

ІТЕ ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Щоквартальний науково-практичний журнал

2'2021

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.
Свідчення перереєстровано у Міністерстві юстиції України
КВ № 24313-ПР від 06.02.2020 р.

Журнал включений
до переліку наукових фахових видань України
(Наказ Міністерства освіти та науки України №886 від 02.07.2020)

Категорія журналу «Б»

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. Арсенська, д-р техн. наук, професор, професор НТУ "ХПІ".
В. Є. Ведь, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ІТПА НТУ "ХПІ"
В. П. Шаповал, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ХТІПЕ НТУ "ХПІ"
П. О. Некрасов, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ТЖІБ 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. Малайченко, д-р техн. наук, професор, професор каф. СЕМ
ХНУМГ
П. О. Капустенко, канд.техн. наук, професор, акад. Академії
будівництва України
Ференс Фридлер, PhD, professor, Pázmány Péter Katolikus
üniversitet, Budapest, Угорщина
Шарифа Рафидан Ван Алви, PhD, professor, Малайзійський університет
технології
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,
Германія
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

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

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

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. Shapoval, 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

Толчинський Ю. А., Ведь В. Є., Рофе-Бекетова І. І.

Теплове управління механохімічною реакцією	3
--	---

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Саєнко Н. В., Биков Р. О., Скрипинець А. В., Демідов Д. В., Карєв А. І., Саєнко Л. В.

Спрямоване регулювання структурно-реологічних властивостей теплоізоляційних акрилових водних дисперсій за рахунок сумісного використання гідрофільно-гідрофобних силікатних наповнювачів.....	11
--	----

Шевченко К. В., Григоров А. Б., Сінкевич І. В.

Властивості котельного палива, компаундованого вузькими паливними фракціями.....	22
---	----

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Рябова І. Б., Гарєв А. О., Гарєв Л. А., Горбунов К. О.

Інтеграція технологічних потоків бражної та еспюраційної колони в процесі виробництва ректифікованого етилового спирту.....	30
--	----

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

Інтеграція процесу теплообміну енергетичної установки.....	41
--	----

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Стаднік В. Ю.

Оцінка факторів екологічної безпеки дитячих майданчиків методом рангової кореляції.....	49
--	----

<i>Сторінка редколегії.....</i>	58
---------------------------------	----

Затверджено Вченою радою НТУ «ХПІ» (протокол № 5 від 28.05.2021 р.)

Інтегровані технології та енергозбереження / Щоквартальний науково-практичний журнал. –
Харків : НТУ «ХПІ», 2021. – № 2. – 60 с.

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

© Національний технічний університет «ХПІ», 2021

Толчинський Ю.А., к.т.н., доцент, Ведь В.Є., д.т.н., професор, Рофе-Бекетова І.І.

ТЕПЛОВЕ УПРАВЛІННЯ МЕХАНОХІМІЧНОЮ РЕАКЦІЄЮ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

Ключові слова: механохімія, гідродинамічна модель руху, теплове управління, механохімічна реакція, черв'ячний реактор, коефіцієнт швидкості реакції.

Механохімія вивчає та пояснює процеси хімічних та фізико-хімічних перетворень, які породжуються механічним впливом на речовину. При здійсненні глибоких механохімічних перетворень, як правило, необхідно передати твердим реагентам порцію енергії, порівняну до енергії міжатомних зв'язків. Для цього використовуються різноманітні машини та апарати, такі як екструдери, в яких механічна енергія постійно передається подрібненому матеріалу. До того ж, екструдер забезпечує напружений стан матеріалу та його постійне переміщення.

До основних способів впливу на матеріал у черв'ячних машинах можна віднести тепловий, зсувний та компресійний.

Тепловий вплив може мати двояку природу. Можливий нагрів або охолодження матеріалу, що знаходиться у робочій зоні, за рахунок зовнішніх агентів: тепло- або холодоносіїв. Можливий також дисипативний саморозігрів матеріалу у черв'ячній машині, який в залежності від цілей впливу на матеріал може бути як корисним, так і шкідливим. Ефективність проникнення тепла в об'єм матеріалу як при використанні теплових зовнішніх агентів, так і при дисипативному саморозігріві матеріалу залежить не тільки від теплофізичних властивостей теплоносіїв, але й від величини зсуву у матеріалі в робочій зоні черв'ячної машини. Ця залежність від зсуву визначається коефіцієнтами теплопередачі теплоносіїв та ступеню перемішування матеріалу.

