247.
13. П. Паскаль Название: Производство серной кислоты, соляной кислоты и хлора: ГОНТИ, 1938-251с.
14. Справочник сернокислотчика, под ред. Малина К. М., 2 изд., М., 1971.
15. Капустенко П.А., Арсеньева О.П., Гарев А.О., Захаров Д.С. / Тепловая интеграция установки кристаллизации гидролизной серной кислоты // Вісник НТУ «ХПІ». 2013. № 55 (1028).– С. 131–138.

16. Нубарян С.М. Контрольно-измерительные приборы в теплотехнических измерениях. Курс лекций. – Харьков: ХНАГХ, 2006 – 283 с.

17. Товажнянский Л.Л. Применение методов интеграции процессов и современного теплообменного оборудования при реконструкции тепловых систем / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев, А.Ю. Перевертайленко, Г.Л. Хавин, О.П. Арсеньева // Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики. XII конференция стран СНГ с международным участием. Труды конференции. Севастополь. 24–28 июля 2002 г. Киев. – 2002. – С. 111–113.

18. Товажнянский Л.Л. Интеграция тепловых процессов для развития энергосберегающего потенциала промышленности / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев, А.Ю. Перевертайленко, О.Б. Анипко // Інтегровані технології та енергозбереження. 2002. – № 2. – С. 3–5.

19. Товажнянский Л.Л. Проблемы энергосбережения и пинч-анализ как метод их решения / Л.Л. Товажнянский, Л.М. Ульев // Оборудование и инструмент для профессионалов. 2006. – № 2. – С. 82–88.

Bibliography (transliterated)

1. Klemes J.J., Arsenyeva O., Kapustenko P., Tovazhnyansky L., 2015, Compact Heat Exchangers for Energy Transfer Intensification: Low Grade Heat and Fouling Mitigation, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

2. Law R., Harvey A., Reay D. 2013. Opportunities for low-grade heat recovery in the UK food processing industry. Applied Thermal Engineering 53: 188–196.

3. Kapustenko P.O., Arsenyeva O.P. 2013. Process Integration for Energy Saving in Buildings and Building Complexes. Chapter 31 in Handbook of Process Integration (PI), Edited by Klemes J.J., Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK: 938–965. ASHRAE. 2013., Handbook Fundamentals. www.ashrae.org. (Accessed 10th April 2014).

4. Cipolla S.S., Maglionico M. 2014. Heat recovery from urban wastewater: analysis of the variability of flow rate and temperature in the sewer of Bologna, Italy. Energy Procedia 45: 288–297.

5. Frijns, J., Hofman, J., Nederlof, M. 2013. The potential of (waste) water as energy carrier. Energy Conversion and Management 65: 357–363.

6. Schmid F. 2009, Sewage water: interesting heat source for heat pumps and chillers, Energy-engineer FH, Swiss Energy Agency for Infrastructure Plants. Zürich, Switzerland. 10p.

7. Energy Saver. 2019. Whole house ventilation systems. USDE. <https://www.energy.gov/energysaver/weatherize/ventilation/whole-house-ventilation> (Accessed 27th November 2019).

8. ASHRAE Handbook Fundamentals, 2017, <https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook> (accessed 30 November 2019).

9. Kilkovsky B., Stehlik P., Jegla Z., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O., Kapustenko P. O. 2014. Heat exchangers for energy recovery in waste and biomass to energy technologies–Energy recovery from flue gas. Applied Thermal Engineering 64(1): 213–223.

10. Doty S., Turner W. C. 2009. Energy management handbook. The Fairmont Press, Inc., Lilburn, GA, USA.

11. Osnovyi integratsii teplovyih protsessov / [Smit R., Tovazhnyansky L.L., Klemes Y. Kapustenko P.A., Ulev L.M.]. – H.: HGPU. 2000. – 457 з.

12. Linnhoff B., Townsend D.W., Boland D., et. al., User Guide on PROCESS INTEGRATION for the EFFICIENT USE OF ENERGY. – Rugby.: IChemE. 1982, last edition 1994. P. 247.
13. P. Paskal Nazvanie: Proizvodstvo sernoy kisloty, solyanoy kisloty i hlora: GONTI, 1938-251c.
14. Spravochnik sernokislotchika, pod red. Malina K. M., 2 izd., M., 1971.
15. Kapustenko P.A., Arseneva O.P., Garev A.O., Zaharov D.S. / Teplovaya integratsiya ustanovki kristallizatsii gidroliznoy sernoy kisloty // Visnik NTU «HPI». 2013. # 55 (1028). – P. 131–138.
16. Nubaryan S.M. Kontrolno-izmeritelnyie priboryi v teplotekhnicheskikh izmereniyah. Kurs lektsiy. – Harkov: HNAGH, 2006 – 283 p.
17. Tovazhnyanskyy L.L. Primenenie metodov integratsii protsessov i sovremennogo teploobmennogo oborudovaniya pri rekonstruktsii teplovyih sistem / L.L. Tovazhnyanskyy, P.A. Kapustenko, L.M. Ulev, A.Yu. Perevertaylenko, G.L. Havin, O.P. Arseneva // Problemyi ekologii i ekspluatatsii ob'ektov energetiki. XII konferentsiya stran SNG s mezhdunarodnyim uchastiem. Trudyi konferentsii. Sevastopol. 24–28 iyulya 2002 g. Kiev. – 2002. – P. 111–113.
18. Tovazhnyanskyy L.L. Integratsiya teplovyih protsessov dlya razvitiya energosberegayuschego potentsiala promyshlennosti / L.L. Tovazhnyanskyy, P.A. Kapustenko, L.M. Ulev, A.Yu. Perevertaylenko, O.B. Anipko // Integrovani tehnologiyi ta energozberezheniya. 2002. – # 2. – P. 3–5.
19. Tovazhnyanskyy L.L. Problemyi energosberezheniya i pinch-analiz kak metod ih resheniya / L.L. Tovazhnyanskyy, L.M. Ulev // Oborudovanie i instrument dlya professionalov. 2006. – # 2. – P. 82–88.

УДК 658.28:665.63:338

Горбунов К.О., Селіхов Ю.А., Коцаренко В.О., Пономаренко Г.В., Горбунова О.В.

ТЕПЛОВА ІНТЕГРАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИПАРЮВАННЯ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ

В даний час в Україні гостро стоїть питання енергозбереження. Вже не викликає сумнівів, що безперервний зріст вартості енергоносіїв вимагає створення енергоефективних виробництв.

У роботі досліджуються процеси, що протікають при випаровуванні сірчаної кислоти в чотирикорпусній випарній установці.

Збір даних, необхідних для розрахунку матеріального і теплового балансів, здійснювався шляхом прямих вимірювань температур і витрат потоків на обладнанні за допомогою витратомірів, стаціонарних і переносних термометрів.

Для економічної оптимізації використовується графік залежності загальної річної вартості експлуатації проекту від найменшого температурного напору на теплообмінному обладнанні. Вартість енергії, що витрачається зростає за рахунок недорекуперації теплоти, а вартість самого обладнання зменшується за рахунок зменшення повернених теплообміну, що і призводить до немонотонної залежності сумарною річною варто-

сті зовнішніх теплоносіїв і устаткування, що, в свою чергу, дозволяє визначити оптимальне мінімальне значення різниці температур.

Температура пінча для гарячих потоків склала 114 °С, а температура пінча для холодних потоків становить 94 °С.

Використовуючи отримані дані, в роботі побудовано нову сіткову діаграму.

За результатами розрахунків був запропонований проект реконструкції системи теплообміну процесу випарювання сірчаної кислоти у багатокорпусній випарній установці, який дозволяє знизити затрати енергії. Після проведення інтеграції та розрахунків, було отримано економічні показники. Таким чином, потенціал енергозбереження складає близько 30 тис. грн на рік. Строк окупності запропонованого проекту реконструкції складе величину близько 4 місяців.

Горбунов К.А., Селихов Ю.А., Коцаренко В.А., Пономаренко А.В., Горбунова О.В.

ТЕПЛОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ УСТАНОВКИ ВЫПАРИВАНИЯ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

В настоящее время в Украине остро стоит вопрос энергосбережения. Уже не вызывает сомнений, что непрерывный рост стоимости энергоносителей требует создания энергоэффективных производств.

В работе исследуются процессы, протекающие при выпаривании серной кислоты в четырехкорпусной выпарной установке.

Сбор данных, необходимых для расчета материального и теплового балансов, осуществлялся путем прямых измерений температур и расходов потоков на оборудовании с помощью расходомеров, стационарных и переносных термометров.

Для экономической оптимизации используется график зависимости общей годовой стоимости эксплуатации проекта от минимального температурного напора на теплообменном оборудовании. Стоимость расходуемой энергии растет за счет недорекупации теплоты, а стоимость самого оборудования уменьшается за счет уменьшения поверхности теплообмена, что и приводит к немонотонной зависимости суммарной годовой стоимости внешних теплоносителей и оборудования, что, в свою очередь, позволяет определить оптимальное минимальное значение разности температур.

Температура пинча для горячих потоков составила 114 °С, а температура пинча для холодных потоков составляет 94 °С.

Используя полученные данные, в работе построена новая сеточная диаграмма.

По результатам расчетов был предложен проект реконструкции системы теплообмена процесса выпаривания серной кислоты в четырехкорпусной выпарной установке, который позволяет снизить затраты энергии. После проведения интеграции и расчетов, было получено экономические показатели. Таким образом, потенциал энергосбережения составляет около 30 тыс. грн в год. Срок окупаемости предложенного проекта реконструкции составит величину около 4 месяцев.

Gorbunov K., Selikhov Yu., Kotsarenko V., Ponomarenko H., Gorbunova O.

THERMAL ACID INTEGRATION OF SULFURIC ACID VAPORIZATION

Currently, Ukraine is an issue of energy conservation. There is no longer any doubt that the continuous increase in the cost of energy requires the creation of energy-efficient industries.

The work investigates the processes occurring during the evaporation of sulfuric acid in a four-shell evaporator.

The collection of data necessary for calculating material and thermal balances was carried out by direct measurements of temperatures and flow rates of the equipment using flowmeters, stationary and portable thermometers.

For economic optimization, we use a graph of the dependence of the total annual cost of operation of the project on the minimum temperature head on heat exchange equipment. The cost of energy consumed increases due to under-recovery of heat, and the cost of the equipment itself decreases due to a decrease in the heat exchange surface, which leads to a nonmonotonic dependence of the total annual cost of external heat carriers and equipment, which, in turn, allows us to determine the optimal minimum value of the temperature difference.

The pinch temperature for hot streams was 114 °C, and the pinch temperature for cold streams was 94 °C.

Using the data obtained, a new grid diagram is constructed in the work.

Based on the results of the calculations, a project was proposed for the reconstruction of the heat exchange system for the evaporation of sulfuric acid in a four-shell evaporator, which reduces energy costs. After integration and calculations, economic indicators were obtained. Thus, the potential for energy saving is about 30 thousand UAH per year. The payback period of the proposed reconstruction project will be about 4 months.

Мардупенко О.О., Григоров А.Б., к. техн. н., доцент, Сінкевич І.В., к. техн. н., доцент

ВИКОРИСТАННЯ НАФТОВОГО ШЛАМУ У ВИРОБНИЦТВІ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна*

Ключові слова: нафтовий шлам, асфальтобетон, вуглеводнева фракція, бітум, полімерна добавка, змішування компонентів, мінеральний наповнювач.

Вступ. Асфальтобетон є штучним будівельним матеріалом, який розглядається як більш дешева альтернатива до цементно-бетонних сумішей та широко використовується у дорожньому будівництві. Асфальтобетон складається з різних мінеральних матеріалів (пісок, щебінь, гравій), органічного матеріалу, що зв'язує мінеральні компоненти у єдину суміш – бітуму та добавок, що підвищують експлуатаційні властивості асфальтобетону [1]. Основною тенденцією у розвитку технологій виготовлення асфальтобетону, на сьогоднішній день, є зниження виробничих витрат, з одночасним збереженням певного рівня його якості [2]. Цього можна досягти за рахунок підбора більш дешевої сировини, наприклад відходів виробництва, але з використанням певних добавок, які компенсують недоліки у властивостях сировини [3, 4, 5].

Технологія отримання асфальтобетону. Серед відходів виробництва, які завдяки своїм позитивним властивостям, можуть замінити основні компоненти асфальтобетону, зокрема зв'язуючий матеріал є нафтовий шлам (НШ) [6]. Використання НШ у технології виготовлення асфальтобетону, полягає у попередньому його відчищенні від води та механічних домішок, концентруванні (при атмосферному тиску або під вакуумом) вуглеводневої частини, та компаундуванні його з полімерними добавками – побутівими відходами, представленими виробами з поліпропілену, пінополістиролу. Така послідовність технологічних операцій дає можливість отримати матеріал, який виступає більш дешевою альтернативою до нафтових бітумів, але зі значно вищим рівнем властивостей [7, 8]. Інтегруючи ланцюг отримання бітуму з НШ, в загальну технологію виготовлення асфальтобетону, можна запропонувати схему, наведену на рис. 1. НШ (потік I) з резервуару 1 подається до декантору 2 де відбувається поділ НШ на II потік – вуглеводнева фракція; III потік – мінеральна складова, яка разом з піском (X потік) поступає до бункеру мінерального наповнювача 7 та V потік – забруднена вода, яка поступає до блоку біохімічної очистки 15 і далі у заводський замкнутий цикл води. II потік минаючи теплообмінник 4 та пічку 5 подається до колони 3, де відбувається його поділ на VI потік – концентрована фракція та VII потік – паливні фракції, які можуть використовуватися, як технологічне паливо, разом з пічним паливом (VIII потік) у пічці 5, для нагрівання вуглеводневої фракції, що надходить до колони 3. Далі концентрована фракція (VI потік) крізь теплообмінник 4 подається до реактору, який обладнано електричним нагрівом та механічним перемішуючим пристроєм де змішується з полімерною добавкою (IV потік) до утворення однорідного продукту – бітумного зв'язуючого матеріалу (XI потік). Після цього, XI потік, разом з щебенем (фракції 5–10 мм, 15–20 мм, 20–40 мм), який подається з бункерів 8, конвеєрами 9, 10, піском і мі-

неральним наповнювачем з бункеру 7, надходить до сушильно-змішувального апарату 11. Також, у апарат 11 передбачене подача старого асфальтобетону (IX потік) з бункеру 14, що сприяє економії ресурсів та забезпечує безперервне виробництво [4, 9, 10]. У барабані апарату 11 відбувається сушка мінеральних матеріалів з використанням протиточною системою сушки, в зоні змішування розташовано змішувач двохвального типу, де, власно, і відбувається приготування асфальтобетону. Готовий асфальтобетон (XII потік) поступає до бункеру накопичувачу 13, який здатен зберігати температуру гарячого асфальтобетону протягом 4-х діб, а далі гарячий асфальтобетон завантажується до вантажівок, які обладнані термічними контейнерами для збереження його температури, від якої залежать його довговічність [11, 12] та поставляється до споживача.

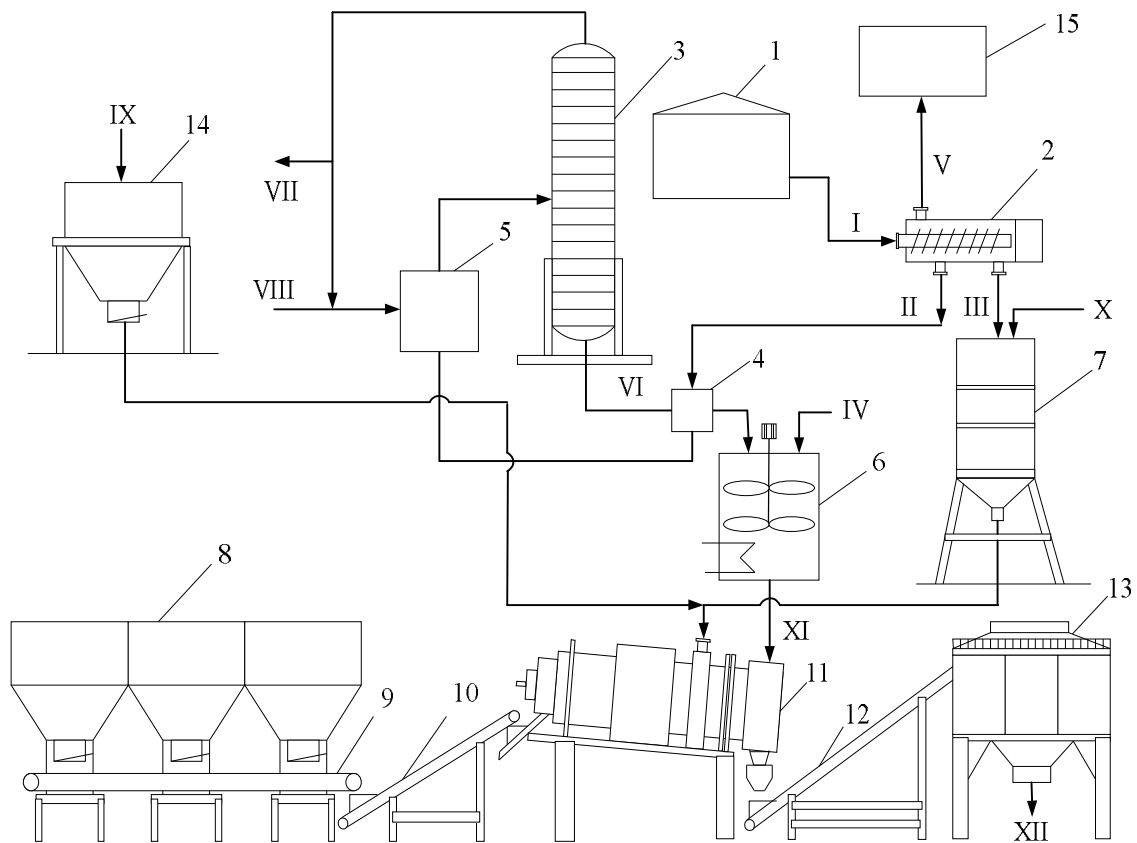


Рисунок 1 – Схеми виробництва асфальтобетону:

1 – резервуар з НШ; 2 – декантор; 3 – колона; 4 – теплообмінник; 5 – пічка; 6 – реактор; 7 – бункер мінерального наповнювача; 8 – бункери-дозатори; 9, 10, 12 – конвеєри; 11 – сушильно-змішувальний апарат; 13 – бункер - накопичувач; 14 – бункер старого асфальтобетону; 15 – блок біохімічної очистки; I – НШ; II – вуглеводнева фракція НШ; III – мінеральна частина НШ; IV – концентрована фракція; V – вода; VI – полімерні добавки; VII – паливна фракція; VIII – полімервмісних бітум; IX – старий асфальтобетон; X – пісок; XI – полімервмісний бітум; XII – асфальтобетон

Технологічний режим установки. Технологічний режим установки по виробництву гарячого (температура укладання не нижче 120 °С) асфальтобетону високої густини (залишкова пористість до 1 %) типу А (вміст щебеню 50–60 %), з НШ, що запропоновано вище, наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Показники технологічного режиму установки

№ п/п	Найменування показника	Числове значення
1.	Потужність виробництва, т/год.	100–120
2.	Тиск кипіння концентрованої фракції, °C	>360
3.	Тиск у апараті колонного типу, МПа	0,11
4	Температура у реакторі, °C	150–170
5.	Потужність горілки сушильно-змішувального апарату, МВт	800
6.	Температура нагріву матеріалу (щебінь, пісок), °C	160–250
7.	Температура зберігання готового асфальтобетону, °C	150–180

Висновки. Процес переробки (утилізації) нафтового шламу, що є одним з найважливіших завдань нафтопереробної промисловості повністю інтегрується до існуючої технологічної схеми виробництва асфальтобетону та не вимагає її переоснащення. Такий підхід дозволяє зменшити виробничі витрати, за рахунок повної заміни окислених нафтових бітумів на бітуми, що складаються з концентрованої вуглеводневої фракції, модифікованої полімерними добавками – відходами з поліпропілену і пінополістиролу. Це у свою чергу, дозволяє отримувати гарячий асфальтобетон з більш високими рівнем якості, у порівнянні з асфальтобетоном, що містить окислені нафтові бітуми.

Література

1. Additives in asphalt / G. King, H. King, R. D. Pavlovich, A. L. Epps, P. Kandhal, // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. – 1999. – Vol. 68A. – pp. 32–69.
2. Eco-friendly materials for a new concept of asphalt pavement / K. J. Kowalski et al. // Transportation Research Procedia. – 2016. – №14. – pp. 3582–3591.
3. Partial replacement of asphalt binder with bio-binder: characterization and modification / E.H. Fini, I.L.Al-Qadi, Z. You, B. Zada, J. Mills-Beale // International Journal of Pavement Engineering. – 2012. – Vol.13. – Issu 6. – pp. 515–522.
4. Aurangzeb Q. Asphalt pavements with high reclaimed asphalt pavement content: economic and environmental perspectives / Q. Aurangzeb, I. Al-Qadi // Transp. Res. Rec. – 2014. – № 2456. – pp. 161–169.
5. Oner J. Utilization of recycled asphalt concrete with warm mix asphalt and cost-benefit analysis / J. Oner, B. Sengoz // PLoS One. – 2015. – №10(1). – e116180. ELI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116180>
6. Isam A.H. Production of sustainable pavement with oil sludge / A.H. Isam, Al Zubaidy, A. K. Al-Tamimi// Road Materials and Pavement Design. – 2014. –Volume 15. – Issue 3. – pp. 691–700.
7. Kishchynskyi S. Improving quality and durability of bitumen and asphalt concrete by modification using recycled polyethylene based polymer composition / S. Kishchynskyi, V. Nagaychuk, A. Bezuglyi // Procedia Engineering. – 2016. – Volume 143. – pp.119–127.
8. Mardupenko A. Technology of modified bitumen production for the road construction / A. Mardupenko, A. Grigorov, I. Sinkevich, A. Tulskaia // Petroleum & Coal journal. – 2019. – Volume 61. – Issue 4. – pp. 672–676.
9. Silva H.M. Are totally recycled hot mix asphalt a sustainable alternative for road paving? / H.M. Silva, J.R. Oliveira, C.M. Jesus // Resources, Conservation and Recycling. – 2012. – Vol. 60. – pp. 38–48.