Неізотермічний характер реакції здатен надавати важливий керуючий вплив на швидкість протікання реакції, адже сукупний вплив температури на напруги у твердому тілі викликає зміну бар'єру активації та деформує криву швидкості, що впливає на швидкість отримання кінцевого продукту реакції та на його якість.

Взаємодія двох реагентів у найпростішій хімічній реакції у стані суміші часток двох сортів відбувається наступним чином. Суміш, потрапляючи у деяку область, рухається в умовах кінематичної зсувної течії. Стиснуті частки, що мають широкувату неправильну форму, стикаються одна з одною, утворюючи області контакту. У цих областях виникають значні концентрації напружень та нагрів речовини.

Якщо пара часток, що стикаються, належить до реагентів, які здатні вступити у реакцію, то починаючи з деяких порогових значень тиску, напруги зсуву та температури, утворюються зародкові фази. Такий зародок, або нова фаза, що розташовується на

поверхні частки, модифікує властивості області контакту й оказує великий вплив на реологічні характеристики суміші що реагує.

Роботою розглядається необоротна реакція утворення продукту з двох твердих компонентів. Кожен реагент являє собою дисперсну тверду фазу, а продуктом є рідка фаза.

Швидкість взаємодії хімічної реакції на міжфазному кордоні дуже чутлива до температури кордону. При контакті двох шорстких хімічно реагуючих часток температура залежить від дисипації енергії в елементах мікрорельєфу та краплях нової фази, а також від теплових транспортних коефіцієнтів часток поза областю контакту.

У найпростішому випадку вираз для енергії можна записати наступним чином:

$$\delta E = \sigma_{ik} \varepsilon_{ik} = \sigma_{ik} a_{im} \sigma_{km}, \quad (1)$$

де δE – енергія напружень, Дж; σ_{ik} – компонента тензора напружень, Н/м²; a_{im} – компонента коефіцієнтного тензору, Н/м².

Зниження енергії механохімічної реакції призводить до такого виразу для величини енергії активації:

$$E - \delta E = \sigma_{ik} a_{im} \sigma_{km} \sim E - \text{const } \sigma^2, \quad (2)$$

де σ – характерне значення напружень у середовищі, Н/м². Константа у цій формулі залежить від властивостей речовини часток дисперсного середовища й визначається тільки експериментальним шляхом.

Константа швидкості має арреніусовський вигляд, тож константа швидкості простої механохімічної реакції визначається наступною формулою:

$$k = k_0(T) \exp \left[-\frac{E - \text{const } \sigma^2}{k_E T} \right], \quad (3)$$

де $k_0(T)$ – преекспоненціальний множник, розмірність якого визначається розмірністю концентрації компонентів реакції; k_E – стала Больцмана, Дж/град.

Температура T визначається з рішення задачі теплообміну руху дисперсної суміші реагуючих часток.

Процес теплообміну описується двома рівняннями, в кожне з яких входить джерело та стоки тепла. Джерелами тепла для рівнянь теплообміну течії речовини є дисипативне тепло, а стоком – поверхня каналу.

З урахуванням цього, система рівнянь теплообміну приймає наступний вигляд:

$$\dot{V}_{im} \rho_{im} c_{pim} \frac{dT_{im}}{dz_{im}} = \dot{e}_{im} s_{im} - k_{iem} (T_{im} - T_{em}) \pi_{im} \pm \dot{q}_{ch}; \quad (4)$$

$$\dot{V}_{em} \rho_{em} c_{pem} \frac{dT_{em}}{dz_{em}} = k_{iem} (T_{im} - T_{em}) \pi_{im} - k_{em}^{\infty} (T_{em} - T^{\infty}) \pi^{\infty},$$

у якому $\dot{V}_i$, $\dot{V}_e$ – витрати речовини та теплоносія відповідно, м³/с; ρ_i , ρ_e – щільності речовини та теплоносія відповідно, кг/м³; c_{pi} , c_{pe} – теплоємності речовини та теплоносія відповідно, Дж/кг·град; $\dot{e}_i$ – щільність енергії дисипації течії матеріалу, Дж/м³·с; s_i – площа поперекового перерізу каналу черв'ячної машини, м²; k_{ie} – коефіцієнт теплопередачі між каналами матеріалу та теплоносія, Дж/с·м²·град; k_e^{∞} – коефіцієнт теплопередачі між каналом рубашки та оточуючим середовищем, Дж/с·м²·град; T_i , T_e – температури у каналі машини та у каналі рубашки, відповідно, град; $\dot{q}_{ch}$ – тепловий ефект механохімічної реакції.

Тож, спираючись на формулу коефіцієнту швидкості, температура має експоненціальний вплив на коефіцієнт швидкості реакції. Відповідно теплове управління механохімічною реакцією полягає у підтримці оптимального балансу дисипативного тепла та тепла від теплоносія у черв'ячному реакторі для того, щоб швидкість протікання та кінцевий продукт реакції задовольняли поставленим технічним умовам.

Для того, аби полегшити процес управління, було запропоновано наступний практичний підхід (рис. 1).

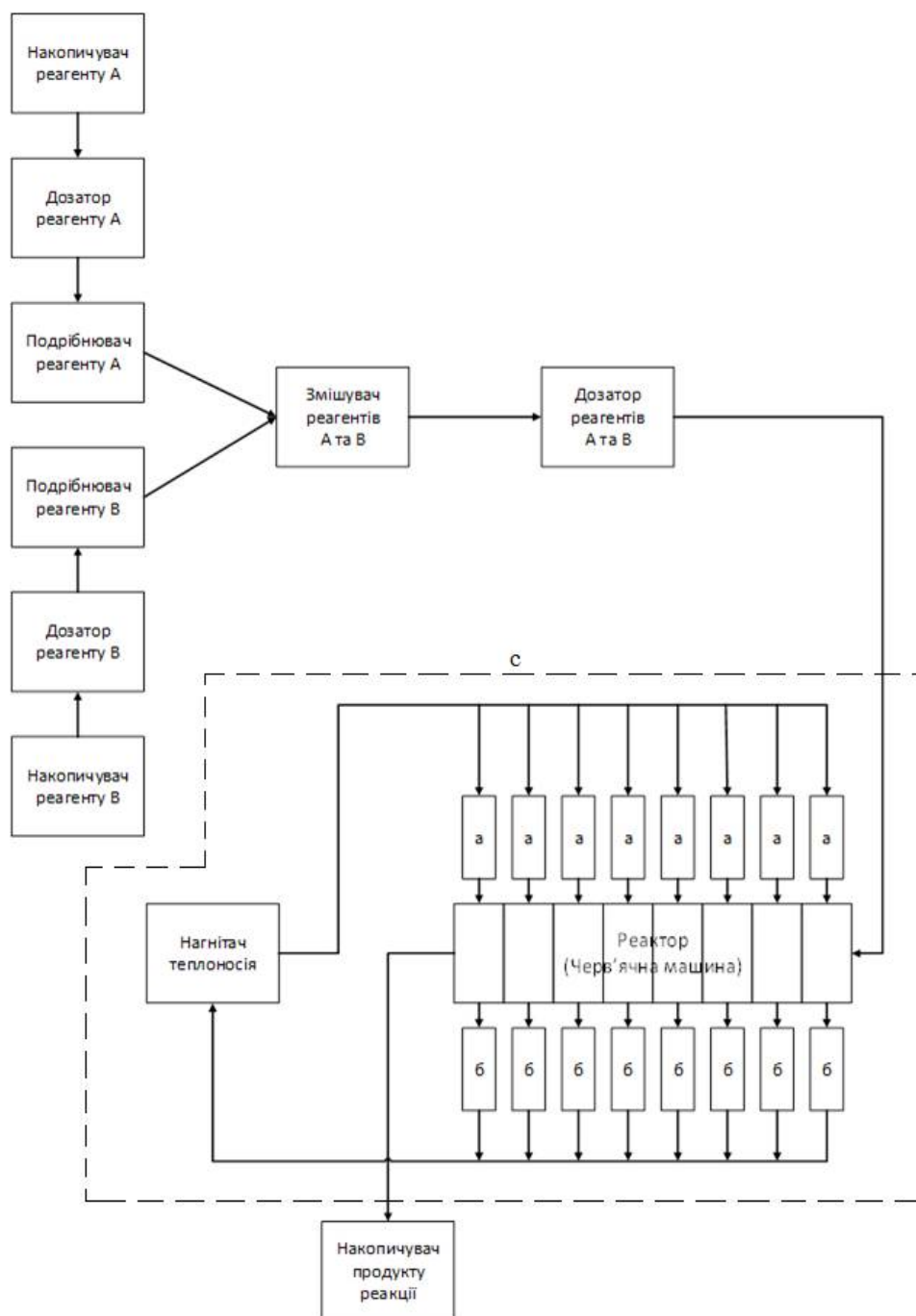
Блок-схема технологічної лінії, що представлена на рис 1, складається з накопичувача, дозатора та подрібнювача для двох початкових матеріалів, змішувача та дозатора для змішаного матеріалу та, власне, блоку теплового управління механохімічною реакцією, виходячи з якого кінцевий продукт потрапляє до накопичувача продукту реакції.