10. Martins Zaumanis. 100% hot mix asphalt recycling: challenges and benefits / M. Zaumanis, R. B. Mallick, R. Frank // *Transportation Research Procedia*. – 2016. – Volume 14. – pp. 3493–3502.
11. J. Byzyka Thermal segregation of asphalt material in road repair / J. Byzyka, M. Rahman, D. Albert Chamberlain // *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. – 2017. – Volume 4. – Issue 4. – pp. 360–371.
12. Muhammad A. Syuhada. Study of temperature loss of hot mix asphalt during transportation / M. A. Syuhada, S. Huzni, Z. Fuadi // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. – Volume 523. – pp. 1–7.

УДК 625.855.31

Мардупенко О.О., Григоров А.Б., Сінкевич І.В.

ВИКОРИСТАННЯ НАФТОВОГО ШЛАМУ У ВИРОБНИЦТВІ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Запропоновано використання нафтового шламу – відходу нафтопереробної промисловості у технологічному процесі отримання асфальтобетону – матеріалу, який має широкий спектр застосування, та у зв'язку з чим, користується значним попитом на ринку будівельних матеріалів. Основним напрямком використання нафтового шламу у наведеному виробництві є отримання з нього методом концентрування, високиплячої вуглеводневої фракції (температура кипіння $>360\text{ }^{\circ}\text{C}$) яка модифікується полімерними добавками (поліпропіленом або пінополістиролом), та у результаті чого набуває властивостей бітуму. Даний бітум здатен повністю замінити, нафтові бітуми, без яких, сьогодні неможливо отримати асфальтобетон з рівнем якості, який відповідає вимогам нормативної документації.

Також, запропоновано схему, яка поєднує у себе усі стадії отримання бітуму з нафтового шламу та використання цього бітуму разом з мінеральними компонентами та старим асфальтобетоном для отримання гарячого (температура укладання не нижче $120\text{ }^{\circ}\text{C}$) асфальтобетону високої густини (залишкова пористість до 1 %) типу А (вміст щебеню 50–60 %). Використання у схемі старого асфальтобетону, сприяє економії ресурсів за рахунок використання вторинної сировини та забезпечує безперервне виробництво, тим самим, знижуючи собівартість кінцевого продукту.

Ключові слова: нафтовий шлам, асфальтобетон, вуглеводнева фракція, бітум, полімерна добавка, змішування компонентів, мінеральний наповнювач.

Мардупенко А.А., Григоров А.Б., Синкевич И.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕФТЯНОГО ШЛАМА В ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Предложено использование нефтяного шлама – отхода нефтеперерабатывающей промышленности в технологическом процессе производства асфальтобетона – материала, который имеет широкий спектр применения, и в связи с чем, пользуется большим спросом на рынке строительных материалов. Основным направлением использования нефтяного шлама в данном производстве, является получение из него методом

концентрирования, высококипящей углеводородной фракции (температура кипения $> 360\text{ }^{\circ}\text{C}$), которая модифицируется полимерными добавками (полипропиленом или пенополистиролом), и в результате чего, приобретает свойства битума. Данный битум способен полностью заменить, нефтяные битумы, без которых, сегодня невозможно получить асфальтобетон с уровнем качества, который соответствует требованиям нормативной документации.

Также, предложена схема, которая сочетает в себе все стадии получения битума из нефтяного шлама и использование этого битума вместе с минеральными компонентами и старым асфальтобетоном для получения горячего (температура укладки не ниже $120\text{ }^{\circ}\text{C}$) асфальтобетона высокой плотности (остаточная пористость до 1%) типа А (содержание щебня $50\text{--}60\%$). Использование в схеме старого асфальтобетона, способствует экономии ресурсов за счет использования вторичного сырья и обеспечивает непрерывное производство, тем самым, снижая себестоимость конечного продукта.

Ключевые слова: нефтяной шлам, асфальтобетон, углеводородная фракция, битум, полимерная добавка, смешивание компонентов, минеральный наполнитель.

Mardupenko A., Grigorov A., Sinkevich I.

USE OF PETROLEUM SLUDGE IN PRODUCTION ASPHALT CONCRETE

It is proposed to use oil sludge – waste of oil refining industry in the technological process of producing asphalt - a material that has a wide range of applications and is therefore in high demand in the market of construction materials. The main area of use of sludge in the above production is to obtain from it a method of concentration, high-boiling hydrocarbon fraction (boiling point $> 360\text{ }^{\circ}\text{C}$) that is modified by polymer additives (polypropylene or polystyrene foam), and as a result acquires the properties of bitumen. This bitumen is capable of completely replacing petroleum bitumen, without which it is impossible to obtain asphalt concrete with a quality level that meets the requirements of the standard documentation.

Also, a scheme is proposed that combines all stages of the production of bitumen from oil sludge and the use of this bitumen together with mineral components and old asphalt to produce hot (laying temperature not lower than $120\text{ }^{\circ}\text{C}$) high density asphalt concrete (residual porosity up to 1%) type A (crushed stone content $50\text{--}60\%$). Used in the old asphalt concrete scheme, it saves resources through the use of recyclables and ensures continuous production, thereby reducing the cost of the final product.

Keywords: oil sludge, asphalt, hydrocarbon fraction, bitumen, polymer additive, component mixing, mineral filler.

Пономаренко Г.В., к.техн.н., доцент, Ведь В.Є., д.техн.н., професор,
Горбунов К.О., к.техн.н., професор

РОЗРАХУНОК ТА ПРОЕКТУВАННЯ НОСІЯ КАТАЛІЗАТОРУ НЕЙТРАЛІЗАТОРА ГАЗОВИХ ВИКИДІВ СМІТТЕСПАЛЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна*

Ключові слова: газові викиди, каталітичний нейтралізатор, носій каталітично-активних речовин, тверді побутові відходи.

Вступ. Життєдіяльність людини завжди пов'язана з утворенням значної кількості різноманітних відходів. Природний приріст населення і загальне підвищення рівня життя призводять до збільшення споживання товарів і, особливо, пакувальних матеріалів разового користування, які становлять понад третину міського сміття. Ці фактори відчутно позначаються на збільшенні обсягів загальної кількості твердих побутових відходів (ТПВ). Кількість ТПВ, що утворюється на душу населення у світі, складає 150 кг/рік та сягає 700 кг/рік у де-яких розвинутих країнах. Щорічний приріст ТПВ у різних країнах коливається від 3 % до 10 % [1].

Питомі показники утворення відходів по Україні в середньому складають 250–300 кг/рік на одну людину, а в великих містах досягають 330–380 кг/рік. За даними [2] щорічно в Україні утворюється 9–12 млн т. ТПВ. Близько 93 % побутових відходів потрапляє на звалища і полігони.

Економічно розвинуті країни за останні десятиріччя істотно знизили частку звалищ ТПВ за рахунок поєднання повторного використання матеріалів з рециклінгом, та за рахунок спалювання відходів, яке в більшості випадків передбачає використання енергії.

Наразі в Україні працює єдиний сміттєспалювальний завод у м. Київ, який був зданий у експлуатацію у 1987 році. Потужності заводу дозволяють спалювати лише 20 % твердих побутових відходів, що утворюються у столиці (240 тис. т/рік).

У теперішній час має місце тенденція встановлення стаціонарних чи пересувних сміттєпереробних установок (СПУ), що сприяють усуненню негативного впливу накопичення твердих споживчих відходів, що утворюються на локальних територіях. При цьому такі СПУ можуть обслуговувати певну кількість виробників відходів на значному територіальному просторі без нанесення шкоди навколишньому середовищу накопиченням сміття або вивезення його на полігони великовантажним автотранспортом, який здебільшого не оснащений каталітичними нейтралізаторами випускних газів [3]. Такі установки призначені для знешкодження твердих побутових, горючих промислових, харчових і сільськогосподарських відходів, непридатних до використання лікарських засобів, отрутохімікатів і т. п.

Однак при спалюванні ТПВ на сміттєпереробних установках (СПУ) утворюється до 4–8 тис. м³ димових газів, що містять монооксид карбону (CO), оксиди сульфуру (SO_x) і нітрогену (NO_x), хлоргідрогену, поліароматичні вуглеводні, хлорбензол, важкі метали (плюмбум, бісмут, кадмій та ін.) [4, 5]. Найбільш небезпечними речовинами, що

утворюються в процесі спалювання ТПВ, є сполуки групи діоксинів, які синтезуються в частинках сажі при взаємодії ароматичних сполук фенольного типу з хлористим воднем [4].

Досвід експлуатації сміттєспалювальних заводів показав [6, 7], що емісія діоксинів з димової труби істотно пов'язана з викидами частинок пилу і вуглецю. Основним заходом для пригнічення виділення діоксинів визнано зменшення викидів органічного вуглецю за рахунок забезпечення умов його повного вигорання, а також контроль рівня СО як основного показника повноти спалювання діоксинів [8].

Постановка проблеми. Одна з вищезазначених сміттєпереробних установок експлуатується морським торговим портом «Октябрьск» м. Миколаїв і призначена для спалювання споживчих відходів потужністю 100 кг/год.

Для термокаталітичної конверсії вуглеводнів, що утворюються в СПУ, було використано каталітичний перетворювач, який являє собою профільований отворами керамічний носій з нанесеними на його робочу поверхню каталітично активними центрами на основі Co_3O_4 .

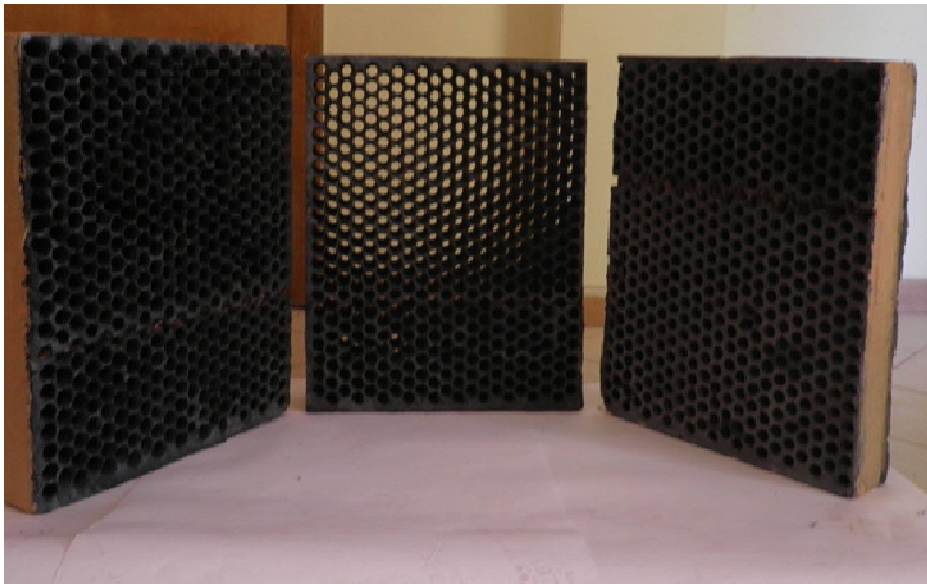


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд керамічного блоку з нанесеним каталізатором Co_3O_4

В процесі експлуатації була доведена висока ефективність впровадженого каталітичного перетворювача [9]. Оскільки запропонований блок очистки газових викидів розташовується на першому ступені очищення безпосередньо після камери термічної обробки відходів, то часом при підтримуванні його робочих параметрів виникають певні ризики. В процесі роботи СПУ можливе припинення функціонування окремих робочих зон блоку внаслідок різного роду причин (закупорка отворів, деактивація каталітично активних елементів через утворення нальоту з сажі, пошкодження конструкції внаслідок попадання вибухонебезпечних компонентів відходів та ін.).

Для спрощення заміни пошкоджених компонентів каталітичного перетворювача, в разі виникнення такої необхідності, було запропоновано використання в якості носія каталітично активних центрів набір керамічних трубок замість монолітного блоку. Такий підхід значно спрощує заміну і демонтаж деактивованих ділянок каталітичного нейтралізатора.

Розрахунок каталітичного нейтралізатора. Ґрунтуючись на дослідження [10], авторами проведено обчислення щодо визначення ступеню конверсії шкідливих газоподібних викидів в кінетичній (x_k) і дифузійній (x_d) областях в каталітичному блоці, що складається з набору керамічних трубок:

$$x_k = 1 - \exp\left(-t_k \cdot \frac{273}{T} \cdot k_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \cdot C_k^n \cdot \frac{S_k}{V_p}\right); \quad (1)$$

$$x_d = 1 - \exp(-\beta \cdot t_k \cdot \frac{S_k}{V_p}), \quad (2)$$

де t_k – час контакту газового потоку з каталізатором, с; k_0 – константа швидкості хімічної реакції, с^{-1} ; E – енергія активації, кДж/моль ; R – універсальна газова стала, $\text{Дж/(моль}\cdot\text{К)}$; T – температура у зоні реакції, К; n – показник ступеню при поверхневій концентрації каталізатора; C_k – поверхнева концентрація каталізатора, мг/см^2 ; S – площа поверхні каталітичного блоку з каталізатором, м^2 ; V_p – об'єм каталітичного блоку, м^3 ; β – коефіцієнт масовіддачі, м/с .

Необхідні значення константи швидкості хімічної реакції; показника ступеню при значенні поверхневої концентрації Co_3O_4 ; коефіцієнт масовіддачі, отримані в результаті досліджень, описаних в роботах [10]. Проведені обчислення дозволили знайти значення енергії активації $E=1,331 \cdot 10^5$ Дж/моль; передекспоненційного множника $k_0=3,358 \cdot 10^8$ с^{-1} , показника ступеня $n=0,547$, коефіцієнта масовіддачі $\beta=\exp(-22,494)$

Проведено розрахунок гідродинамічних показників в каталітичному блоці при варіюванні геометричних розмірів керамічних трубок, що складають його. Результати розрахунків, що отримано, зведено в таблицю 1.

Таблиця 1 – Гідродинамічні параметри розрахунків

Зовнішній радіус трубки, м	0,035	0,03	0,025	0,02	0,01
Внутрішній радіус трубки, м	0,025	0,02	0,015	0,01	0,005
Фіктивна швидкість газу, віднесена до вільного перетину камери, м/с	13,741	15,127	17,036	20,535	20,613
Площа вільного перетину блоку, м^2	0,185	0,168	0,149	0,124	0,123
Кількість елементів блоку	61	84	120	187	750
Критерій Рейнольдса	$5,59 \cdot 10^3$	$4,974 \cdot 10^3$	$4,432 \cdot 10^3$	$3,863 \cdot 10^3$	$2,04 \cdot 10^3$

На рисунку 2 графічно представлено результати розрахунку по визначенню ступеня каталітичної деструкції викидів на основі вуглеводнів в трубках різного розміру в поперечному перерізі від висоти цих трубок.

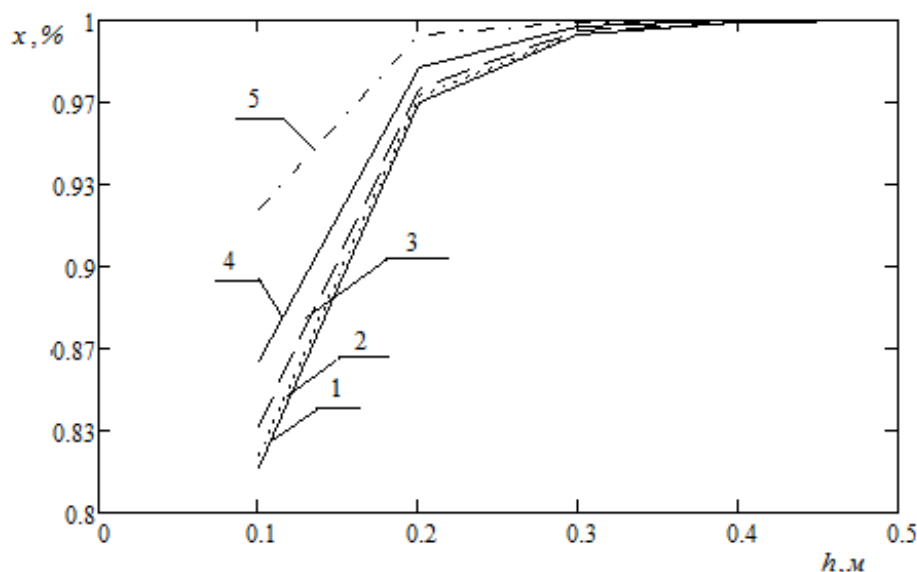


Рисунок 2 – Залежність ступеню термokatалітичної деструкції вуглеводнів (x) від висоти каталітичного блоку (h , м) на керамічному носії у вигляді набору трубок з внутрішнім радіусом, м:
крива 1 – 0,01; крива 2 – 0,02; крива 3 – 0,03; крива 4 – 0,04; крива 5 – 0,05

Вибір досліджуваного діапазону внутрішнього і зовнішнього радіусів трубок оснований на досвіді експлуатації трубчастих керамічних каталітичних перетворювачів на СПУ різного діаметру [11]. Встановлено, що канали діаметром менше 17 мм схильні до закупорки їх прохідних перетинів пилом і сажею, що утворюється при функціонуванні установки в результаті термічної утилізації відходів. У той же час у таблиці 1 можна спостерігати, що збільшення внутрішнього радіуса отворів тягне за собою зростання значення критерію Рейнольдса. Дані розрахунків (рис. 2) вказують на зниження ступеня термokatалітичної конверсії вуглеводнів при збільшенні внутрішнього радіуса трубок. На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що виготовлення керамічних трубок носія каталізатора з внутрішнім радіусом 0,01 м і зовнішнім радіусом 0,002 м є найбільш раціональним.

Наступним кроком проведено розрахунки, які дозволяють визначити оптимальну висоту блоків і поверхневу концентрацію Co_3O_4 , які необхідні для досягнення максимального ступеню конверсії вуглеводнів, утворених в процесі термічної обробки побутових відходів у СПУ морського порту «Октябрьск».

За отриманими розрахунковими даними побудована залежність термokatалітичної конверсії вуглеводнів від висоти каталітичного блоку (рис. 3) при різній поверхневій концентрації Co_3O_4 на носії.

Для значень поверхневої концентрації Co_3O_4 вище $0,3 \text{ мг/см}^2$ (рис. 3) збільшення висоти каталітичного блоку більше 0,4 м не є економічно виправданим, оскільки ступінь термokatалітичної конверсії сягає 98,5 % і вище. Для висоти блоку 0,3 м найбільш виправданою є поверхнева концентрація Co_3O_4 $0,3 \text{ мг/см}^2$.

Оскільки в камеру термічної утилізації відходів можуть потрапляти включення з різним вмістом вуглеводнів, були проведені розрахунки, що враховують вплив концентрації вуглеводнів на вході в каталітичний блок на каталітичну ефективність такого перетворювача (рис. 4).