Блок теплового управління, у свою чергу, складається з реактору – черв'ячної машини – та елементів кондиціонування теплоносія, що утворюють таку багатокільцеву рубашку навколо черв'ячної машини, щоб на кожен новий виток черв'яка припадало нове кільце рубашки. У загальному випадку канали рубашки розміщені під кутом до каналів робочої зони черв'ячної машини.

Визначивши початкові технічні та технологічні умови, через представлені формули, розраховується така константа швидкості механохімічної реакції для кожного витку черв'ячної машини, що відповідає початковим умовам. З формули константи швидкості визначається необхідна температура, яку потрібно підтримувати у відповідному витку черв'ячного реактору. Визначивши необхідні температури для усіх витків черв'ячного реактору, скеровується температура теплоносія у кожному кільці рубашки.

Завдяки запропонованій технічній лінії навіть при умові, що у деяких кільцях рубашки може бути необхідна набагато вища, або нижча температура, ніж у всіх інших, технологічний процес все одно може відбуватись без необхідності змін у виробництві. Для такої ситуації потрібно буде змінити теплоносій для того чи іншого кільця рубашки, встановити для нього окремий нагнітач та продовжити технологічний процес.

Запропонована схема є економічно вигіднішою у зрівнянні з проведенням цієї ж реакції у розчиннику. Економічна вигода полягає в елімінаванні стадій введення та видалення розчинника з продукту реакції, що дозволяє не тільки зменшити витрати на обслуговування технологічної лінії, а й спрощує процес виробництва.



а, б – елементи кондиціонування теплоносія; с – блок теплового управління

Рисунок 1 – Блок-схема технологічної лінії механохімічної реакції

Тож, підбиваючи підсумки, можна констатувати, що механохімічна реакція перетворення суміші двох дисперсних матеріалів, що складається з твердих часток у рі-

дину може бути реалізована у непереривних умовах у потоковому режимі у черв'ячній машині. А теплове керування ходом механохімічної реакції можна здійснити за допомогою керованого теплообміну з теплоносієм у рубашці в умовах погілковій просторової дисперсії.

Література

1. Бутягин П.Ю. Химическая физика твердого тела. – М.: МГУ. 2006. – 272 с.
2. Гениев Г.А., Эстрин М.И. Динамика пластической и сыпучей сред. – М.: Стройиздат. 1973. – 216 с.
3. Товажнянский Л.Л., Белецкий Э.В., Толчинский Ю.А. Моделирование течений неньютоновских жидкостей в каналах базовой геометрии. – Харьков.: НТУ ХПИ. 2013. – 319 с.
4. Фольмер М. Кинетика образования новой фазы. – М.: Наука. 1986. – 208 с.
5. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. – Новосибирск.: Наука. Сиб. 1997. – 306 с.
6. Боуден Ф.П., Тейбур Д.Т. Трение и смазка твердых тел. – М.: Машиностроение. 1968. – 544 с.
7. Галахов М.А., Гусятников П.Б., Новиков А.П. Математические модели контактной гидродинамики. – М.: Наука. 1985. – 294 с.
8. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ. – М. Машиностроение. – 1977. – 526 с.
9. Цесек Л.С. Механика и микрофизика истирания поверхностей. – М.: Машиностроение. 1979. – 264 с.
10. Лурье А.И. Теория упругости. – М.: Наука. ГРФМЛ. 1970. – 940 с.
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. – М.: Наука. ГРФМЛ. 1965. – 203 с.
12. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. – М.: Наука. ГРФМЛ. 1969. – 368 с.