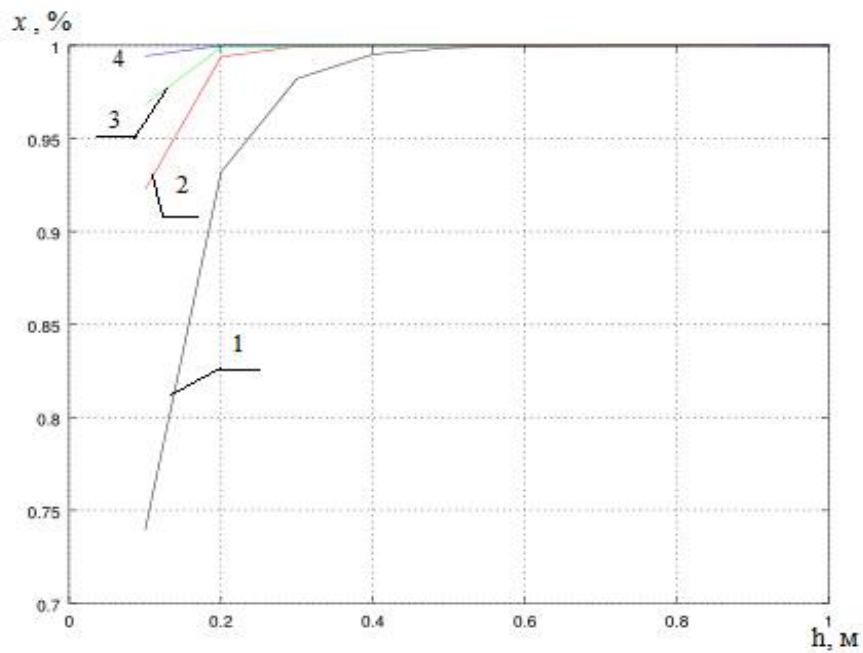


Рисунок 3 – Залежність ступеня термокаталітичної деструкції вуглеводнів (x) від висоти каталітичного блоку (h , м) з поверхневою концентрацією Co_3O_4 на керамічному носії, мг/см^2 : крива 1 – 0,1; крива 2 – 0,3; крива 3 – 0,5; крива 4 – 1

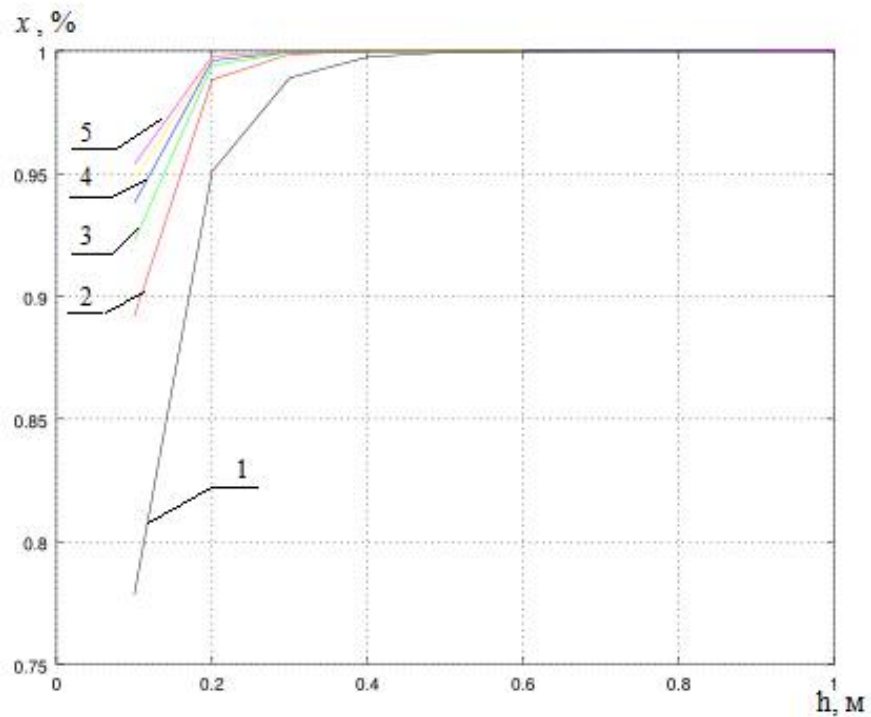


Рисунок 4 – Залежність ступеню термокаталітичної деструкції вуглеводнів (x) від висоти каталітичного блоку (h , м) з поверхневою концентрацією Co_3O_4 0,3 мг/см^2 при початковій концентрації вуглеводнів г/м^3 : крива 1 – 10 ; крива 2 – 30 ; крива 3 – 50; крива 4 – 70; крива 5 – 90; крива 6 – 110

Отримані дані представлено на рис. 4, які дозволяють зробити висновок, що збільшення концентрації вуглеводнів на вході в каталітичний блок не позначається негативно на його ефективності, а висота блоку рівна 0,3 м забезпечує високу ступінь очищення для всього інтервалу досліджуваних концентрацій вуглеводнів.

На основі проведених розрахунків і ґрунтуючись на дослідження [12] були виготовлені носії каталітично активних сполук, що представляють собою трубки складу (мас. дол.): кордієрит фракції 0,63–1,25 мм – 0,35–0,5; кордієрит фракції менш 0,63 мм – 0,3–0,45; корунд – 0,2–0,3; кордієрит фракції 1,25–2,5 мм – 0,2–0,25. Геометричні розміри трубок: висота – 0,3 м, зовнішній радіус – 0,04 м, внутрішній радіус – 0,01 м (рис. 5).



Рисунок 5 – Зовнішній вигляд керамічних трубок-носіїв з нанесеним каталізатором Co_3O_4

Трубки встановлювалися в камері першого ступеню очищення газових викидів сміттєпереробної установки, яка експлуатується морським торговим портом «Октябрьск» м. Миколаїв і призначена для спалювання відходів потужністю 100 кг/год. Процес каталітичної конверсії шкідливих домішок на першому ступеню протікає при температурі 800 °С. Схема загальних вузлів установки термокаталітичної утилізації сміття представлено на рис. 6.

Ефективність роботи трубчастого нейтралізатора сміттєпереробної установки морського торгового порту «Октябрьск» визначалася шляхом відбору проб в процесі його експлуатації при використанні газоаналізатора «Інфракар» для визначення вмісту оксиду карбону CO (II), а також фільтрів АФА і рідинних поглиначів типу Шотта з подальшим аналізом проб на хроматографі для інших речовин. Порівняльна характеристика каталітичної ефективності трубчастого і блочного перетворювача газових викидів наведених в таблиці 2.

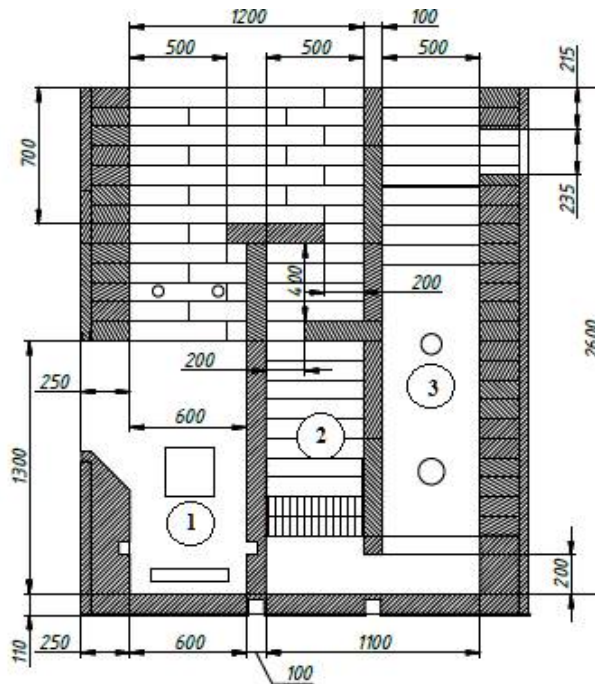


Рисунок 6 – Схема загальних вузлів установки термokatалітичної утилізації сміття:
1 – камера спалювання відходів; 2 – перший ступінь каталітичного очищення;
3 – другий ступінь каталітичного очищення

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика каталітичної ефективності трубчатого і блочного перетворювачів газових викидів.

Найменування компонентів	Кількість викидів, кг/ год				
	до очистки	після очистки		ступінь очистки	
		блок	трубки	блок	трубки
Оксид карбону (II)	15,2	1,54	0,83	89,99	94,5
Поліциклічні ароматичні вуглеводні	0,402	0,005	0,0047	98,8	99,0
Хлорвмісні вуглеводні	0,101	0,0024	0,0024	97,6	97,6
Граничні вуглеводні C ₃ –C ₂₀	1,514	0,021	0,020	98,6	98,7
Бенз(а)пірен	$0,135 \times 10^{-5}$	$0,1 \times 10^{-9}$	$0,091 \times 10^{-9}$	99,7	99,8

Результати, які представлено в таблиці 2, дозволяють зробити висновок, що каталітичні перетворювачі у вигляді трубок більш ефективні при каталітичному очищенні газових викидів у порівнянні з блоковими. У той же час слід зазначити очевидну економію використання каталітично активного з'єднання Co_3O_4 ($0,3 \text{ мг/м}^2$) при виробництві перетворювачів з носіями-трубками на відміну від блокових носіїв (10 мг/м^2). Також при експлуатації трубчастих каталізаторів значно спрощується заміна і демонтаж деактивованих ділянок каталітичного нейтралізатора, в той час як блоковий каталізатор при пошкодженні необхідно замінювати повністю, що значно збільшує експлуатаційні витрати.

Література

1. European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP)/Corinair Emission Inventory Guidebook. Version 4. Published by the European Environmental Agency. – Technical report No 11. – 2006.
2. Перспективи енергетичної утилізації твердих побутових відходів в Україні. Аналітична записка БАУ № 22. Матвеев Ю.Б., Гелетуха Г.Г. Біоенергетична асоціація України. – 2019. – 47 с.
3. Leonid L. Tovazhnyansky, Valery E. Ved'*, Vadim A. Koshchii, Alexandr I. Rovenskii, Evgeny V. Krasnokutskii. Mobile Thermocatalytic Waste Processing Complex/ CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS. – VOL. 35. – 2013. – PP. 907–912.
4. Ветошкин А.Г. Техника и технология обращения с отходами жизнедеятельности. Ч. 1. Системное обращение с отходами. М.: Инфра-Инженерия. – 2019. – 440 с.
5. В.Н. Лапицкий, Е.А. Борисовская, В.И. Гончаренко. Экологические последствия термической переработки твердых бытовых отходов // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – 2010. – Вип. 1. – С. 80–83.
6. Solid Waste Management and Recycling Technology of Japan. Toward a Sustainable Society Toward a Sustainable Society. Ministry of the Environment. Waste Management and Recycling Department. – 2012. – 28 p.
7. Waste Management in Germany 2018. Facts, data, diagrams. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). Berlin. – 43 p.
8. Гречко А.В. Современные методы термической переработки твердых бытовых отходов // Пром. Энергетика. 2006. – №9. – С. 48–50.
9. Пономаренко А.В. Создание каталитического блока очистки газовых выбросов мусороперерабатывающей установки производительностью 100 гк/ч / В.Е. Ведь, А.В. Пономаренко, Е.В. Краснокутский // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса: ОНАХТ. – 2014. – Вип. 45. – Т. 3. – С. 180–185.
10. Пономаренко А.В. Кинетические закономерности протекания гетерогенно-каталитических процессов очистки газовых выбросов / Ведь В.Е., Пономаренко А.В., Петар Варбанов, Сатаев М.И. // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2015. – № 3. – С. 51–55.
11. Сметанин В. И. Защита окружающей среды от отходов производства и потребления / Сметанин В. И. – М.: Колос. – 2000. – 232 с.
12. Пономаренко А.В. Разработка материалов керамических носителей каталитических преобразователей газовых выбросов / Ведь В.Е., Пономаренко А.В. // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2014. – № 2. – С. 36–41.

Bibliography (transliterated)

1. European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP)/Corinair Emission Inventory Guidebook. Version 4. Published by the European Environmental Agency. – Technical report No 11. – 2006.
2. Perspektivi energetichnoyi utilizatsiyi tverdiy pobutovih vidhodiv v Ukraini. Analitichna zapiska BAU # 22. Matveev Yu.B., Geletuha G.G. Bioenergetichna asotsiatsiya Ukraini. – 2019. – 47 p.
3. Leonid L. Tovazhnyansky, Valery E. Ved'*, Vadim A. Koshchii, Alexandr I. Rovenskii, Evgeny V. Krasnokutskii. Mobile Thermocatalytic Waste Processing Complex/ CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS. – VOL. 35. – 2013. – PP. 907–912.

4. Vetoshkin A.G. Tehnika i tehnologiya obrascheniya s othodami zhiznedeyatelno-sti. Ch. 1. Sistemnoe obraschenie s othodami .M.: Infra-Inzheneriya. – 2019. – 440 p.
5. V.N. Lapitskiy, E.A. Borisovskaya, V.I. Goncharenko. Ekologicheskie posledstviya termicheskoy pererabotki tverdyih byitoviyh othodov // Tehnogenno-ekologichna bezpeka ta tsivilniy zahist. – 2010. – Vip. 1. – P. 80–83.
6. Solid Waste Management and Recycling Technology of Japan. Toward a Sustainable Society Toward a Sustainable Society. Ministry of the Environment. Waste Management and Recycling Department. – 2012. – 28 p.
7. Waste Management in Germany 2018. Facts, data, diagrams. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). Berlin. – 43 p.
8. Grechko A.V. Sovremennyye metody termicheskoy pererabotki tvYordiyh byitoviyh othodov // Prom. Energetika. 2006. – #9. – P. 48–50.
9. Ponomarenko A.V. Sozдание kataliticheskogo bloka ochistki gazoviyh vyibrosov musoropererabatyivayuschey ustanovki proizvoditelnostyu 100 gk/ch / V.E. Ved, A.V. Ponomarenko, E.V. Krasnokutskiy // Naukovi pratsi Odeskoyi natsionalnoyi akademiyi harchovih tehnologiy. – Odesa: ONAHT. – 2014. – Vip. 45. – T. 3. – P. 180–185.
10. Ponomarenko A.V. Kineticheskie zakonomernosti protekaniya geterogenno-kataliticheskikh protsessov ochistki gazoviyh vyibrosov / Ved V.E., Ponomarenko A.V., Petar Varbanov, Sataev M.I. // Integrovani tehnologiyi ta energozberezheniya. – 2015. – # 3. – P. 51–55.
11. Smetanin V.I. Zashchita okruzhayuschey sredy ot othodov proizvodstva i potrebleniya / Smetanin V.I. – M.: Kolos. – 2000. – 232 p.
12. Ponomarenko A.V. Razrabotka materialov keramicheskikh nositeley kataliticheskikh preobrazovateley gazoviyh vyibrosov / Ved V.E., Ponomarenko A.V. // Integrovani tehnologiyi ta energozberezheniya. – 2014. – # 2. – P. 36–41.

УДК 536.248.2

Пономаренко Г.В., Ведь В.Є., Горбунов К.О.

РОЗРАХУНОК ТА ПРОЕКТУВАННЯ НОСІЯ КАТАЛІЗАТОРУ НЕЙТРАЛІЗАТОРА ГАЗОВИХ ВИКИДІВ СМІТТЕСПАЛЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Проблема утворення та накопичення твердих побутових відходів гостро стоїть у всьому світі. Постійно зростаюча чисельність населення (особливо у містах) призводить до необхідності приділяти цьому питанню серйозну увагу. Найбільш розповсюдженим способом утилізації твердих побутових відходів в світі залишається його високотемпературне спалювання. У найбільш економічно розвинених країнах світу на цей час будується і експлуатується велика кількість сміттєспалювальних заводів. Однак в Україні полігони та сміттєзвалища все ще залишаються основними місцями накопичення відходів без подальшої його утилізації. У зв'язку з таким становищем деякі підприємства оснащують свої території мобільними або стаціонарними сміттєпереробними установками. Вирішуючи питання утилізації побутових відходів методом високотемпературного спалювання, такі установки повинні забезпечувати існуючі норми складу газоподібних викидів в атмосферу.

Одна з таких сміттєпереробних установок використовується морським портом «Октябрьск» у м. Миколаїв з використанням керамічного блоку з нанесеним каталізатором для нейтралізації токсичних газоподібних викидів. У даній роботі запропонована модернізація каталітичного перетворювача з метою зменшення капітальних витрат при його експлуатації та підвищення каталітичної ефективності очищення викидів в атмосферу. Розраховано новий керамічний носій каталітично-активних сполук, що представляє собою набір керамічних трубок заданого геометричного розміру. В роботі представлені результати гідродинамічних і кінетичних розрахунків, виконані в програмному пакеті Mathcad. Проілюстровано зовнішній вигляд нового синтезованого нейтралізатора газових викидів, який встановлено в камеру спалювання відходів морського порту «Октябрьск» м. Миколаїв.

Впровадження запропонованої модифікації нейтралізатора газових викидів підтвердило його високу ефективність в процесі експлуатації протягом одного року. Дані замірів показників вмісту токсичних речовин в димових газах від сміттєпереробної установки наведені в роботі.

Ключові слова: газові викиди, каталітичний нейтралізатор, носій каталітично-активних речовин, тверді побутові відходи.

Пономаренко А.В., Ведь В.Е., Горбунов К.А.

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ НОСИТЕЛЯ КАТАЛИЗАТОРА “НЕЙТРАЛИЗАТОРА ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ МУСОРΟΣЖИГАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ

Проблема образования и накопления твердых бытовых отходов остро стоит во всем мире. Постоянно возрастающая численность населения (особенно в городах) приводит к необходимости уделять этому вопросу серьезное внимание. Наиболее распространенным способом утилизации твердых бытовых отходов в мире остается его высокотемпературное сжигание. В наиболее экономически развитых странах мира на сегодняшний день строится и эксплуатируется большое количество мусоросжигательных заводов. Однако в Украине полигоны и свалки все еще остаются основными местами накопления отходов без дальнейшей его утилизации. В связи с таким положением вещей некоторые предприятия оснащают свои территории мобильными или стационарными мусороперерабатывающими установками. Решая вопрос утилизации бытовых отходов методом высокотемпературного сжигания, данные установки должны обеспечивать существующие нормы состава газообразных выбросов в атмосферу.

Одна из таких мусороперерабатывающих установок используется морским портом «Октябрьск» в г. Николаев с использованием керамического блока с нанесенным каталізатором для нейтралізації токсичних газообразних викидів. В данной работе предложена модернізація каталітического преобразователя с целью уменьшения капитальных затрат при его эксплуатации и повышения каталітической эффективности очистки выбросов в атмосферу. Рассчитан новый керамический носитель каталітически активных соединений, представляющий собой набор керамических трубок заданного размера. В работе представлены результаты гидродинамических и кинетических расчетов, выполненные в программном пакете Mathcad. Показан внешний вид нового синтезированного нейтралізатора газовых выбросов, установленный в камеру сжигания отходов морского порта «Октябрьск» г. Николаев.

Внедрение предложенной модификации нейтрализатора газовых выбросов подтвердило его высокую эффективность в процессе эксплуатации в течение одного года. Данные замеров показателей содержания токсичных веществ в дымовых газах от мусороперерабатывающей установки приведены в работе.

Ключевые слова: газовые выбросы, каталитический нейтрализатор, носитель каталитично-активных веществ, твердые бытовые отходы

Ponomarenko H., Ved V., Gorbunov K.

CALCULATION AND DESIGN OF THE CATALYST CARRIER FOR THE GAS EMISSION NEUTRALIZER FROM THE WASTE PROCESSING COMPLEX

The problem of generation and accumulation of municipal solid waste is an immediate problem all over the world. The ever-growing population (especially in cities) leads to serious attention to this issue. The most common way of recycling of municipal solid waste in the world is its high-temperature incineration. A lot of waste incineration plants are being built and operated today in the most economically developed countries of the world. However, in Ukraine domestic wastes landfills are still the main places of waste accumulation without further disposal. In connection with this situation, some enterprises equip their territories with mobile or stationary waste recycling plants. These plants should ensure existing standards for the composition of gas emissions into the atmosphere and solve the issue of waste disposal by high-temperature incineration.

One of these waste recycling plants is used by the “Oktyabrsk” seaport in Nikolaev-city with a ceramic block and supported catalyst to neutralize toxic gas emissions. In this work, the modernization of the catalytic converter is proposed in order to reduce the capital costs during its operation and increase the catalytic efficiency of purification of emissions into the atmosphere. A new ceramic carrier of catalytically active compounds has been calculated. It is a set of ceramic tubes of a given size. The article presents the results of hydrodynamic and kinetic calculations performed in the Mathcad software package. The appearance of the new synthesized gas emission neutralizer installed in the waste combustion chamber of the seaport “Oktyabrsk” in Nikolaev-city is shown.

The introduction of the proposed modification of the gas emission neutralizer confirmed its high efficiency during operation for one year. Measurement data on the toxic substances in flue gases from a waste processing plant are given in the work.

Keywords: gas emissions, catalytic converter, carrier of catalytically active substances, municipal solid waste

Махлай К.А., аспірант, Цейтлін М.А., д.техн.н., професор,
Райко В.Ф., к.техн.н., професор

ВПЛИВ СКЛАДУ СТІЧНИХ ВОД ПТАХОФАБРИКИ НА РЕЛЕВАНТНУ ДОЗУ КОАГУЛЯНТУ ПОЛЮКСИХЛОРИДУ АЛЮМІНІЮ

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна*

Ключові слова: очистка стічних вод, стічні води птахофабрики, коагулянт, доза коагулянту, поріг коагуляції, завислі речовини, ХСК, БСК.

Вступ. Для локальної очистки стічних вод підприємств харчової промисловості найбільш часто використовується напірна флотація з попередньою коагуляцією [1]. Одним з ключових аспектів під час технологічного налагодження роботи вузла фізико-хімічної очистки є підбір релевантного коагулянту і умов середовища для його застосування. Вибір оптимальних умов для застосування того чи іншого коагулянту залежить від багатьох факторів: складу стічних вод, сировини що використовується на виробництві, пора року, локація підприємства і багато іншого.

При цьому вкрай важливо раціональне використання реагентів. Так, надмірна витрата реагентів, що інтенсифікують процес очищення, може не тільки не поліпшити якість очистки, а й спричинити повторне забруднення стоку реагентами, в результаті чого неочищені стоки потраплять до водойм.

Аналіз літературних джерел.

Стічні води м'ясокомбінатів і птахофабрик є складною системою, що включає безліч висококонцентрованих забруднень різної природи і походження [2, 3]. Серед них можна виділити кілька груп: забруднення органічного походження (пух, перо, шерсть, жир, шкури, канига і т.і.), мінерального походження (пісок, залишки ґрунту і т.і.) і хімікати, що використовуються на виробництві (миючі засоби для миття устаткування, підлог, автотранспорту) [4, 5].

Стічні води утворюються на всіх етапах виробництва і, найчастіше, надходять на очистку у вигляді суміші стічних вод різних цехів підприємства. На комбінатах з переробки м'яса птиці середня витрата стічних вод становить близько 26,5 літрів води на одну птицю [6]. Для локальної очистки на підприємствах найбільш часто застосовують напірну реагентну флотацію [7]. Цей метод очищення стічних вод може бути досить ефективним за умови добре налагодженого технологічного режиму [3]. До його переваг можна віднести: невеликі капітальні та експлуатаційні витрати в порівнянні з іншими методами очищення, і високу ефективність [9, 10]. Устаткування досить просте в експлуатації, проте вимагає якісної технологічної наладки та постійної присутності на підприємстві спеціаліста – технолога. Налагодження ж технологічного режиму включає в себе бага то етапів, при цьому одним з фундаментальних є підбір коагулянту, його дози і умов середовища для проведення коагуляції [11].

Проведені дослідження в даній області показують, що визначення оптимальних умов коагуляції на підставі вже наявних результатів проблематично через досить вели-

кий розкид одержуваних результатів і відсутності їх систематизації [12, 13]. До того ж, більшість робіт присвячені вивченню окремих випадків і не розглядають всю галузь в цілому.

Наприклад, в роботі [14] для стічних вод бойні був визначений робочий діапазон $pH \approx 6$ і доза коагулянту поліоксихлориду алюмінію 650 мг/л. Однак в роботі [15] дослідникам вдалося домогтися найбільш інтенсивної коагуляції при $pH = 10$ і дозі сульфату заліза 350 мг/л.

Такий широкий розбій даних пов'язаний з багатьма факторами, такими як реагенти, що використовуються на виробництві, культура виробництва, якість води, що використовується на підприємстві і багато іншого [1, 12].

Всі ці чинники значно ускладнюють процес підбору правильної дози реагенту на етапі проектування і значно збільшують ризик потрапляння в проект невідповідного обладнання, що тягне за собою додаткові капітальні витрати і збільшення термінів введення об'єкта в експлуатацію.

Щоб цього уникнути, на етапах розробки технологічної схеми і проектування важливо точно прогнозування як ефекту очищення, що забезпечується системою, яка проектується, так і витрат реагентів.

Некоректно запроектовані дози реагентів спричинять невідповідність обладнання реагентного господарства, що закладається в проект фактичним потреб підприємства [12]. Так, занадто висока розрахункова доза реагентів вимагає встановлення завищеної кількості обладнання, що, у свою чергу, призводить до збільшення капітальних витрат, площі локальних очисних споруд та складських приміщень для зберігання реагентів. Занадто ж низька доза реагенту в проекті може привести до ситуації, в якій придбане обладнання не зможе забезпечити необхідної продуктивності. В результаті чого не вдасться досягти максимальної ефективності очищення [16].

Цілі й задачі дослідження

Мета проведеного дослідження полягає в оцінюванні ступеня впливу складу стічних вод на поріг коагуляції (найменшу дозу коагуляції при якій у дисперсній системі починається коагуляція) поліоксихлориду алюмінію.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання: визначенні пороги коагуляції для стічних вод аналогічних підприємств, що різняться за складом. Визначено ступінь впливу складу стічних вод на поріг коагуляції (найменшу дозу коагулянту при якій в дисперсній системі починається коагуляція) із застосуванням коагулянту поліоксихлорид алюмінію.

Зокрема, при проведенні дослідження були вивчені ступінь впливу вихідного вмісту завислих речовин, ХСК і БСК₅ на поріг коагуляції.

Матеріали й методи дослідження. Об'єктом дослідження були прийняті стічні води забійних цехів діючих підприємств з переробки м'яса птиці. Стічні води надходять від забою і патрання птиці, миття та дезінфекції обладнання та приміщень.

Досліджувані стоки містять велику кількість жирів, білків, часток органіки, а також механічних забруднень і піску. Для усереднення складу і витрати стічні води, що пройшли механічну очистку, надходять до усереднювача з механічним перемішуванням з яких потім зануреними насосами подаються на флотатор.

Усереднені склади досліджуваних стічних вод шести різних підприємств наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Склад виробничих стічних вод, що надходять на очистку

Найменування параметра	Од. вим.	Значення параметру по об'єктах					
		1	2	3	4	5	6
Завислі речовини	мг/л	2500	800	2000	450	700	3500
ХСК	мг/л	5500	3950	4520	1000	2500	8400
БСК ₅	мг/л	2500	2200	2300	600	1500	3000
рН	—	6÷8					
Максимальна температура стоку	°С	35					
Мінімальна температура стоку	°С	24					

При проведенні дослідження застосовувалися такі реагенти: коагулянт – поліоксихлорид алюмінію АКВА-Аурат-18 ТУ 2163-069-00205067-2007; ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 17 \pm 0.5 \%$); реагенти для коригування рН: гідроксид натрію NaOH по ГОСТ Р 55064-2012; розчин лимонної кислоти ($\text{H}_6\text{C}_8\text{O}_7$; 8–9 %).

Для визначення порогу коагуляції, відібрана з усереднювача стічна вода набиралася в мірні склянки об'ємом 500 мл. Потім вводився коагулянт, коректор рН (кислота або луг) і виконувалося перемішування в два етапи: спочатку швидко, а потім повільно. Утворену суспензію відстоювали протягом 30 хвилин з послідовним відбором проби освітленої води і вимірюванням показників її якості. Дослідження проводилися в широкому діапазоні доз коагулянту. На підставі отриманих результатів були побудовані криві коагуляції для кожного з досліджуваних зразків і визначені пороги коагуляції.

Виміри проводилися за допомогою стандартних вимірювальних приладів – портативного вологозахищеного рН-метра Hanna HI 9124 і колориметра HACH DR/890. Отримані експериментальні дані оброблялися за допомогою електронних таблиць на програмному забезпеченні MS Office Excel.

Результати дослідження впливу складу стічних вод птахофабрик на поріг коагуляції із застосуванням поліоксихлориду алюмінію. Вплив концентрації завислих речовин у вихідному стоці на поріг коагуляції із застосуванням поліоксихлориду алюмінію (ПОХА) наведено на рис. 1.

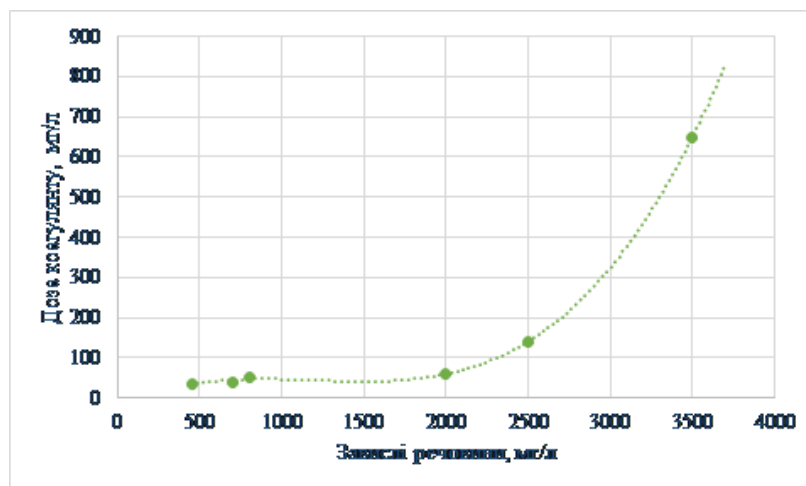


Рисунок 1 – Вплив вмісту завислих речовин у вихідному стоці на поріг коагуляції поліоксихлориду алюмінію (ПОХА)

За невеликого вмісту завислих речовин в початковому стоці (до 2000 мг/л) поріг коагуляції залишається практично однаковим в усьому діапазоні наведених вимірювань і знаходиться в межах 40÷50 мг/л. Так, при концентрації завислих речовин у вихідному стоці 450 мг/л доза коагулянту склала 35 мг/л, при 700 мг/л завислих – 40 мг/л, а при 800 мг/л – 50 мг/л коагулянту. Послідуюче підвищення концентрації завислих речовин до 2000 мг/л призводить до збільшення дози коагулянту до 60 мг/л.

Стрімке зростання дози коагулянту, було відзначене при подальшому збільшенні вмісту завислих речовин у вихідному стоці: так, при концентрації завислих речовин 2500 мг/л доза склала 140 мг/л. А це в 2,3 рази більше ніж при концентрації 2000 мг/л. Подальше збільшення концентрації зв'язаних речовин до 3500 мг/л збільшує дозу реагенту до 650 мг/л.

Аналогічна картина спостерігається і при збільшенні значення ХСК стічних вод, див. рис. 2. При значеннях ХСК стічних вод до 4000 мг/л необхідна доза коагулянту залишається практично однаковою і знаходиться в інтервалі від 40 до 50 мг/л. При подальшому зростанні значення ХСК стічних вод необхідна доза коагулянту починає різко збільшуватися. Так, при ХСК 5500 мг/л доза ПОХА становить вже 140 мг/л, а при збільшенні ХСК до 8400 мг/л – вона збільшиться до 650 мг/л.

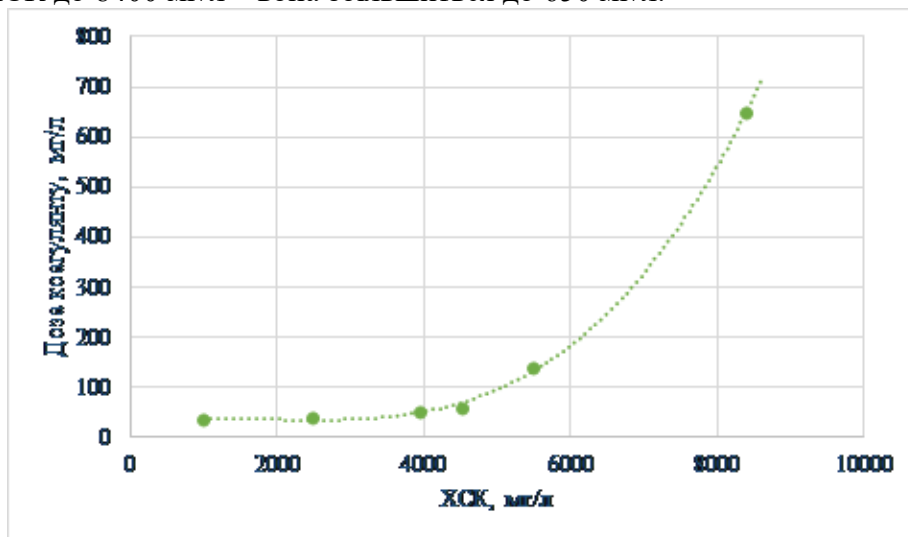


Рисунок 2 – Вплив значення ХСК вихідного стоку на поріг коагуляції поліоксихлориду алюмінію (ПОХА)

Зміна значення БСК₅ впливає на поріг коагуляції аналогічно зміні ХСК, проте вплив на необхідну дозу коагулянту більш сильний. Крива, що відображає вплив БСК₅ на поріг коагуляції із застосуванням поліоксихлориду алюмінію наведена на рис. 3. Як видно з графіка, крива ідентична наведеним на рисунках 1 і 2. При невеликих значеннях БСК₅ <2500 мг/л необхідна для коагуляції доза коагулянту залишається практично незмінною в інтервалі від 40 до 50 мг/л. З подальшим збільшенням БСК₅ збільшується і доза ПОХА, необхідного для коагуляції. Так, при збільшенні БСК₅ на 20 % з 2500 мг/л до 3000 мг/л доза коагулянту збільшилася в 4,6 рази – з 140 до 650 мг/л.

Оцінка впливу складу стічних вод на поріг коагуляції поліоксихлориду алюмінію. Спираючись на отримані під час проведення досліджень результати можна отримати рівняння, що описують характер зміни необхідної дози коагулянту у залежності від концентрації в стоці конкретного компонента.

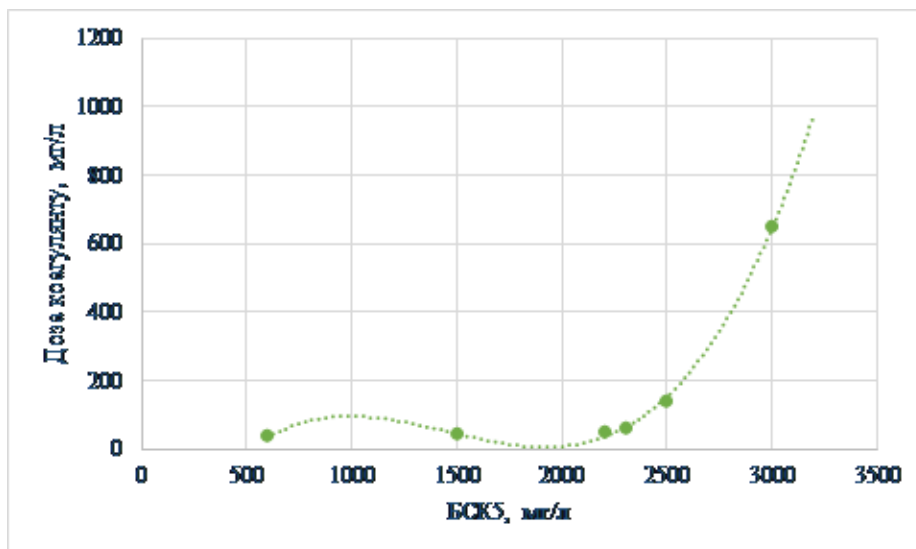


Рисунок 3 – Вплив БСК₅ вихідного стоку на поріг коагуляції поліоксихлориду алюмінію (ПОХА)

Вплив вмісту завислих речовин у вихідному стоці на необхідну дозу коагулянту може бути описано рівнянням:

$$Y = 5 \cdot 10^{-8} \cdot X_{\text{ВВ}}^3 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot X_{\text{ВВ}}^2 + 0,21 \cdot X_{\text{ВВ}} - 27,2, \quad (1)$$

де Y – необхідна доза коагулянту поліоксихлориду алюмінію, мг/л; $X_{\text{ВВ}}$ – вміст завислих речовин в початковому стоці, мг/л.

Вплив значення ХСК у вихідному стоці на необхідну дозу коагулянту може бути описано рівнянням

$$Y = 2 \cdot 10^{-9} \cdot X_{\text{ХСК}}^3 - 1 \cdot 10^{-5} \cdot X_{\text{ХСК}}^2 + 2,33 \cdot 10^{-2} \cdot X_{\text{ХСК}} - 24,35, \quad (2)$$

де $X_{\text{ХСК}}$ – значення ХСК вихідного стоку, мг/л.

$$Y = 2 \cdot 10^{-7} \cdot X_{\text{БСК}_5}^3 - 1 \cdot 10^{-3} \cdot X_{\text{БСК}_5}^2 + 1,28 \cdot X_{\text{БСК}_5} - 427,82, \quad (3)$$

де $X_{\text{БСК}_5}$ – значення БСК₅ вихідного стоку, мг/л.

Вплив значення БСК₅ у вихідному стоці на необхідну дозу коагулянту може бути описано рівнянням

Як видно з наведених вище рівнянь (1), (2) і (3), всі отримані в даному дослідженні криві задовільно описуються поліномом третього ступеня. З використанням зазначених рівнянь можна, знаючи хоча б один з показників стічних вод (концентрація завислих речовин, ХСК або БСК₅), спрогнозувати дозу коагулянта, відповідну порогу коагуляції.

Отримані значення порога коагуляції для досліджених стічних вод різних під-

приємств були зведені в загальну таблицю. див. табл. 2.

Таблиця 2 – Пороги коагуляції для стічних вод з різним складом

Найменування параметра	Од. вим	Значення параметру по об'єктах					
		1	2	3	4	5	6
Завислі речовини (вх.)	мг/л	2500	800	2000	450	700	3500
ХСК (вх.)	мг/л	5500	3950	4520	1000	2500	8400
БСК ₅ (вх.)	мг/л	2500	2200	2300	600	1500	3000
Доза коагулянту (порог коагуляції)	мг/л	140	50	60	35	40	650

Нижче наведено графік, що відображає зміну навантаження на коагулянт зі збільшенням необхідної дози коагулянту і насиченості стоку. Навантаження на коагулянт відображає кількість забруднень (мг), що припадає на дозу (мг) коагулянта. Графік наведено на рис. 4.

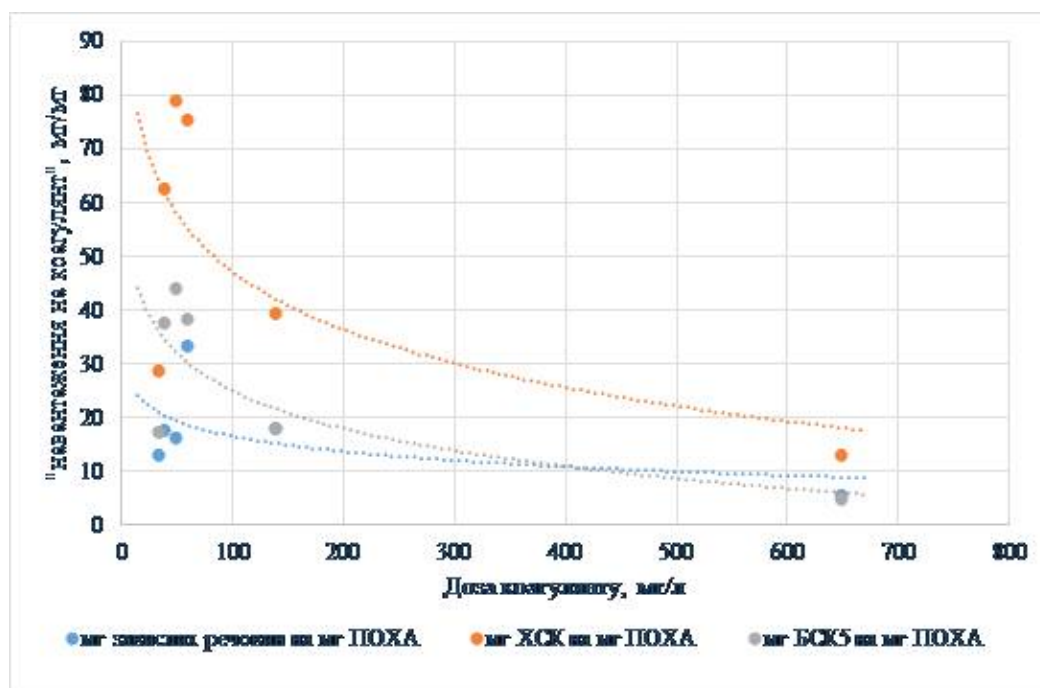


Рисунок 4 – Навантаження по забрудненням на коагулянт поліоксихлорид алюмінію (ПОХА)

Як видно з наведеного вище графіка, при збільшенні вмісту забруднень у вихідному стоці доза коагулянту, необхідна для подолання порогу коагуляції, збільшується, а кількість забруднень на одиницю маси коагулянту знижується.

Висновки. В результаті проведеного дослідження були побудовані графіки, що відображають залежність оптимальної дози коагулянту поліоксихлорид алюмінію від вмісту завислих речовин, ХСК і БСК₅ вихідного стоку. Запропоновано рівняння кривих, що описують вплив концентрації завислих речовин, ХСК і БСК₅ вихідного стоку на величину порогу коагуляції.

Встановлено, що зі збільшенням концентрацій забруднень в вихідному стоці необхідна доза коагулянту збільшується, а навантаження на коагулянт при цьому знижу-

ється.

Отримані результати можуть бути застосовані як при проектуванні нових локальних очисних споруд, так і при реконструкції існуючих. Отримані результати дозволять більш точно прогнозувати дозу коагулянту.

Література

1. Ромашко А.В. Опыт реализации локальных очистных сооружений предприятий пищевой промышленности по технологии «MY DAF» // НДТ – 2017. – №5. – С. 45–54.
2. Rajakumar R. et al. Treatment of poultry slaughterhouse wastewater in upflow anaerobic filter under low upflow velocity // International Journal of Environmental Science & Technology. – 2011. – Т. 8. – №. 1. – С. 149–158. – DOI: 10.1007/BF03326204.
3. Щетинин А.И., Агафонкин В.В., Агафонкин В.Ю., Костин Ю.В., Томилов С.М. и др. Очистка сточных вод предприятий мясоперерабатывающей промышленности // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 11. – С 43–48.
4. Bayramoglu M. et al. Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater // Separation and Purification Technology. – 2006. – Т. 51. – №. 3. – С. 404–408. – DOI: 10.1016/j.seppur.2006.03.003.
5. De Nardi I.R., Fuzi T.P., Del Nery V. Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater // Resources, Conservation and Recycling. – 2008. – Т. 52. – №. 3. – С. 533–544. – DOI: 10.1016/j.resconrec.2007.06.005.
6. Ramesh Y. Avula., Rakesh Singh. Recycling of poultry process wastewater by ultrafiltration // Innovative Food Science & Emerging Technologies. – 2009. – 10(1) – С. 1 – 8. – DOI: 10.1016/j.ifset.2008.08.005.
7. Ромашко А.В., Бойко И.Ю., Марыкин Е.Р. Опыт реализации технологии «My DAF» на локальных очистных сооружениях птицефабрик // «Птицепром» – 2016. – № 4 (33). – С. 58–59.
8. dos Santos Pereira M. et al. Treatment of synthetic milk industry wastewater using batch dissolved air flotation // Journal of Cleaner Production. – 2018. – Т. 189. – С. 729–737. – DOI: 10.1080/10934529.2012.695946.
9. Bayar S. et al. The effect of stirring speed and current density on removal efficiency of poultry slaughterhouse wastewater by electrocoagulation method // Desalination. – 2011. – Т. 280. – №. 1–3. – С. 103–107. – DOI: 10.1016/j.desal.2011.06.061.
10. Del Nery V. et al. Poultry slaughterhouse wastewater treatment plant for high quality effluent // Water Science and Technology. – 2016. – Т. 73. – №. 2. – С. 309–316. – DOI: 10.2166/wst.2015.494.
11. Спиридонова Л.Г. Отработка режимов очистки сточных вод птицефабрики по переработке мяса индеек // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2013. – №. 54. – С. 70–74.
12. Makhlay. K. A study of wastewater treatment conditions for the poultry meat processing enterprise // Eastern-European journal of enterprise technologies – PC “TECHNOLOGY CENTER” – 2018 – 3/10 (93) – с. 15–20. – DOI: 10.15587/1729-4061.2018.131122.
13. Mahtab A. et al. Coagulation/adsorption combined treatment of slaughterhouse wastewater // Desalination and Water Treatment. – 2009. – Т. 12. – №. 1–3. – С. 270–275. – DOI: 10.5004/dwt.2009.952.
14. Boughou N. et al. Effect of pH and time on the treatment by coagulation from

slaughterhouse of the city of Rabat //MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2018. – T. 149. – C. 02091. – DOI: 10.1051/matecconf/201814902091.