Bibliography (translated)

1. Bytyagin P.Y. Solid state chemical physics M.: MNU. 2006. – 272 p.
2. Heniev G.A., Estrin M.I. Dynamics of plastic and bulk condition. – M.: Stroyizdat. 1973. – 216 p.
3. Tovazhnyansky L.L., Beletsky E.V., Tolchinsky Y.A. Modeling non-Newtonian fluid flows in channels of basic geometry. – Kharkiv.: NTU KhPI. 2013. – 319 p.
4. Volmer M. Kinetics of the formation of a new phase. – M.: Science. 1986. – 208 p.
5. Avvakumov E.G. Mechanical methods of activation of chemical processes. – Novosibirsk.: Science. Sib. 1997. – 306 p.
6. Bowden F.P., Teibur D.T. Friction and lubrication of solids. – M.: Mechanical engineering. 1968. – 544 p.

7. Galakhov M.A., Gussyatnikov P.B., Novikov A.P. Mathematical models of contact fluid dynamics. – M.: Science. 1985. – 294 p.
8. Kragelsky I.V. Fundamentals of friction and wear calculations. – M. Mechanical engineering. – 1977. – 526 p.
9. Tsesek L.S. Mechanics and microphysics of surface abrasion. – M.: Mechanical engineering. 1979. – 264 p.
10. Lurie A.I. Elasticity theory. – M.: Science. GRFML. 1970. – 940 p.
11. Landau L.D., Lifshits E.M. Elasticity theory. – M.: Science. GRFML. 1965. – 203 p.
12. Kachanov L.M. Fundamentals of the theory of plasticity. – M.: Science. GRFML. 1969. – 368 p.

УДК 66.0

Толчинський Ю.А., к.т.н., доцент, Ведь В.Є., д.т.н., професор, Рофе-Бекетова І.І.

ТЕПЛОВЕ УПРАВЛІННЯ МЕХАНОХІМІЧНОЮ РЕАКЦІЄЮ

Механохімія вивчає та пояснює процеси хімічних та фізико-хімічних перетворень, які породжуються механічним впливом на речовину. При здійсненні глибоких механохімічних перетворень, як правило, необхідно передати твердим реагентам порцію енергії, порівняну до енергії міжатомних зв'язків. Для цього використовуються різноманітні машини та апарати, такі як екструдери, в яких механічна енергія постійно передається подрібненому матеріалу.

У статті розглянута взаємодія двох реагентів у найпростішій хімічній реакції у стані суміші часток двох сортів, що відбувається при стисненні часток, що мають широкувату неправильну форму та стикаються одна з одною, утворюючи області контакту. У цих областях виникають значні концентрації напружень та нагрів речовини з утворенням нової фази.

Теплове управління механохімічною реакцією полягає у підтримці оптимального балансу дисипативного тепла та тепла від теплоносія у черв'ячному реакторі для того, щоб швидкість протікання та кінцевий продукт реакції задовольняли поставленим технічним умовам. Надані у статті формули для розрахунку коефіцієнту швидкості механохімічної реакції, теплообміну між черв'ячним реактором та каналом рубашки, теплообміну між рубашкою та оточуючим середовищем дозволяють розрахувати умови балансу для теплового управління.

Блок-схема технологічної лінії, що представлена у статті, є економічно вигіднішою у зрівнянні з проведенням цієї ж реакції у розчиннику. Економічна вигода полягає в елімінуванні стадій введення та видалення розчинника з продукту реакції.

На завершення зазначено, що механохімічна реакція перетворення суміші двох дисперсних матеріалів, що складається з твердих часток, у рідину може бути реалізована у неперервних умовах у потоковому режимі у черв'ячній машині. А теплове керу-

вання ходом механохімічної реакції можна здійснити за допомогою керованого теплообміну з теплоносієм у рубашці в умовах погілковій просторової дисперсії.

Ключові слова: механохімія, гідродинамічна модель руху, теплове управління, механохімічна реакція, черв'ячний реактор, коефіцієнт швидкості реакції.

Толчинский Ю.А., к.т.н., доцент, Ведь В.Е., д.т.н., профессор, Рофе-Бекетова И.И.

ТЕПЛОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИЕЙ

Механохимия изучает и объясняет процессы химических и физико-химических превращений, которые порождаются механическим воздействием на вещество. При осуществлении глубоких механохимических преобразований, как правило, необходимо передать твердым реагентам порцию энергии, сопоставимую с энергией межатомных связей. Для этого используются различные машины и аппараты, такие как экструдеры, в которых механическая энергия постоянно передается измельченному материалу.