15. Loloei M. et al. Study of the coagulation process in wastewater treatment of dairy industries //International Journal of Environmental Health Engineering. – 2014. – T. 3. – №. 1. – C. 12. – DOI: 10.4103/2277-9183.132684.

16. Santo C.E. et al. Optimization of coagulation–flocculation and flotation parameters for the treatment of a petroleum refinery effluent from a Portuguese plant //Chemical Engineering Journal. – 2012. – T. 183. – C. 117–123. – DOI: 10.1016/j.cej.2011.12.041.

УДК 628.345.4

Махлай К.О., Цейтлін М.А., Райко В.Ф.

ВПЛИВ СКЛАДУ СТИЧНИХ ВОД ПТАХОФАБРИКИ НА РЕЛЕВАНТНУ ДОЗУ КОАГУЛЯНТУ ПОЛІОКСИХЛОРИДУ АЛЮМІНІЮ

Стичні води підприємств харчової промисловості належать до сильно забруднених. До них відносяться речовини як органічного походження, так і мінеральні включення, і миючі засоби. Даний факт викликає необхідність їх попереднього очищення перед скиданням на біологічні очисні споруди. Велика частина підприємств галузі використовує для очищення реагентну напірну флотацію. Одним з найважливіших аспектів високої ефективності очищення є правильний підбір реагентів. Однак через високу неоднорідності стічних вод різних підприємств це стає непростим завданням. Тому не правильний підбір як коагулянту так його дози може привести до установки на підприємстві обладнання з невідповідною продуктивністю. При цьому обладнання реагентного господарства може бути, як недостатньої продуктивності, так і завищеної продуктивності. І те й інше не дозволить досягти бажаного ефекту очищення і спричинить до скидання у водойми неочищених стічних вод.

У даній роботі розглянуті 6 діючих підприємств, що спеціалізуються на виробництві м'яса птиці. Розглянуті підприємства працюють за однією технологією і випускають ідентичну продукцію. При цьому стічні води цих підприємств значно відрізняються за своїм складом. Концентрація зважених речовин коливається від 450 до 3500 мг/л, значення ХСК від 1000 до 8400 мг/л, а БСК₅ від 600 до 3000 мг/л. Для кожного з досліджуваних зразків експериментальним шляхом були визначені пороги коагуляції. Отримані дані зведені в загальні графіки, що відображають вплив концентрації забруднень у вихідному стоці на поріг коагуляції кожного з досліджених зразків. На підставі отриманих даних побудовано графіки та запропоновано рівняння кривих, що описують зміни дози коагулянту при зміні концентрації забруднень у вихідному стоці. Отримані рівняння можуть бути використані для прогнозування необхідної дози коагулянта поліоксихлориду алюмінію для стічних вод з відомим вмістом завислих речовин, ХСК або БСК₅. Дана інформація може бути використана як на етапах проектування нових локальних очисних споруд підприємств з переробки м'яса птиці, так і при проведенні їх технічного переоснащення.

Ключові слова: очистка стічних вод, стічні води птахофабрики, коагулянт, доза коагулянту, поріг коагуляції, завислі речовини, ХСК, БСК.

Махлай К.А., Цейтлин М.А., Райко В.Ф.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД ПТИЦЕФАБРИКИ НА РЕЛЕВАНТНУЮ ДОЗУ КОАГУЛЯНТА ПОЛИОКСИХЛОРИДА АЛЮМИНИЯ

Сточные воды предприятий пищевой промышленности относятся к сильно загрязненным, содержащим как вещества органического происхождения, так и минеральные включения, и моющие средства. Данный факт вызывает необходимость их предварительной очистки перед сбросом на биологические очистные сооружения. Большая часть предприятий отрасли использует для очистки реагентную напорную флотацию. Одним из важнейших аспектов высокой эффективности очистки является правильный подбор реагентов. Однако ввиду высокой неоднородности сточных вод различных предприятий это становится не простой задачей. Так неправильный подбор как коагулянта так его дозы может привести к установке на предприятии оборудования несоответствующей производительности. При этом оборудование реагентного хозяйства может быть, как недостаточной производительности, так и завышенной производительности. И то и другое не позволит достигнуть требуемого эффекта очистки и повлечет сброс в водоемы неочищенных сточных вод.

В данной работе рассмотрены 6 действующих предприятий, специализирующихся на производстве мяса птицы. Рассмотренные предприятия работают по одной технологии и выпускают идентичную продукцию. При этом сточные воды этих предприятий значительно отличаются по своему составу. Содержание взвешенных веществ колеблется от 450 до 3500 мг/л, значения ХПК от 1000 до 8400 мг/л, а БПК₅ от 600 до 3000 мг/л. Для каждого из исследуемых образцов опытным путем были определены порги коагуляции. Полученные данные сведены в общие графики, отображающие влияние концентрации загрязнений в исходном стоке на порог коагуляции каждого из исследованных образцов. На основании полученных данных построены графики и предложены уравнения кривых, описывающих изменения дозы коагулянта при изменении концентрации загрязнений в исходном стоке. Полученные уравнения могут быть использованы для прогнозирования требуемой дозы коагулянта полиоксихлорида алюминия для сточных вод с известным содержанием взвешенных веществ, ХПК или БПК₅. Данная информация может быть использована как на этапах проектирования новых локальных очистных предприятий по переработке мяса птицы, так и при проведении технического переоснащения очистных сооружений.

Ключевые слова: очистка сточных вод, сточные воды птицефабрики, коагулянт, доза коагулянта, порог коагуляции, взвешенные вещества, ХПК, БПК.

Makhlay K., Tseitlin M., Raiko V.

INFLUENCE OF POULTRY PROCESSING ENTERPRISE WASTE WATER COMPOSITION ON A RELEVANT DOSE OF ALUMINI POLYOXYCHLORIDE COAGULANT

Wastewater from food processing enterprises are highly polluted. These include pollution of both organic origin and mineral inclusions and detergents. This fact necessitates their preliminary treatment before discharge to biological treatment plants. Most enterprises in the industry use reagent pressure flotation for cleaning. One of the most important aspects of high cleaning efficiency is the correct selection of reagents for treatment. However, due to the high heterogeneity of the wastewater of various enterprises, this task is becoming a quit difficult. So, the wrong selection of the coagulant and its dose can lead to the installation of inappropriate equipment at the enterprise. At the same time, the equipment of a reagent farm can be either insufficient productivity or overstated performance. Both of that will not allow to achieve the required treatment effect and will entail the discharge of untreated sewage into the water reservation.

There are 6 operating enterprises which specializing in the production of poultry meat are considered in this paper. Considered enterprises operate on the same technology and produce identical products. At the same time, the wastewater of these enterprises is significantly different in composition. Concentration of suspended solids varies from 450 to 3500 mg/l, COD values from 1000 to 8400 mg/l, and BOD₅ from 600 to 3000 mg/l. There are coagulation thresholds are determined for each of the studied enterprises. Obtained results are summarized in graphs depicting the effect of initial effluent concentrations on the coagulation threshold of each of the studied samples. Obtained results are summarized in graphs were constructed and curve equations that describe changes in the coagulant dose with a change in the concentration of contaminants in the initial effluent were proposed. Obtained equations can be used for predicting required dose of aluminum polyoxychloride coagulate for wastewater with known concentration of suspended solids, COD or BOD₅. This information can be used at the design stages of new local treatment plants of poultry meat processing sewage, and during the technical re-equipment of treatment plants.

Keywords: wastewater treatment, poultry wastewater, coagulant, coagulant dose, coagulation threshold, suspended solids, COD, BOD.

Селіхов Ю.А., к.техн.н., професор, Коцаренко В.О., к.техн.н., професор,
Горбунов К.О., к.техн.н., професор, Россіхін В.В., д.мед.н., професор

ІНТЕГРАЦІЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ НА ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ключові слова: теплова енергія, органічне паливо, електроенергія, теплове навантаження, забруднення довкілля, тепловий насос, електричний бойлер, тепловий контур, поновлювані джерела.

Постановка проблеми. Використання сонячної енергії є перспективною статтею економії для усіх країн світу, відповідаючи їх інтересам ще і в плані енергетичної незалежності, завдяки чому вона упевнено завойовує стійкі позиції у світовій енергетиці. Привабливість сонячної енергії можна виразити таким чином: 1. Сонячна енергія доступна в кожній точці нашої планети, відрізняючись по щільності потоку випромінювання не більше ніж в два рази. 2. Сонячна енергія – це екологічно чисте джерело енергії, яке можна використати у великих масштабах без негативного впливу на довкілля. 3. Сонячна енергія – це практично невичерпне джерело енергії, яке буде доступне і через мільйон років. Перешкодами на шляху широкого споживання сонячної енергії є: низька інтенсивність сонячної енергії на поверхні Землі, яка не перевищує 2 кВт/м^2 , непостійність і мінливість сонячного випромінювання впродовж дня і за сезонами року, низький коефіцієнт корисної дії багатьох перетворюючих пристроїв, велика в порівнянні з традиційними енергетичними пристроями (початкові капітальні витрати). Основними напрямками використання сонячної енергії вважають: 1) пряме перетворення сонячної енергії в електричну; 2) отримання тепла шляхом абсорбції сонячного випромінювання. Відомі методи термодинамічного перетворення сонячної енергії в електричну, ґрунтовані на використанні циклів теплових двигунів і термоелектричного процесу, а також прямі методи фотоелектричного і фотогальванічного перетворення [3]. Перетворення сонячного випромінювання в теплову енергію пов'язане із значними витратами: чим вище енергетичний потенціал отримуваної енергії, тим більше її вартість. Тому у наш час практичне використання сонячної енергії йде у напрямі отримання низькопотенційної теплоти, яка може бути застосована для тепло- і холодопостачання житлових і громадських будівель, які споруджуються в містах і сільській місцевості, а також для гарячого водопостачання і опалення будинків [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні установки сонячного тепло- і холодопостачання, теплові насоси і вітроелектрогенератори на об'єктах цивільного і промислового будівництва поки не отримали широкого впровадження, що пов'язано з відносно низькими в порівнянні з іншими країнами цінами на енергоносії і недостатньою підготовленістю ринку, а також воно стримується високою металоємністю та собівартістю сонячних колекторів і теплових насосів, та не підготовленістю нашого ринку до випуску вітроелектрогенераторів. Тому, актуальною є концепція створення нових теплоенергетичних установок, в яких в якості джерел енергії будуть використані поновлювані джерела енергії. Для таких установок будуть сконструйовані нові конструкції

сонячних установок, теплових насосів і вітроелектрогенераторів, коли витрати на вироблення теплової і електроенергії за допомогою цих установок будуть нижче за рівень сумарних витрат на отримання теплової і електроенергії традиційними способами (зокрема, в котельних установках). Одночасно з цим термін окупності комбінованих систем повинен бути співномірний з гарантійним терміном їх експлуатації. Це може досягатися за рахунок використання дешевих вітчизняних матеріалів, випуск яких гарантований в достатніх об'ємах протягом тривалого терміну в Україні. Тому використання поновлюваних джерел енергії, економія органічного палива, яке потрібне для нагрівання теплоносія, поліпшення екологічної обстановки району споживання теплової енергії за рахунок зниження обсягів викидів забруднюючих речовин, до яких відносяться продукти згоряння традиційних видів енергії – органічного палива, що використовується для виробництва теплової енергії в котельному устаткуванні, виробництво електроенергії за допомогою вітроелектрогенераторів є актуальними задачами.

Мета статті. В даній роботі авторами пропонується теплоенергетична установка для постачання: електроенергії, гарячої води, гарячого повітря і опалення, яка була змонтована на одному приватному подвір'ї в Харківській області при будівництві котеджу. Для вирішення вищевказаних задач нами була розроблена схема попереднього нагріву теплоносія за рахунок застосовування електричного бойлера, теплового насосу [5] і вітроелектрогенератора, який виробляє електроенергію для роботи всього електрообладнання у котеджі. Теплоенергетична установка використовується цілий рік. При цьому відповідно є можливість економити органічне паливо, яке пішло би на нагрівання теплоносія до необхідної температури в опалювальній котельні малої потужності і відповідно зменшити витрати органічного палива. У ґрунтових теплових насосах використовується тепла енергія [6], що накопичена в ґрунті за рахунок нагрівання її сонцем або іншими джерелами [7]. Ґрунт має властивість зберігати сонячне тепло протягом тривалого часу, що веде до відносно рівномірного рівня температури джерела тепла протягом усього року [8]. Це забезпечує експлуатацію теплового насоса з високим коефіцієнтом потужності.

Нами був зроблений розрахунок потужності теплового насоса [4] для системи опалення приватного будинку. Був вибраний тепловий насос «ґрунт–вода» з горизонтальним розташуванням колектора. Схема горизонтального геотермального теплового насоса представлена на рис. 1. Замість батарей опалення застосовуємо теплу підлогу.

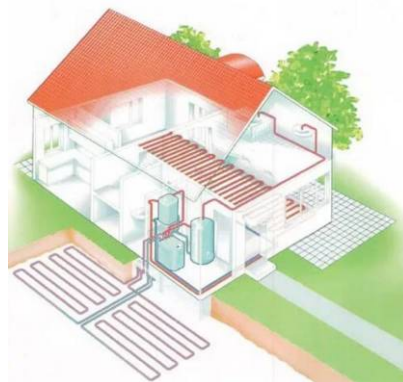


Рисунок 1 – Схема горизонтального геотермального теплового насоса з розташуванням теплих підлог на поверхх

Нами була розроблена нова технологічна схема теплоенергетичної установки гарячого водопостачання та опалення приватного будинку. Зробимо опис роботи нової технологічної схеми, яка представлена на рис. 2.

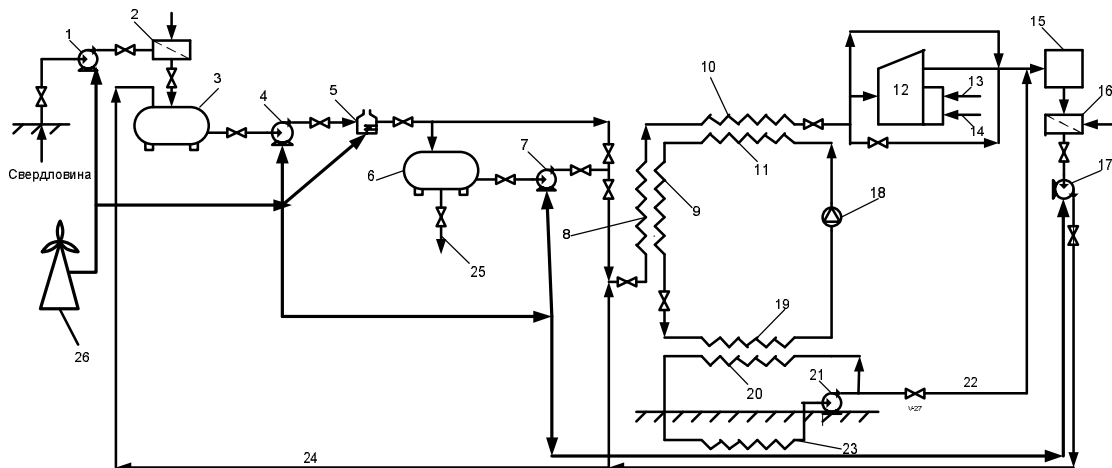


Рисунок 2 – Технологічна схема системи гарячого водопостачання і опалювання приватного будинку

1 – циркуляційний насос; 2 – апарат хімічного очищення; 3 – бак-акумулятор; 4 – циркуляційний насос; 5 – електричний бойлер; 6 – бак-акумулятор; 7 – циркуляційний насос; 8 – другий контур охолоджувача теплового насоса; 9 – перший контур охолоджувача теплового насоса; 10 – другий контур конденсатора теплового насоса; 11 – перший контур конденсатора теплового насоса; 12 – універсальний котел з мазутним пальником; 13 – подача мазуту; 14 – подача повітря; 15 – користувач; 16 – апарат хімічного очищення; 17 – циркуляційний насос; 18 – компресор теплового насоса; 19 – перший контур випарника теплового насоса; 20 – другий контур випарника теплового насоса; 21 – циркуляційний насос; 22 – подача теплоносія в режимі кондиціонування; 23 – ґрунтовий тепловий колектор; 24 – оборотна вода; 25 – злив води; 26 – вітроелектрогенератор

Нова теплоенергетична установка може працювати як сезонно, так і цілий рік. Принцип дії установки при сезонній роботі в теплу пору року. Вода із свердловини циркуляційним насосом 1 подається в апарат хімічного очищення 2, де очищується від багатьох солей і надходить в бак-акумулятор 3. Далі циркуляційним насосом 4 вода подається в електричний бойлер 5, де нагрівається до температури 75 °С і далі поступає в бак-акумулятор 6. З бака-акумулятора 6 циркуляційним насосом 7 вода подається у другий контур охолоджувача 8 і другий контур конденсатора 10 геотермального теплового насоса «ґрунт-вода» і поступає користувачу 15 на гаряче водопостачання. Зворотна вода від користувача 15 подається в установку хімічного очищення 16, де очищається, і циркуляційним насосом 17 подається в бак-акумулятор 3. У разі аварійної ситуації є можливість випустити теплоносії у каналізацію 25 (злив води із системи). У разі підвищення температури повітря на вулиці до некомфортної позначки, включається у тепловому насосі режим кондиціонування. Вода із ґрунтового теплообмінного колектора циркуляційним насосом 21 подається в контур теплового полу, охолоджує площу полу і повітря в кімнатах будинку до комфортної температури. Принцип дії установки для цілорічної роботи. В теплу пору року принцип роботи установки показаний вище. А в холодну пору року установка працює таким чином. Вода з температурою 5÷7 °С теплообмінного колектора 23 ґрунтового теплового насоса циркуляційним насосом 21

подається в другий контур 20 випарника теплового насоса, де нагріває холодоагент першого контуру, який перетворюється в пару. Пара холодоагенту надходить у компресор, де стискається до високої 160 °С температури та тиску. Далі пара надходить у перший контур 11 конденсатора теплового насоса, де віддає своє тепло другому контуру 10 конденсатора [9], в який подається вода циркуляційним насосом 7 з бака-акумулятора 6, або циркуляційним насосом 17 від користувача 15. Таким чином, вода нагрівається спочатку в другому контурі 10 конденсатора, а потім у другому контурі 8 охолоджувача і надходить до користувача з температурою 75 °С. Коли з ладу виходить тепловий насос і електричний бойлер 5, то в якості теплового дублера виступає котельна установка 12 з мазутним пальником 13 і 14, яка підігріває воду до необхідної температури і подає її в систему опалення, і в систему гарячого водопостачання дома. У разі аварійної ситуації є можливість випустити теплоносії у каналізацію 25 (злив води із системи). Бак-акумулятор складається з теплоізолюваного резервуару для зберігання акумулюючого середовища (гарячої води), пристроїв для зарядки і розрядки і допоміжного обладнання. [10]

Таким чином, тепла енергія теплоенергетичної системи гарячого водопостачання Q_T складалась з теплової енергії встановленого електричного бойлера Q_1 та теплової енергії теплового насоса Q_2 і розраховувалась по рівнянню [11]

$$Q_T = Q_1 + Q_2. \quad (1)$$

Значення кількості використаної теплоти для попереднього підігріву води визначали за формулою:

$$Q_1 = G_B \cdot \rho_B \cdot c_B \cdot (t_B'' - t_B'), \quad (2)$$

де G_B – загальна витрата води, що підігрівається, м³/с; ρ_B – густина води, кг/м³; c_B – теплоємність води, кДж/(м³·К); t_B', t_B'' – температура холодної та підігрітої води, відповідно, °С.

Значення кількості використаної теплоти у тепловому насосі визначали за формулою:

$$Q_2 = \xi \cdot N_{\text{эл}}, \quad (3)$$

де ξ – коефіцієнт перетворення теплового насоса; $N_{\text{эл}}$ – енергія, витрачена для реалізації циклу теплового насоса [12].

Економію палива ΔB в котлоагрегаті за рахунок використання такої системи можна розрахувати за допомогою рівнянь теплового балансу (1–3).

Річна економія умовного палива складе, т. у. п. /рік:

$$\Delta B_{\text{рік}} = \frac{Q_{\text{рік}}}{Q_{\text{гуп}}^P \cdot \eta_K}, \quad (5)$$

де $Q_{Hyn}^P = 29,33$ МДж/кг – теплотворна здатність умовного палива [13, 14]; $Q_{рік}$ – річна кількість утилізованої теплоти, МДж/рік; η_K – коефіцієнт корисної дії котла.

Економія органічного палива дорівнює, т/рік (тис. м³/рік):

$$\Delta B = \Delta B_{рік} \cdot \frac{29,33}{1000 \cdot Q_H^P}. \quad (6)$$

Річна економія за рахунок скорочення витрати первинного палива для підігріву води складе для котельні, грн/рік:

$$E_{II} = \Delta B \cdot C_{II}, \quad (7)$$

де C_{II} – вартість первинного палива, грн/т (грн/1000 м³).

Термін окупності теплоенергетичної системи гарячого водопостачання складе, рік.

$$T = S_C / (Q_T \cdot C_T), \quad (8)$$

S_C – питома вартість теплоенергетичної системи гарячого водопостачання, грн/м²; Q_T – річна кількість теплоти, яка вироблена теплоенергетичною установкою, Гкал/м²; C_T – вартість теплоти від традиційного енергоджерела, грн/Гкал.

Висновки. Таким чином, застосування теплоенергетичної установки для постачання електроенергії, гарячої води, гарячого повітря і опалення, в якій сумісно з вітро-електрогенератором, електричним бойлером використовується тепловий насос, акумулятори електроенергії і теплоти дозволяє: зменшити собівартість теплової енергії за рахунок зниження матеріалоємності та витрат на устаткування, що використовується; економити органічне паливо; виробляти електроенергію і надлишок її віддавати у державну електромережу; зменшити теплове навантаження та забруднення довкілля.

Література

1. Концепция государственной энергетической политики Украины на период до 2020 г. // Информационное приложение. – 2001. – № 10. – 8 с.
2. Овчаренко В.А. Овчаренко А.В. Використання теплових насосів // Холод М+Т, 2006, №2 с. 34–36.
3. Селихов Ю.А., Ведь В.Е., Бухкало С.И., Костин В.М. Конструкционные особенности увеличения эффективности работы гелиоустановок. Экотехнологии и ресурсосбережение. – Киев: Типография НАН Украины, № 3, 2004. – с. 70–75.
4. Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы: Пер. с англ. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.
5. Селихов Ю.А., Коцаренко В.А., Селихова Л.Ю. Комбінована система гарячого водопостачання Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка, Випуск 57, 2007. – с. 69–74.
6. Дикий М.О. Поновлювані джерела енергії: Підручник. – К.: Вища шк., 1993. – 351 с.: іл.

7. Даффи Дж. А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир, 1977. – 420 с.
8. Щербина О. Сонячна енергія. Енергія для всіх: Техн. довідник. –Ужгород, 2000. – Розд. 1. – С. 9–32.
9. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. – М.:Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
10. Сарнацкий Э.В. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения. – М.: Стройиздат, 1990 – 324 с.
11. Теплоснабжение: Учебник для вузов / А.А. Ионин, Б.М. Хлыбов, В.Н. Бра-тенков, Е.Н. Терлецкая; Под ред. А.А. Ионина. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с., ил.
12. Хахалева Л.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : По-собие для проведения практических занятий. / Сост. Хахалева Л.В. – Ульяновск, 2008. – 32 с.
13. Селихов Ю.А., Коцаренко В.А. Интеграция процесса теплообмена солнечной установки. Наукові праці ОНАПТ, Том 82, Вип. 1, С.87-93, ОНАХТ, Одесса, 2018.
14. Yuriy A. Selikhov, Victor A. Kotsarenko, Jiří J. Klemeš, Petro O. Kapustenko/ The Performance of Plastic Solar Collector as Part of Two Contours Solar Unit/ CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS VOL. 70, 2018, С. 2053-2058, Copyright © 2018, AIDIServizi S.r.l.

Bibliography (transliterated)

1. Kontseptsiya gosudarstvennoy energeticheskoy politiki Ukrainyi na period do 2020 g. // Informatsionnoe prilozhenie. – 2001.– # 10. – 8 p.
2. Ovcharenko V.A. Ovcharenko A.V. Viktoristannya teplovi nasosiv //Holod M T, 2006, #2 p. 34–36.
3. Selihov Yu.A., Ved V.E., Buhkalo S.I., Kostin V.M. Konstruktsionnyie oso-bennosti uvelicheniya effektivnosti raboty gelioustanovok. Ekotehnologii i resur-soberezhenie.– Kiev: Tipografiya NAN Ukrainyi, # 3, 2004.– p. 70–75.
4. Rey D., Makmaykl D. Teplovyie nasosyi: Per. s angl. – М.:Energoizdat, 1982. – 224 p.
5. Selihov Yu.A., Kotsarenko V.A., Selihova L.Yu. Kombinovana sistema garyachogo vodopostachannya Visnik HNTUSG Imeni Petra Vasilenka, Vipusk 57, 2007. – p. 69–74.
6. Dikiy M.O. Ponovlyuvani dzhherela energiyi: Pidruchnik. – K.: Vischa shk., 1993. – 351 p.: il.
7. Daffi Dzh. A., Bekman U.A. Teplovyie protsessyi s ispolzovaniem solnechnoy en-ergii. – М.: Mir, 1977. – 420 p.
8. Scherbina O. Sonyachna energiya. Energiya dlya vsih: Tehn. dovidnik. –Uzhgorod, 2000. – Rozd. 1. – P. 9–32.
9. Harchenko N.V. Individualnyie solnechnyie ustanovki. – М.:Energoatomizdat, 1991. – 208 p.
10. Sarnatskiy E.V. Sistemyi solnechnogo teplo- i hladosnabzheniya. – М.: Stroyizdat, 1990 – 324 p.
11. Teplosnabzhenie: Uchebnik dlya vuzov / A.A. Ionin, B.M. Hlyibov, V.N. Bra-tenkov, E.N. Terletskaia; Pod red. A.A. Ionina. – М.: Stroyizdat, 1982. – 336 p., il.
12. Hahaleva L.V. Netraditsionnyie i vozobnovlyaemyie istochniki energii : Posobie dlya provedeniya prakticheskikh zanyatiy. / Sost. Hahaleva L.V. – Ulyanovsk, 2008. – 32 p.

13. Selihov Yu.A., Kotsarenko V.A. Integratsiya protsessa teploobmena solnechnoy ustanovki. Naukovi pratsi ONAPT, Tom 82, Vip. 1, P.87–93, ONAHT, Odessa, 2018.

14. Yuriy A. Selikhov, Victor A. Kotsarenko, Jiří J. Klemes, Petro O. Kapustenko/ The Performance of Plastic Solar Collector as Part of Two Contours Solar Unit/ CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS VOL. 70, 2018, C. 2053–2058, Copyright © 2018, AIDIServizi S.r.l.

УДК 662.997

Селіхов Ю.А., Коцаренко В.О., Горбунов К.О., Россіхін В.В.

ІНТЕГРАЦІЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ НА ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ

Традиційні джерела енергії виснажуються і вже зараз не можуть з розрахунком на перспективу забезпечити майбутнє людства. Крім того, вони несуть загрозу екологічної безпеки Землі. Нетрадиційні поновлювані джерела енергії необмежені геологічно накопиченими запасами. Їх використання і споживання не призведе до неминучого вичерпання запасів Землі і вони не забруднюють навколишнє середовище. Важливо підкреслити, що частка обсягів використання поновлюваних джерел енергії (ПДЕ), яка припадає на країни, що розвиваються становить менше 40 %, в той час як на розвинені країни – понад 60 %. Цей факт спростовує поширену думку, що використання ПДЕ – доля країн, що розвиваються зі слабо розвинутою енергетичною інфраструктурою. Основним мотивом прискореного розвитку поновлюваної енергетики в Європі, США і багатьох інших країнах є турбота про енергетичну безпеку і екологічну заклопотаність. Так, в ЕС прийнята програма досягнення вкладу ПДЕ в енергетичний баланс к 2020 р до 20 %, а к 2040 р – до 40 %. Поновлювана енергетика характеризується багатогранністю, різноманітністю. У переліку завдань, що виникають при здійсненні проєктів поновлюваної енергетики (ПЕ) (крім технологічних і технічних), залишаються питання оцінки можливості та ефективності використання ПДЕ для енергозабезпечення регіонів [1,2]. Очевидно, що при цьому з одного боку необхідні великі масиви інформації, що охоплює як природні ресурси території, так і економічні характеристики регіону (інфраструктура енергетики, енергетичні баланси, лінії електропередач, наявність підприємств лісової, деревообробної, харчової та інших галузей промисловості; характеристики сільськогосподарського виробництва та ін.). З іншого боку, необхідно залучити такі інструменти аналізу, які дозволяють збирати, оперативно модернізувати і перетворювати ці масиви даних, відображати їх; шляхом всебічного аналізу отримувати на їх основі обґрунтовані оцінки і робити розрахунки. Одночасно слід враховувати, що найчастіше користувача цікавлять комплексні оцінки з різних видів джерел енергії. У конкретних регіонах найбільш ефективним може стати або використання гібридних енергоустановок, або створення теплоенергетичних установок на різних типах поновлюваної енергії. У зв'язку з комплексністю зазначеної проблеми, а також відомої «регіональності» поновлюваної енергетики, стає можливим і актуальним тема справжньої статті. Запропоновано теплоенергетичну установку для постачання: електроенергії, гарячої води і гарячого повітря, в якій сумісно з вітроелектрогенератором, електричним бойлером, використовується тепловий насос, акумулятори електроенергії і теплоти. Ця установка дозволяє: зменшити собівартість теплової енергії за рахунок зниження матеріалоємнос-

ті та витрат на устаткування що використовується; економити органічне паливо; виробляти електроенергію і надлишок її віддавати у державну електромережу; зменшити теплове навантаження та забруднення довкілля.

Ключові слова: тепла енергія, органічне паливо, електроенергія, теплове навантаження, забруднення довкілля, тепловий насос, електричний бойлер, тепловий контур, поновлювані джерела.

Селихов Ю.А., Коцаренко В.А., Горбунов К.А., Россихин В.В.

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

Традиционные источники энергии истощаются и уже сейчас не могут с расчетом на перспективу обеспечить будущее человечества. Кроме того, они несут угрозу экологической безопасности Земли. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии не ограничены геологически накопленными запасами. Их использование и потребление не приведет к неизбежному истощению запасов Земли и они не загрязняют окружающую среду. Важно подчеркнуть, что доля объемов использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), которая приходится на развивающиеся страны составляет менее 40 %, в то время как на развитые страны – более 60 %. Этот факт опровергает распространенное мнение, что использование ВИЭ – удел развивающихся стран со слабо развитой энергетической инфраструктурой. Основным мотивом ускоренного развития возобновляемой энергетики в Европе, США и многих других странах является забота об энергетической независимости и экологической безопасности. Так, в ЕС принята программа достижения вклада ВИЭ в энергетический баланс к 2020 году до 20 %, а к 2040 г. – до 40 %. Возобновляемая энергетика характеризуется многогранностью, разнообразием. В перечне задач, возникающих при реализации проектов возобновляемой энергетики (ПЭ) (кроме технологических и технических), остаются вопросы оценки возможности и эффективности использования ВИЭ для энергообеспечения регионов [1,2]. Очевидно, что при этом, с одной стороны, необходимы большие массивы информации, охватывающей как природные ресурсы территории, так и экономические характеристики региона (инфраструктура энергетики, энергетические балансы, линии электропередач, наличие предприятий лесной, деревообрабатывающей, пищевой и других отраслей промышленности; характеристики сельскохозяйственного производства и др.). С другой стороны, необходимо привлечь такие инструменты анализа, позволяющих собирать, оперативно модернизировать и преобразовывать эти массивы данных, отображать их; путем всестороннего анализа получать на их основе обоснованные оценки и делать расчеты. Одновременно следует учитывать, что зачастую пользователи интересуют комплексные оценки по различным видам источников энергии. В конкретных регионах наиболее эффективным может стать либо использование гибридных энергоустановок, или создание теплоэнергетических установок на различных типах возобновляемой энергии. В связи с комплексностью данной проблемы, а также известной «региональностью» возобновляемой энергетики, становится возможным и актуальным тема настоящей статьи. Предложено теплоэнергетическую установку для снабжения: электроэнергией, горячей водой и горячим воздухом, в которой совместно с ветроэлектрогенератором, электрическим бойлером, используется тепловой насос, аккумуляторы электроэнергии и теплоты. Эта установка позволяет уменьшить себестоимость тепло-

вой энергии за счет снижения материалоемкости и расходов на используемое оборудование, экономить органическое топливо; производить электроэнергию и избыток ее отдавать в государственную электросеть; уменьшить тепловую нагрузку и загрязнение окружающей среды.

Ключевые слова: тепловая энергия, органическое топливо, электроэнергия, тепловая нагрузка, загрязнение окружающей среды, тепловой насос, электрический бойлер, тепловой контур, возобновляемые источники.

Selikhov YU.A., Kotsarenko V.A., Gorbunov K.A., Rossikhin V.V.

INTEGRATION OF A HEATER POWER PLANT ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

Traditional sources of energy are being depleted and already now cannot, with a view to the future, ensure the future of mankind. In addition, they pose a threat to the environmental safety of the Earth. Unconventional renewable energy sources are not limited by geologically accumulated reserves. Their use and consumption will not lead to the inevitable depletion of the Earth's reserves and they do not pollute the environment. It is important to emphasize that the share of renewable energy sources (RES) used in developing countries is less than 40 %, while in developed countries – more than 60 %. This fact disproves the widespread belief that the use of renewable energy sources is the lot of developing countries with poorly developed energy infrastructure. The main motive for the accelerated development of renewable energy in Europe, the USA and many other countries is concern for energy security and environmental concerns. Thus, the EU adopted a program to achieve the contribution of renewable energy sources to the energy balance by 2020 up to 20 %, and by 2040 – up to 40 %. Renewable energy is characterized by versatility, diversity. The list of tasks arising from the implementation of renewable energy (RES) projects (except for technological and technical) includes issues of assessing the possibility and effectiveness of using renewable energy sources for energy supply in regions [1,2]. Obviously, in this case, on the one hand, large amounts of information are needed, covering both the natural resources of the territory and the economic characteristics of the region (energy infrastructure, energy balances, power lines, the presence of forestry, woodworking, food and other industries; characteristics of the agricultural production, etc.). On the other hand, it is necessary to attract such analysis tools that allow you to collect, quickly upgrade and convert these data arrays, display them; through a comprehensive analysis to receive based on them reasonable estimates and make calculations. At the same time, it should be borne in mind that often the user is interested in complex estimates for various types of energy sources. In specific regions, either the use of hybrid power plants or the creation of heat power plants using various types of renewable energy may be most effective. In connection with the complexity of this problem, as well as the well-known "regionality" of renewable energy, the topic of this article becomes possible and relevant. A heat power installation for supplying: electricity, hot water and hot air is proposed, in which, together with a wind electric generator, an electric boiler, a heat pump, electric power and heat accumulators are used. This installation allows you to reduce the cost of thermal energy by reducing the material consumption and costs of the equipment used, save fossil fuels; to produce electricity and its surplus to give to the state power grid; reduce heat load and environmental pollution.

Keywords: thermal energy, fossil fuels, electricity, heat load, environmental pollution, heat pump, electric boiler, heat circuit, renewable sources.

Григоров А.Б., к. техн. н., доцент

УТИЛІЗАЦІЯ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ПЛАСТИЧНОГО МАСТИЛА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна*

Ключові слова: пластичне мастило, утилізація, будівельні матеріали, полімерні відходи, змішування компонентів, формування під тиском.

Вступ. Розробка технологій та порядку утилізації відпрацьованого кінцевого продукту разом з мінімізацією негативного впливу на навколишнє середовище від викидів, які виникають при реалізації технологічного процесу, є одним з основних завдань, що необхідно вирішувати на стадії проектування будь-якого виробництва.

Отже, розглядаючи утилізацію відпрацьованих пластичних мастил, відмітимо, що у відповідності до «Національній Стратегії управління відходами в Україні до 2030 року», у якій йдеться про створення системи управління відходами, зокрема запобігання їх утворення, вона повинна бути спрямована або на отримання додаткової кількості енергоносіїв, що буде сприяти енерго- та ресурснезалежності держави, або на виробництво нових конструкційних матеріалів, які широко використовуються у будівництві.

Технологія виробництва. Сучасні тенденції у виробництві будівельних матеріалів такі, що на зміну матеріалам з заліза, скла та деревини приходять полімерні матеріали, які здатні забезпечити необхідний рівень захисту інженерних мереж, легкість експлуатації, монтажу і ремонту, а строк їх експлуатації складає не менш ніж 50 років [1, 2, 3]. Останнім часом полімервмісні будівельні композиції, у яких наповнювачем виступає пісок та інші мінеральні матеріали, а для з'єднання компонентів використовують різні полімери [4, 5, 6], поступово витісняють залізобетонні матеріали.

Загальним недоліком усіх композицій є складна багатостадійна технологія підготовки компонентів та необхідність використання високого тиску при формуванні товарного виробу внаслідок низької адгезії між частинками наповнювача та наповнювачем і полімером, що призводить до поступового викришування частинок наповнювача у кінцевому продукті [7]. Усунути означені недоліки можна за рахунок використання при приготуванні робочої суміші добавки, що поліпшує адгезію між полімером та наповнювачем [8]. У якості такої добавки може виступати відпрацьоване пластичне мастило, особливо яке було отримано з вторинної сировини, у своєму складі містить продукти окиснення вуглеводнів [9, 10], які володіють високими адгезійними властивостями, і завдяки цьому в значній мірі сприяють злипанню часточок наповнювача між собою та полімером, що зумовлює високу міцність кінцевого продукту та його формування у прес-формах при більш низькому тиску.

Зважаючи на це, утилізувати відпрацьовані пластичні мастила можна при виробництві полімервмісних будівельних матеріалів, яке складається з ряду послідовних технологічних операцій (див. рис. 1), що реалізуються у комбінованій функціональній схемі, представленої на рис. 2.

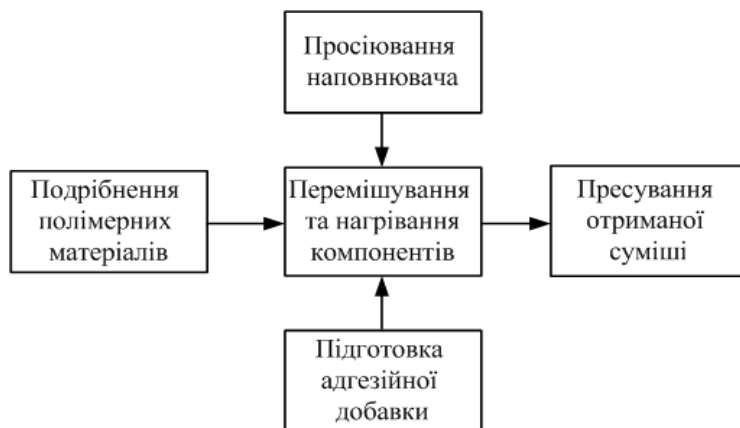


Рисунок 1 – Структурна схема отримання полімервмісних будівельних матеріалів

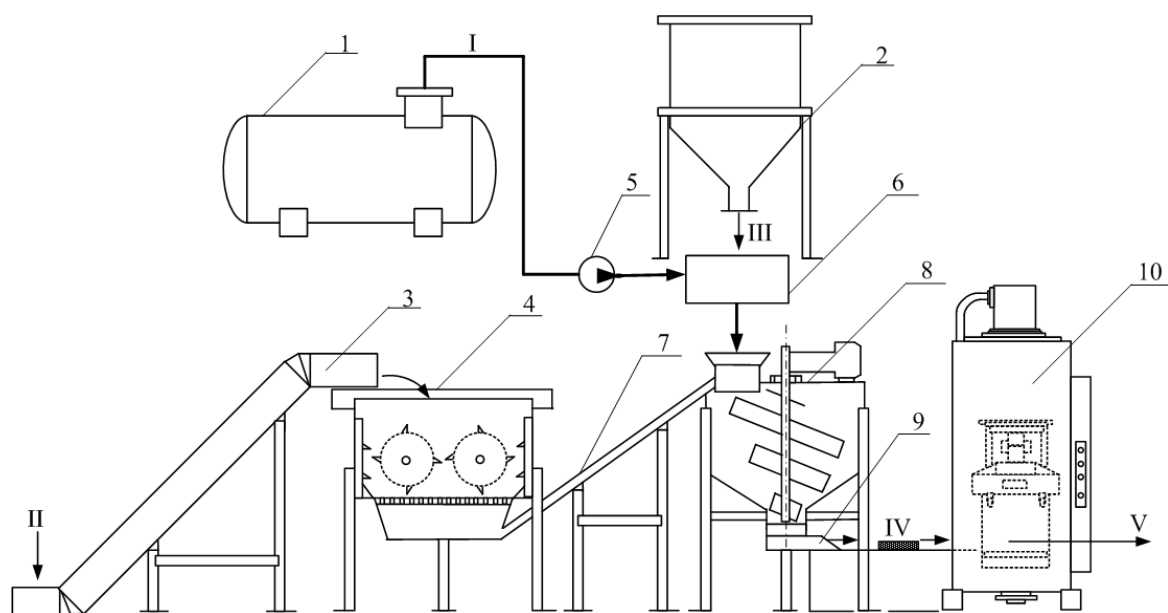


Рисунок 2 – Комбінована функціональна схема отримання полімервмісних будівельних матеріалів: 1 – ємкість; 2 – бункер; 3,7 – транспортер; 4 – дробарка; 5 – насос; 6 – змішувач; 8 – мішалка – нагрівач; 9 – дозатор; 10 – гідравлічний прес; I – відпрацьоване мастило; II – полімер; III – мінеральний наповнювач; IV – робоча суміш; V – кінцевий продукт

Відпрацьоване пластичне мастило (потік I) з ємкості 1 дозованим насосом 5 подається у змішувач 6, де разом з просіяним мінеральним наповнювачем (потік III), який подається з бункеру 2, крізь дозувальний пристрій, утворює однорідну суміш. Ця суміш, подається до мішалки-нагрівачу 8. Сюди, також, подаються полімерні відходи (потік II), які спочатку транспортером 3, подаються до дробарки 4, далі транспортером

7 до мішалки-нагрівачу 8. У мішалці-нагрівачу 8 відбувається остаточне змішування компонентів при температурі 250–270 °С (в залежності від властивостей полімеру, зокрема його температури плавлення) протягом 30–60 хв. Отримана робоча суміш (потік IV) крізь дозатор 9 подається по автоматизованій лінії до гідравлічного пресу 10, де відбувається формування під тиском кінцевого продукту (потік V). Для придання товарного вигляду кінцевого продукту на стадії змішування підготовлених компонентів у композицію можна додавати барвник [11], а для підвищення міцності при формуванні виробу у композицію можна також додавати армуючий матеріал [12].