В статье рассмотрено взаимодействие двух реагентов в простой химической реакции в состоянии смеси частиц двух сортов, которое происходит при сжатии частиц, имеющих шероховатую неправильную форму и сталкивающихся друг с другом, образуя области контакта. В этих областях возникают значительные концентрации напряжений и нагрев вещества с образованием новой фазы.

Тепловое управления механохимической реакцией заключается в поддержании оптимального баланса диссипативного тепла и тепла от теплоносителя в червячном реакторе для того, чтобы скорость протекания и конечный продукт реакции удовлетворяли поставленным техническим условиям. Предоставленные в статье формулы для расчета коэффициента скорости механохимической реакции, теплообмена между червячным реактором и каналом рубашки, теплообмена между рубашкой и окружающей средой позволяют рассчитать условия баланса теплового управления.

Блок-схема технологической линии, которая представлена в статье, является более экономически выгодной в сравнении с проведением этой же реакции в растворителе. Экономическая выгода заключается в элиминировании стадий введения и удаления растворителя из продукта реакции.

В завершении указано, что механохимическая реакция превращения смеси двух дисперсных материалов, состоящих из твердых частиц, в жидкость может быть реализована в непрерывных условиях в потоковом режиме в червячной машине. А тепловое управления ходом механохимической реакции можно осуществить с помощью управляемого теплообмена с теплоносителем в рубашке в условиях повитковой пространственной дисперсии.

Ключевые слова: механохимия, гидродинамическая модель движения, тепловое управление, механохимическая реакция, червячный реактор, коэффициент скорости реакции.

Tolchinsky Y.A., Ph.D., Associate professor, Ved V.E., D.T.S., Professor, Rofe-Beketova I.I.

THERMAL CONTROL OF MECHANOCHEMICAL REACTION

Mechanochemistry studies and explains the processes of chemical and physicochemical transformations that are generated by mechanical action on a substance. When carrying out deep mechanochemical transformations, as a rule, it is necessary to transfer to solid reagents a portion of energy comparable to the energy of interatomic bonds. For this, various machines and apparatus are used, such as extruders, in which mechanical energy is constantly transferred to the crushed material.

The article discusses the interaction of two reagents in a simple chemical reaction in the state of a mixture of particles of two types, which occurs during compression of particles having a rough irregular shape, and colliding with each other, forming areas of contact. Significant stress concentrations and heating of the substance with the formation of a new phase arise in these regions.

Thermal control of the mechanochemical reaction is to maintain an optimal balance of dissipative heat and heat from the coolant in the worm reactor so that the rate of flow and the final product of the reaction meet the specified specifications. The formulas provided in the article for calculating the coefficient of the rate of mechanochemical reaction, heat transfer between worm reactor and jacket channel, heat exchange between jacket and environment allows to calculate the balance conditions for thermal management.

The block diagram of the technological line, which is presented in the article, is more economical in comparison with carrying out the same reaction in a solvent. The economic benefit lies in the elimination of the steps of introducing and removing the solvent from the reaction product.

At the end, it is indicated that the mechanochemical reaction of the transformation of a mixture of two dispersed materials consisting of solid particles into a liquid can be realized in continuous conditions in a flow mode in a worm machine. And thermal control of the course of a mechanochemical reaction can be carried out using controlled heat exchange with a coolant in a jacket under conditions of turn-around spatial dispersion.

Keywords: mechanochemistry, hydrodynamic model of movement, thermal control, mechanochemical reaction, worm reactor, speed ratio.

Саєнко Н.В.¹, канд. техн. наук, доцент, Биков Р.О.¹, канд. техн. наук, доцент,
Скрипинець А.В.¹, канд. техн. наук, Демідов Д.В.², викладач, Карєв А.І., м.н.с.,
Саєнко Л.В.¹, канд. техн. наук, доцент,

СПРЯМОВАНЕ РЕГУЛЮВАННЯ СТРУКТУРНО-РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ АКРИЛОВИХ ВОДНИХ ДИСПЕРСІЙ ЗА РАХУНОК СУМІСНОГО ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОФІЛЬНО-ГІДРОФОБНИХ СИЛКАТНИХ НАПОВНЮВАЧІВ

¹Харківський національний університет будівництва та архітектури

²Харківський державний автотранспортний коледж

Ключові слова: структурно-реологічні властивості, математичні моделі, рівняння регресії, алюмосилікатні мікросфери, гідрофобізований аеросил