Лабораторні дослідження. Застосовуючи наведену вище технологію на практиці, при температурі 260 °С і тиску 15 МПа, було отримано будівельний матеріал, що складався з 30 % мас. відходів, представлених поліетилентерефталатом (ПЕТФ), 63 % мас. піску, 5 % мас. відпрацьованого пластичного мастила, отриманого з вторинної сировини та 2 % мас. барвника та мав характеристики, наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики отриманого продукту

№ п/п	Найменування показника	Значення показників	
		Отриманий зразок	Бетон важкий Клас В35
1.	Зовнішній вигляд поверхні	Поверхня однорідна, без пор	Поверхня з раковинами та напливами
2.	Середня густина, кг/м ³	1830	2370
3.	Міцність при стисканні, МПа	35	32,1
4.	Водопоглинення, % (мас.)	0,4	4,9
5.	Морозостійкість, цикли	550	300
6.	Коефіцієнт хімічної стійкості бетону, $K_{х.с.}$	0,56	0,33

Висновки. Проведені результати показали, що наведена технологія отримання полімервмісних будівельних матеріалів дозволяє, з одного боку, утилізувати промислові відходи – відпрацьовані пластичні мастила, з іншого – отримати кінцевий продукт широкого спектру застосування (тротуарна плитка, системи водовідведення, кришки та колодці для прокладення підземних комунікацій тощо). Отриманий матеріал має підвищені експлуатаційні властивості (морозостійкість, більшу міцність при стисканні, низьке водопоглинення, меншу масу) у порівнянні з важким бетоном класу В35.

Література

1. Chukwudi Ifeanyi. Plastics as contemporary material in architecture for health and sustainable construction / Ifeanyi Chukwudi, Almira Khafizova // International journal of engineering technologies and management research. – 2018. – Volum 5. – Issu 6. – pp. 96–102.
2. Mora E.P. Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials / E.P. Mora // Building and Environment. – 2007. – № 42. – pp. 1329–1334.

3. Features of plastics in modern construction use / M. H. Al-Sherrawi, I. M. Edaan, A. Al-Rumaithi, S. Sotnik, Vyacheslav Lyashenko // *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCET)*. – 2018. – Volume 9. – Issue 4. – pp. 975–984.
4. Kyu-Seok Yeon. Polymer concrete as construction materials / K. S. Yeon // *Int. J. Soc. Mater. Eng. Resour.* – 2010. – Volume 17. – Issue 2. – pp. 107–111.
5. Characteristics of polymer concrete produced from wasted construction materials / A. M. Hameed et al. // *Energy Procedia*. – 2019. – Issue 157. – pp. 43–50.
6. Jo B. Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates / B. Jo, S. Park, J. Park // *Construction and Building Materials*. – 2008. – Volume 22. – Issue 12. – pp. 2281–2291.
7. Optimizing the mixture design of polymer concrete: An experimental investigation / K. Jafaria, M. Tabatabaeiana, A. Joshaghanib, T. Ozbakkalogluc // *Construction and Building Materials*. – 2018. – Volume 167. – pp. 185–196.
8. Патент України на корисну модель №129097. Будівельна полімервмісна композиція / Григоров А.Б.; власник патенту Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – u201808297; заявл. 26.03.2018 р.; опублік. 25.10.2018 р. Бюл. № 20. – 5с.
9. Grease degradation in rolling element bearings / P.M. Cann, J.P. Doner, N. Webster, V. Wikstrom // *Tribol. Trans.* – 2001. – Issue 44. – pp. 399–404.
10. Booser E. Grease and grease life / E. Booser, M. Khonsari // *Encyclopedia of Tribology*. – 2013. – pp. 1555–1561.
11. Hospodarova V. Color pigments in concrete and their properties / V. Hospodarova, N. Stevulova, J. Junak // *Pollack Periodica*. – 2015. – Issue 10(3). – pp. 143–151.
12. Dalal M. Study of the internal confinement of concrete reinforced (in civil engineering) with woven reinforcement / M. Dalal, O. Goumairi, A. E.L. Malik // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2017. – Volume 254. – pp. 1–6.

УДК 658.567.1

Григоров А.Б.

УТИЛІЗАЦІЯ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ПЛАСТИЧНОГО МАСТИЛА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Запропоновано утилізувати відпрацьовані пластичні мастила, які відносяться до шкідливих промислових відходів при виробництві полімервмісних будівельних матеріалів широкого спектру застосування: тротуарна плитка, системи водовідведення, кришки та колодці для прокладення підземних комунікацій тощо. Наведена схема виробництва передбачає використання відпрацьованих пластичних мастил у якості адгезійної добавки для підвищення зчеплення між часточками мінерального наповнювача та, як наслідок, поліпшення міцності отриманих матеріалів. У лабораторних умовах при температурі 260 °С і тиску 15 МПа було отримано матеріал, який складався зі: 30 % мас. відходів, представлених поліетилентерефталатом (ПЕТФ), 63 % мас. піску, 5 % мас. відпрацьованого пластичного мастила та 2 % мас. барвника. У порівнянні з важким бе-

тоном класу В35 отриманий матеріал має підвищені експлуатаційні властивості: більшу морозостійкість і міцність при стисканні, низьке водопоглинення, меншу масу.

Ключові слова: пластичне мастило, утилізація, будівельні матеріали, полімерні відходи, змішування компонентів, формування під тиском.

Григоров А.Б.

УТИЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННОЙ ПЛАСТИЧНОЙ СМАЗКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предложено утилизировать отработанные пластичные смазки, которые относятся к вредным промышленным отходам при производстве полимерсодержащих строительных материалов широкого спектра применения: тротуарная плитка, системы водоотвода, крышки и колодцы для прокладки подземных коммуникаций и прочее. Приведенная схема производства предусматривает использование отработанных пластичных смазок в качестве адгезионной добавки для повышения сцепления между частицами минерального наполнителя и, как следствие, улучшение прочности полученных материалов. В лабораторных условиях при температуре 260 °С и давлении 15 МПа, был получен материал, который состоял из 30 % масс. отходов, представленных полиэтилен-терефталатом (ПЭТФ), 63 % масс. песка, 5 % масс. отработанной пластичной смазки и 2 % масс. красителя. По сравнению с тяжелым бетоном класса В35 полученный материал имеет повышенные эксплуатационные свойства: большую морозостойкость и прочность при сжатии, низкое водопоглощение, меньшую массу.

Ключевые слова: пластичная смазка, утилизация, строительные материалы, полимерные отходы, смешивания компонентов, формирование под давлением.

Grigоров А.

DISPOSAL OF WASTE GREASE IN THE MANUFACTURE OF BUILDING MATERIALS

It is proposed to dispose the used plastics greases, which are hazardous industrial wastes in the production of polymer-containing building materials, of a wide range of applications: pavement tile, drainage systems, lids and pads for laying underground communications, etc. The scheme of production involves the using of waste plastic greases as an adhesive additive to increase the adhesion between the particles of mineral filler and, as a consequence, improve the strength of the obtained materials. In laboratory conditions at a temperature of 260 °C and a pressure of 15 MPa, a material consisting of: 30% wt. waste represented by polyethyleneterephthalate (pet), 63 % wt. sand, 5 % wt. waste plastic grease and 2 % wt. dye. was obtained. In comparing with the heavy concrete of class b35, the material obtained has high operational properties: greater frost resistance and compressive strength, low water absorption, less weight.

Keywords: plastic grease, recycling, building materials, polymeric waste, mixing of components, molding under pressure.

Мироненко Л.С., ас. каф., Тимченко В.К., к техн.н., проф.,
Первалов Л.І., к техн.н., проф., Арутюнян Т.В., к техн.н., доцент

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ БЕЗПЕКИ ТА ОКИСНЮВАЛЬНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ САФЛОРОВОЇ ОЛІЇ

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна*

Ключові слова: олія сафлорова, токсичні елементи, хлорогенові пестициди, мікотоксини, бенз(а)пірен, період індукції, антиоксиданти.

Вступ. Сучасні технології вирощування і переробки олійних культур в т.ч. малопоширених в Україні орієнтовані на виробництво широкого спектру повноцінних високоякісних жиромістивних продуктів харчування. Україна є експортером соняшникової олії та соняшникового шроту і в умовах світової організації торгівлі повинна забезпечувати контроль за показниками безпеки продукції, яку поставляє на світовий ринок. Цьому сприяє запровадження системи управління якістю та безпеки, яка базується на принципах стандартів Європейських систем ISO, EN та інших, а також завдяки імплементації системи НААСР (Hazard Analysis Critical Control Point) на олієжирових і харчових виробництвах [1]. Зараз в Україні здійснюється реформування системи забезпечення безпечності та якості продовольчої продукції [2].

До показників безпеки рослинних олій відносять: вміст токсичних елементів, хлорогенових пестицидів, мікотоксинів, радіонуклідів, бенз(а)пірену, а також показники окиснюваності – пероксидне та анізидинове числа [3].

Що стосується окиснювальної стабільності сафлорової олії, то слід зазначити наступне. Унікальний жирнокислотний склад олії сафлору (домінуюча кислота лінолева у кількості $\approx 75\%$) і низький вміст природних антиоксидантів (токоферолів) обумовлює низьку стійкість сафлорової олії до окиснення [4, 5]. Окисна стабільність нерафінованої сафлорової олії перешкоджає її зберіганню перед подальшою переробкою упродовж необмеженого терміну часу. Зазвичай індукційний період нерафінованої сафлорової олії без додавання антиоксидантів складає від 4-х до 8-ми год. після подрібнення насіння і знижується до 1–3 год. після 2–4 місяців зберігання [6,7].

Відомо, що сафлорову олію використовують у тих харчових продуктах, в яких бажаним є вміст поліненасичених незамінних жирних кислот. Її додають до складу майонезів, салатних дресингів, рідких та м'яких маргаринів. Стабільність смаку була постійною проблемою для тих продуктів, які містили значну кількість сафлорової олії. Гідрогенізування підвищує її окиснювальну стабільність. Дійсно, гідрогенізовану сафлорову олію можна використовувати у маргарині чи шортенінгу для заміни жирової основи у звичній β' -кристалічній формі. Однак, автор публікації стверджує, що стабільність гідрогенізованої сафлорової олії є значно нижчою, ніж соєвої чи кукурудзяної олії, які затверджували до такого ж ступеню [8].

Відносно недавні дослідження [9] виявили позитивну дію екстрактів розмарина як антиоксидантів для сафлорової олії.

З огляду на широкий можливий спектр використання сафлорової олії у складі харчових продуктів, фармакопейних препаратах і косметичних засобів, а також на відсутність відповідного національного стандарту і доступних даних у закордонних джерелах науково-технічної інформації наукові дослідження щодо безпечності та стабільності окиснювального псування олії сафлору є актуальними.

Постановка проблеми. Метою даного дослідження є визначення показників безпеки олії сафлорової з вітчизняних сортів насіння та дослідження її окиснювальної стабільності.

У відповідності із зазначеною метою сформульовано наступні задачі дослідження:

- визначити вміст токсичних елементів у сафлоровій олії;
- визначити вміст пестицидів у сафлоровій олії;
- визначити вміст мікотоксинів у сафлоровій олії;
- визначити вміст бенз(а)пірену у сафлоровій олії;
- дослідити окиснювальну стабільність сафлорової олії методом диференційної скануючої калориметрії.

Викладення основного матеріала дослідження. Визначення вмісту токсичних елементів (свинцю, кадмію, міді, цинку, заліза) чинним методом, що включає мінералізацію продукту (сафлорової олії) шляхом сухого або мокрого озолення і вимірювання концентрації елементу у розчині мінералізату за допомогою полум'яної атомної абсорбції. Експериментальні дослідження проведено згідно міждержавного ГОСТ 30178 [10]. Результати вимірювань представлено в табл. 1.

Очевидно, що вміст токсичних елементів у сафлоровій олії не перевищує норм, передбачених для рослинних олій [3].

Таблиця 1 – Вміст токсичних елементів у сафлоровій олії

Найменування елементу	Масова частка елементу, мг/кг	Збіжність, % відносний за умови P=0,95
Свинець	< 0,02	20,0
Кадмій	< 0,002	20,0
Мідь	< 0,05	20,0
Цинк	0,7	20,0
Залізо	0,7	20,0

Далі згідно з поставленими задачами у досліджуваному зразку олії сафлорової визначено:

- вміст пестицидів : ГХЦГ (суму ізомерів), ДДТ (суму метаболітів) і гептахлору згідно з методиками, представленими у міжнародному стандарті АОАС 2007.1 [11] з використанням методу газової хроматографії;

– вміст мікотоксинів (афлатоксину В₁ і зеароленону) за Методичними вказівками № 4082 [12]. Підтвердження наявності афлатоксинів здійснено за допомогою двомірної тонкошарової хроматографії, а кількісне визначення – високоефективної рідинної хроматографії;

– вміст бенз(а)пірену із застосуванням спектрофлуориметрії за низької і кімнатної температури та високоефективної рідинної хроматографії з флуоресцентним детектором [13].

Результати цих досліджень зведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Характеристика деяких показників безпеки у сафлоровій олії

Найменування показнику безпеки	Вміст, мг/кг	Збіжність, % відносний за умови P=0,95
Пестициди:		
ГХЦГ (сума ізомерів)	< 0,001	25,0
ДДТ (сума метаболітів)	< 0,001	25,0
Гептахлор	< 0,001	25,0
Мікотоксини:		
афлатоксин В ₁	< 0,001	25,0
зеароленон	< 0,04	25,0
Бенз(а)пірен	0,5	45,0

Як свідчать результати, що наведено у табл. 2, вміст пестицидів, мікотоксинів і бенз(а)пірену відповідають нормативним показникам для рослинних олій [3].

Дослідження окиснювальної стабільності сафлорової олії методом диференційної скануючої калориметрії виконано за методикою, опрацьованої в лабораторії інструментальних досліджень Українського науково-дослідного інституту олій та жирів (м. Харків) [14].

У даному дослідженні використано олію сафлорову холодного віджиму нерафіновану. Окиснювальну стабільність олії сафлорової визначали шляхом вимірювання періоду індукції чистої олії у порівнянні з соняшниковою олією та з додаванням суміші токоферолів, а також водно-спиртових екстрактів кори дубу, листя зеленого чаю та листя евкаліпту. Для дослідження прийнято концентрацію суміші токоферолів 0,02 % до маси олії концентрацію водно-спиртових екстрактів – 0,02 % до маси олії у перерахунку на суху речовину.

Метод диференційної скануючої калориметрії дозволяє фіксувати різницю теплових потоків між тиглем із наважкою зразку та порожнім тиглем, за умов постійної температури або її зміни. В даному дослідженні зразок витримували за умов постійної температури 110 °С. Під час перебігу окиснювальних процесів у зразку значення сигналу – величини теплового потоку – змінюється, і на одержаній ДСК-грамі спостерігається різке зниження цього показника. За кривою на ДСК-грамі розраховують період індукції.

Результати дослідження для пресової сафлорової олії та з додаванням антиоксидантів показано на рис. 1.

На рис. 2 показано ДСК-граму окиснення олії соняшникової нерафінованої холодного пресування вимороженої першого ґатунку.

В олії холодного пресування суттєва кількість супутніх речовин, у тому числі природних антиоксидантів, залишається. Таким чином, порівняно дві олії (сафлорову та соняшкову) за умов однакового способу їх одержання.

Як видно з наведених даних, період індукції соняшникової олії перевищує період індукції сафлорової олії у 1,22 рази, що підтверджує меншу окиснювальну стабільність сафлорової олії.

Аналогічні ДСК-грами одержано для олії сафлорової з додаванням 0,02 % мас. суміші токоферолів, водно-спиртових екстрактів кори дубу, листя зеленого чаю та евкаліпту. У табл. 3 зведено дані щодо періодів індукції, розрахованих ДСК-грамами досліджених систем.

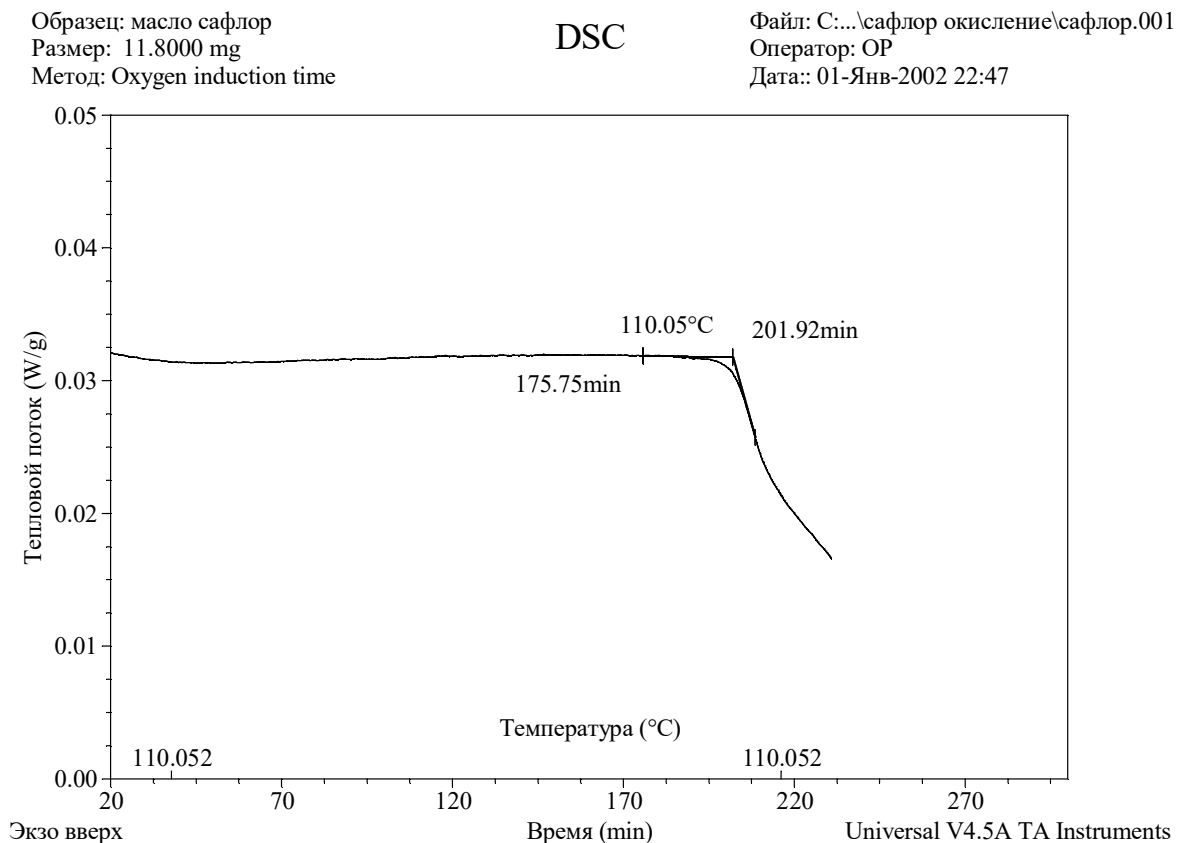


Рисунок 1 – ДСК-грама окиснення пресової сафлорової олії

Як видно з даних табл. 3, найбільший період індукції, тобто найбільшу окиснювальну стабільність виявлено в олії сафлорової з додаванням екстракту зеленого чаю. Період індукції при цьому збільшився у 2,39 рази. Найменшу ефективність серед досліджених антиоксидантів виявлено у водно-спиртового екстракту листя евкаліпту, збільшення періоду індукції становило лише величину у 1,62 рази більше, ніж у чистої сафлорової олії.

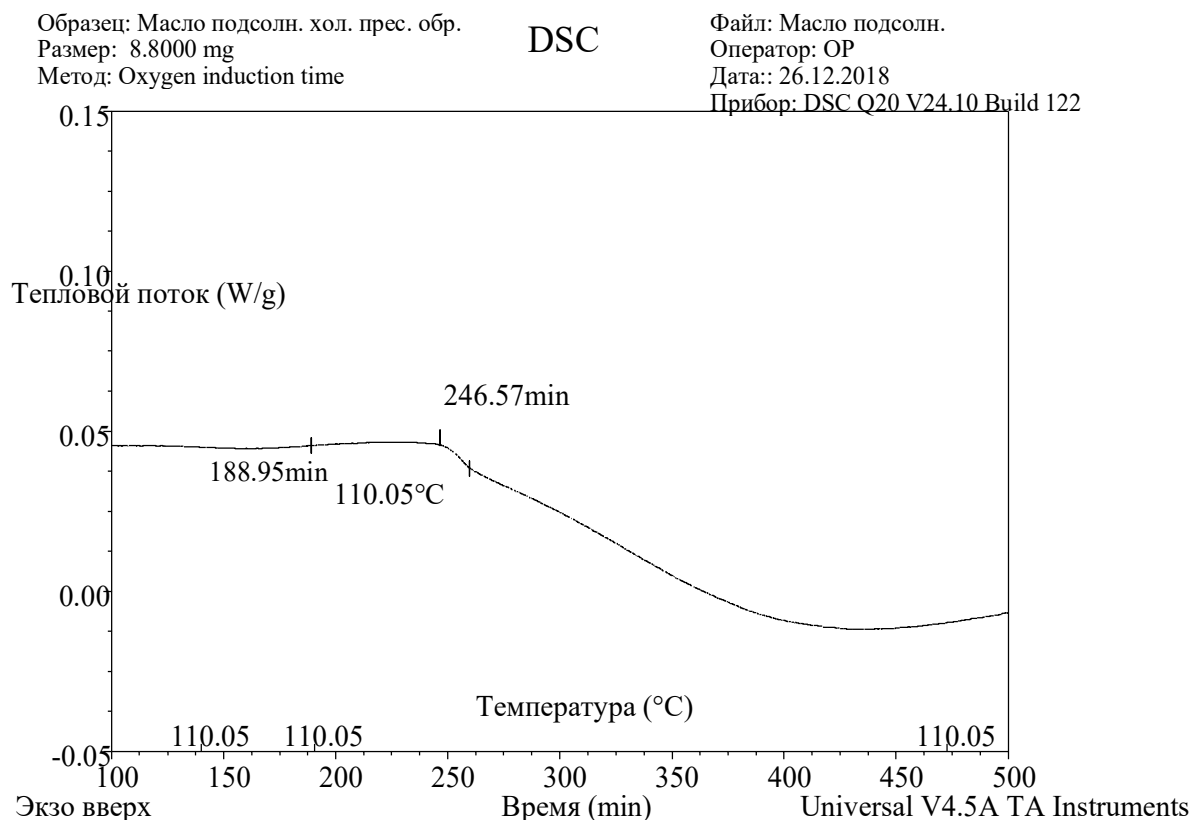


Рисунок 2 – ДСК-грама окиснення зразку олії соняшникової нерафінованої холодного пресування вимороженої першого гатунку

Таблиця 3 – Значення періодів індукції досліджених олій, в т.ч. з додаванням антиоксидантів

Досліджувана система	Період індукції, хв.
Олія сафлорова холодного віджиму	201,92
Олія сафлорова + 0,2% суми токоферолів	413,93
Олія сафлорова + 0,2% екстракту кори дуба	425,41
Олія сафлорова + 0,2% екстракту листя зеленого чаю	482,87
Олія сафлорова + 0,2% екстракту листя евкаліпту	327,45
Олія соняшникова холодного пресування	246,34

Висновки та перспективи подальших досліджень

Вперше проведено комплексне дослідження показників безпеки олії сафлорової з вітчизняного сорту насіння. Виявлено, що вміст токсичних елементів (свинцю, кадмію, міді, цинку, заліза); хлорогенових пестицидів: гексахлорциклогексану (сума ізомерів), діхлордифенілу (сума метаболітів), гептахлору; мікотоксинів (афлатоксину В₁ і зеаролонону); бенз(а)пірену не перевищує показників, передбачених нормативними матеріалами для рослинних олій.

Одержані значення показників безпеки можна використовувати як довідкові дані, а також під час підготовки національного стандарту на олію сафлорову.

Дослідження окиснювальної стабільності олії сафлорової з визначенням періоду індукції дозволяє прогнозувати термін зберігання та запропонувати антиоксиданти (зокрема, екстракт листя зеленого чаю) для підвищення її антиокиснювальної здатності.

Подальші дослідження щодо олії з насіння сафлору вітчизняних сортів буде спрямовано на розробку технології видобування її, яка б забезпечила одержання харчової пресової олії.

Література

1. Левчук І.В., Осейко М.І., Тимченко В.К. Аналіз факторів небезпеки продукції у технології олієжирових виробництв // Технологічний аудит і резерви виробництва. – Харків: Технологічний центр, 2014. – Т.5. – №2(19). – С. 21–25.
2. Демидов І.М., Лозовицький О.С., Голомша Я.Я., Голодняк В.О., Кузнєцова І.В., Гетьман М.В., Гуртовий О.М. Дорожня карта законодавчого регулювання якості харчових продуктів: монографія. – Київ: ЦП «Компринт», 2018. – 197 с.
3. Олія соняшникова. Загальні технічні умови. ДСТУ 4492. – [Чинний від 01.01.2019]. – К.: Держспоживстандарт України, 2019р. – 31 с. (Національний стандарт України).
4. Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности. Под ред. А.Г. Сергеева. – Л.: ВНИИЖ. – Т.5. – 501 с.
5. Patterson, H.B.W. Handling and storage of Oilseeds, Oils, Fats and Meal // Elsevier Science, Essex, 1989. – P. 1135.
6. J. Resken, J. Siebrecht, J. Hazebrock. Triacylglycerol composition and structure in genetically modified safflower and soybean oils // JAOCS, 1997. – Vol.74. – P.989–997.
7. Terrones, A., Wilson R.F. ed. Safflower: a speciality in the world market // Proceeding of the World Conference on Oilseed Processing and Utilization. – Champaign, J.L.: AOCS Press, 2001. – P. 145–150.
8. Blum, J.E. The role of safflower oil in edible oil application // JAOCS, 1966. – vol.43. – P. 416.
9. Храс А.Р., Хадолон М., Кнез З. и Бауман Д. Сравнение антиокислительного и синергетического действия экстракта розмарина с токоферолом, аскорбилпальмитином и лимонной кислотой в подсолнечном масле // Пищевая химия, 2000. – № 71. – С. 229–233.
10. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов: ГОСТ 30178. – [Введен 1998-01-01]. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. – 8 с. (Міждержавний стандарт).
11. AOCS Official Method 2007.01. Pesticide Residues in Foods by Acetonitrile Extraction and Partitioning with Magnesium Sulfate: 2007 AOCS International.

12. Методические указания по обнаружению, идентификации и определению содержания афлатоксинов в продовольственном сырье и пищевых продуктах с помощью высокоэффективной жидкостной Хроматографии № 4082-86 от 20.03.86 МЗ СССР.

13. Продукти харчові. Методи визначення масової частки бенз(а)пірену: ДСТУ 4689. – [Чинний від 2007-07-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2006 – 22с.

14. Методика визначення стійкості до окиснення олій та жирів методом дифференційної скануючої калориметрії / І.П. Петік, Н.С. Ситнік, Г.П. Білінська та ін.: – Харків: УкрНДІОЖ НААН України, 2017. – 20 с.

Bibliography (transliterated)

1. Levchuk I.V., Osejko M.I., Ty'mchenko V.K. Analiz faktoriv nebezpeky` produkciyi u texnologiyi oliyezhy`rovy`x vy`robny`chtv // *Texnologichny`j audy`t i rezervy` vy`robny`chtva*. – Harkiv: *Texnologichny`j centr*, 2014. – T.5. – #2(19). – P. 21–25.

2. Demy`dov I.M., Lozovy`cz`ky`j O.S., Golomsha Ya.Ya., Golodnyak V.O., Kuznyeczova I.V., Get`man M.V., Gurtovy`j O.M. Dorozhnya karta zakonodavchogo reguluyuvannya yakosti xarchovy`x produktiv: monografiya. – Ky`yiv: CzP «Kompry`nt», 2018. – 197 p.

3. Oliya sonyashny`kova. Zagal`ni texnichni umovy`. DSTU 4492. – [Chy`nny`j vid 01.01.2019]. – K.: *Derzhspozhy`vstandart Ukrayiny`*, 2019r. – 31 p. (*Nacional`ny`j standart Ukrayiny`*).

4. Rukovodstvo po metodam issledovaniya, tehnohimicheskomu kontrolyu i uchetu proizvodstva v maslozhirovoj promyshlennosti. Pod red. A.G. Sergeeva. – L.: VNIIZh. – T.5. – 501 p.

5. Patterson, H.B.W. Handling and storage of Oilseeds, Oils, Fats and Meal // *Elsevier Science, Essex*, 1989. – P. 1135.

6. J. Resken, J. Siebrecht, J. Hazebrock. Triacylglycerol composition and structure in genetically modified safflower and soybean oils // *JAOCS*, 1997. – Vol.74. – P. 989–997.

7. Terrones, A., Wilson R.F. ed. Safflower: a speciality in the world market // *Proceeding of the World Conference on Oilseed Processing and Utilization*. – Champaign, J.L.: *AOCS Press*, 2001. – P. 145–150.

8. Blum, J.E. The role of safflower oil in edible oil application // *JAOCS*, 1966. – vol.43. – P. 416.

9. Hras A.R., Hadolon M., Knez Z. i Bauman D. Sravnenie antiokislitel'nogo i sinergeticheskogo dejstviya ekstrakta rozmarina s tokoferolom, askorbilpalmitinom i limonnoj kislotoj v podsolnechnom masle // *Pishevaya himiya*, 2000. – № 71. – P. 229–233.

10. Syre i produkty pishevye. Atomno-absorbcionnyj metod opredeleniya toksichnyh elementov: GOST 30178. – [Vveden 1998-01-01]. – Minsk: *Mezhgosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii*, 1996. – 8 p. (*Mizhderzhavny`j standart*).

11. AOCS Official Method 2007.01. Pesticide Residues in Foods by Acetonitrile Extraction and Partitioning with Magnesium Sulfate: 2007 AOCS International.

12. Metodicheskie ukazaniya po obnaruzheniyu, identifikacii i opredeleniyu soderzhaniya aflatoksinov v prodovolstvennom syre i pishevyh produktah s pomoshyu vysokoeffektivnoj zhidkostnoj Hromatografii № 4082-86 ot 20.03.86 MZ SSSR.

13. Produkty` xarchovi. Metody` vy`znachennya masovoyi chastky` benz(a)pirenu: DSTU 4689. – [Chy`nny`j vid 2007-07-01]. – Ky`yiv: Derzhspozhy`vstandart Ukrayiny`, 2006 – 22 p.

14. Metody`ka vy`znachennya stijkosti o oky`snennya olij ta zhy`riv metodom dy`fferencijnoyi skanuuyuchoyi kalory`metriyi / I.P. Petik, N.S. Sy`tnik, G.P. Bilins`ka ta in.: - Xarkiv: UkrNDIOZh NAAN Ukrayiny`, 2017. –20 p.

УДК 665.1:608.3:66-916.1

Мироненко Л.С., Тимченко В.К., Перевалов Л.І., Арутюнян Т.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ БЕЗПЕКИ ТА ОКИСНЮВАЛЬНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ САФЛОРОВОЇ ОЛІЇ

У статті наведено результати досліджень показників безпеки олії сафлору. Визначено вміст токсичних елементів (свинцю, кадмію, міді, цинку, заліза) чинним методом, що включає мінералізацію продукту (сафлорової олії) шляхом сухого або мокрого озолення і вимірювання концентрації елементу у розчині мінералізату за допомогою полум'яної атомної абсорбції. Також у досліджуваному зразку олії сафлорової визначено: вміст пестицидів і гептахлору згідно з методиками, представленими у міжнародному стандарті з використанням методу газової хроматографії та вміст мікотоксинів. Наявність афлатоксинів здійснено за допомогою двомірної тонкошарової хроматографії, а кількісне визначення – високоефективної рідинної хроматографії. Вміст бенз(а)пірену визначено із застосуванням спектрофлуориметрії за низької і кімнатної температури та високоефективної рідинної хроматографії з флуоресцентним детектором. Окиснювальна стабільність сафлорової олії досліджена методом диференційної скануючої калориметрії за методикою, опрацьованої в лабораторії інструментальних досліджень Українського науково-дослідного інституту олій та жирів. Також наведено ДСК-грами окиснення пресової сафлорової олії з додаванням антиоксидантів та зразку олії соняшникової нерафінованої холодного пресування вимороженої першого гатунку. Наведено ДСК-грами одержані для олії сафлорової з додаванням суміші tokoферолів, водноспиртових екстрактів кори дубу, листя зеленого чаю та евкаліпту. Найбільшу окиснювальну стабільність виявлено в олії сафлоровій з додаванням екстракту зеленого чаю. Найменшу ефективність серед досліджених антиоксидантів виявлено у водноспиртового екстракту листя евкаліпту. Проведене дослідження окиснювальної стабільності олії сафлорової з визначенням періоду індукції дозволяє прогнозувати термін зберігання та запропонувати антиоксиданти для підвищення її антиокиснювальної здатності.

Ключові слова: олія сафлорова, токсичні елементи, хлорогенові пестициди, мікотоксини, бенз(а)пірен, період індукції, антиоксиданти.

Мироненко Л.С., Тимченко В.К., Перевалов Л.И., Арутюнян Т.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ САФЛОРОВОГО МАСЛА

В статье приведены результаты исследований показателей безопасности масла сафлора. Определено содержание токсичных элементов (свинца, кадмия, меди, цинка, железа) действующим методом, включая минерализацию продукта (сафлорового масла) путем сухого или мокрого озоления и измерения концентрации элемента в растворе минерализата с помощью пламенной атомной абсорбции. Также в исследуемом образце масла сафлорового определены: содержание пестицидов и гептахлора, согласно методикам, представленным в международном стандарте с использованием метода газовой хроматографии и содержание микотоксинов. Наличие афлатоксинов осуществлено с помощью двухмерной тонкослойной хроматографии, а количественное определение - высокоэффективной жидкостной хроматографии. Содержание бенз(а)пирена определено с применением спектрофлуориметрии при низкой и комнатной температуре и высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуоресцентным детектором. Окислительная стабильность сафлорового масла исследована методом дифференциальной сканирующей калориметрии по методике, разработанной в лаборатории инструментальных исследований Украинского научно-исследовательского института масел и жиров. Также приведены ДСК-граммы окисления прессовой сафлорового масла с добавлением антиоксидантов и образце масла подсолнечного нерафинированного холодного прессования вымороженного первого сорта. Приведены ДСК-граммы, полученные для масла сафлорового с добавлением смеси токоферолов, водно-спиртовых экстрактов коры дуба, листьев зеленого чая и эвкалипта. Наибольшую окислительную стабильность обнаружено в масле сафлоровом с добавлением экстракта зеленого чая. Наименьшая эффективность среди исследованных антиоксидантов обнаружено у водно-спиртового экстракта листьев эвкалипта. Проведенное исследование окислительной стабильности масла сафлорового с определением периода индукции позволяет прогнозировать срок хранения и предложить антиоксиданты для повышения ее антиокислительной способности.

Ключевые слова: масло сафлоровое, токсичные элементы, хлорогеновые пестициды, микотоксины, бенз(а)пирен, период индукции, антиоксиданты.

Mironenko L., Timchenko V., Perevalov L., Arutyunyan T.

RESEARCH OF SAFETY AND OXIDATIVE STABILITY OF SAFLOR OIL

This paper presents scientific research results of safflower oil safety attributes. The maintenance of toxic elements (lead, cadmium, copper, zinc, iron) was determined via available method, including product (safflower oil) mineralization through the instrumentality of

dry or wet combustion and measuring element concentration in mineralization solution by flame atomic absorption. In the tested sample of safflower oil we also determined such characteristics as: content of pesticides, heptachlorine and mycotoxins. Content of pesticides and heptachlorine was determined in accordance with procedures presented in the international standard using gas chromatography method. Availability and quantitative determination of aflatoxins was realized by dimeric thin-layer chromatography and by high-yield liquid chromatography respectively. Content of benz(a)pyrene was determined using spectrofluorimetry (under conditions of low and room temperature) and high-yield liquid chromatography with fluorescent detector. Oxidative stability of safflower oil has been investigated by differential scanning calorimetry according to method well-tested in instrumental research laboratory of Ukrainian research institute of vegetable oils and fats of the National academy of agricultural sciences of Ukraine. Oxidation DSC-grams of pressed safflower oil with addition of antioxidants and a sample of first rate unrefined chilled cold-pressed sunflower oil were also given. DSC-grams obtained for safflower oil with a mixture of tocopherols, aqueous alcoholic extracts of oak bark, green tea and eucalyptus leaves are presented. The uppermost oxidative stability was found in safflower oil with the addition of green tea leaves extract. The lowest effectivity among studied antioxidants was found in aqueous alcoholic extract of eucalyptus leaves. The conducted research of safflower oil oxidative stability with determination of induction period allows to forecast its shelf-life and to offer antioxidants for increasing antioxidant capacity of oil.

Key words: safflower oil, toxic elements, chlorogenic pesticides, mycotoxins, benz(a)pyrene, induction period, antioxidants.

«ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ»

Щоквартальний науково-практичний журнал

Редколегією до опублікування приймаються статті за наступними науковими напрямками:

- ✓ *енергетика та енергозбереження; енерготехнологія енергоємних галузей промисловості; нетрадиційна енергетика; ресурсозбереження; енергетика та навколишнє середовище;*
 - ✓ *теплоиспользующие установки; моделирование процессов промышленного оборудования; процессы и аппараты различных отраслей промышленности (химической, пищевой, мед. оборудования и проч.);*
 - ✓ *тепловикористовуючі установки; моделювання процесів промислового обладнання; процеси та апарати різних галузей промисловості (хімічної, харчової, медичної та ін.);*
 - ✓ *застосування ЕОМ в технологічних процесах; автоматизовані системи управління та обробки інформації;*
 - ✓ *тепло- і масообмінні процеси та обладнання спеціальної техніки; теплові процеси та кріогенне устаткування медичного призначення;*
 - ✓ *електроенергетика; обладнання електростанцій і передача електроенергії;*
 - ✓ *економічні аспекти енергетики й промислової екології; комерційний інжиніринг, реінжиніринг та технологічний менеджмент;*
- а також інших напрямкам на межі різних галузей знань.*

Матеріали до опублікування в кожний наступний номер приймаються до 20 числа останнього місяця попереднього кварталу. Рукописи авторам не повертаються.

Електронна версія статті повинна бути підготовлена у редакторі текстів MS Word for Windows версій 97, XP, 2000 або 2003. Сама стаття повинна бути роздрукована у 2-х примірниках. До матеріалів повинні додаватися експертний висновок про можливість опублікування матеріалів у відкритій пресі та рецензія доктора наук за профілем статті.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ:

Розмір бумаги А4 (210х297 мм); ліве і праве поля – 25 мм, верхнє і нижнє – 30 мм; рекомендований шрифт Times New Roman Суг; розмір шрифту – 12; міжрядковий інтервал – 1.

ПОРЯДОК РОЗМІЩЕННЯ МАТЕРІАЛУ:

- безпосередньо під верхньою межею зліва **ВЕЛИКИМИ ЛІТЕРАМИ** друкуються УДК статті;
- пропустивши один рядок, по центру друкуються прізвища та ініціали авторів із зазначенням наукових ступенів та посади;
- пропустивши один рядок, по центру напівжирним шрифтом **ВЕЛИКИМИ**

ЛІТЕРАМИ друкується назва статті;

- нижче, пропустив одну строку, друкується назва організації, де працюють автори статті;
- після розміщуються ключові слова;
- пропускається один рядок і з абзацу (1,25 см) друкується основний текст, відформатований по ширині сторінки;
- перед і після формул і рівнянь має бути відстань в один порожній рядок до тексту з інтервалом 1;
- формули і рівняння повинні бути вирівняні по центру;
- номери формул і рівнянь повинні бути вирівняні по правому краю;
- розмір шрифту формул і рівнянь для основного тексту – 12 пт.;
- рисунки, схеми і графіки повинні бути виконані в чорно-білому зображенні;
- пропустивши один рядок, приводиться список літератури, оформлений у відповідності до вимог ДСТУ;
- далі розміщується транслітерація списку літератури;
- у кінці статті на трьох мовах (українська, російська та англійська) повинні бути надруковані УДК, автори, назва і анотація.

Окремо в редколегію подаються відомості про авторів з їх адресами Email.

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ

Україна, 61002,
Харків-2, вул. Кирпичова, 2,
НТУ «ХП», редколегія журналу
«Інтегровані технології та енергозбереження»,
технічний редактор: к.техн.н., професор Горбунов К.О.

Тел. (057) 707-69-58.

Факс (057) 720-22-95.

Email: gor.kona2016@gmail.com

**СТАТТІ, ОФОРМЛЕНІ НЕ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ,
РЕДКОЛЕГІЯ НЕ РОЗГЛЯДАЄ**

**НА ЖУРНАЛ ВІДКРИТО ПЕРЕДПЛАТА
В ПОШТОВИХ ВІДДІЛЕННЯХ УКРАЇНИ**

Індекс видання: **22786**

Індекс видання: **46738** – тільки для Донецька та Луганська