Вступ. Використання водних дисперсій полімерів дозволяє виключити використання токсичних та пожежонебезпечних розчинників, які забруднюють навколишнє середовище. Технологія формування і експлуатаційні характеристики таких покриттів в значній мірі визначаються властивостями вихідних плівкоутворюючих матеріалів, які повинні відповідати наступним вимогам: забезпечення рівномірного тонкошарового розподілу на підкладці і утворення покриттів з необхідним комплексом властивостей. Серед них в силу своїх функціональних властивостей і відносно невисокою вартістю найбільшого поширення набули водно-дисперсійні полімерні матеріали на основі акрилових зв'язуючих [1–5].

Шляхом раціонального поєднання діючих компонентів: зв'язуючого на основі водної дисперсії акрилового сополімеру, пігментів, загусників, цільових добавок і мінеральних наповнювачів можна отримати покриття із заданим комплексом властивостей. Такі матеріали вирішують завдання не тільки декоративного оздоблення будівель і споруд, а й захисту споруди від дії вологи, сонячного світла, механічних або хімічних пошкоджень. Полімерні композиційні покриття, що використовують у своєму складі порожнисті мікросфери з гідрофільним характером поверхні, погано зберігають однорідність підготовленого до нанесення складу при тривалому зберіганні і транспортуванні (кінетична стійкість), оскільки порожнисті мікросфери витісняються на поверхню, що призводить до ускладнення технології нанесення покриттів на поверхню. Крім того, зазначені мікросфери, при перемішуванні у складі композиційного матеріалу, часто руйнуються, утворюючи в композиції нефункціональний осад, що призводить до погіршення теплозахисних властивостей отриманого покриття [6–10].

Тому, для усунення зазначених недоліків в композицію вводять поверхнево-активні речовини, наповнювачі, інші допоміжні цільові добавки, а також обробляють поверхню мікросфер гідрофільним покриттям. На жаль, така обробка поверхні призводить до зниження стійкості до статичного впливу води водно-дисперсійних полімерних покриттів та призводить до додаткових енергетичних витрат.

Мета статті – встановлення закономірностей сумісного впливу силікатних наповнювачів з гідрофільним та гідрофобним характером поверхні на структурно-реологічні характеристики досліджуваних теплоізоляційних акрилових водних дисперсій (ВД-СА). Це дозволить оптимізувати технологічний цикл приготування та підвищити кінетичну стійкість теплоізоляційних ВД-СА без додаткових технологічних стадій обробки порожнистих алюмосилікатних мікросфер, введення поверхнево-активних речовин і стабілізаторів.

Обговорення результатів. Для опису цих залежностей доцільно використовувати рівняння другого ступеня. Відповідно до математичної теорії експерименту передбачити поведінку функції відгуку дає можливість ортогональний центральний композиційний план другого порядку. Проведення експерименту у відповідності до цього плану дозволяє встановити аналітичну залежність функції відгуку (y) від відповідних факторів у вигляді поліноміального рівняння другого ступеня [11–13].

Планування, проведення й оброблення результатів ортогонального композиційного плану експерименту складається з таких обов'язкових етапів: кодування факторів; складання план-матриці експерименту; реалізація плану експерименту; перевірка адекватності поліноміальної моделі (регресійний аналіз), що дає змогу оцінити дисперсію коефіцієнтів і помилок спостереження; розрахунок довірчого інтервалу справжнього значення коефіцієнтів; побудова квадратичних моделей, які адекватно описують вплив концентрацій наповнювачів алюмосилікатних мікросфер (МС) та гідрофобізованого аеросилу на умовно статичну межу плинності, в'язкість, енергію активації в'язкої течії, кут змочування до різних поверхонь, кут змочування водою, адгезійну міцність та коефіцієнт дифузії ВД-СА.

На підставі даних попереднього експерименту [14–17] обрано прийнятні номінальні значення чинників та інтервали їхнього варіювання (табл. 1).

Таблиця 1 – Значення факторів та інтервали їхнього варіювання

Фактори	Рівні варіювання		
Кодовані значення	-1	0	1
Концентрація МС (x_1), мас.%	20	30	40
Концентрація аеросилу (x_2), мас.%	0,5	1,0	1,5

Основними функціями відгуку були умовно статична межа плинності (τ_s), в'язкість за мінімальної швидкості початку руйнування (початкова ефективна в'язкість) (η_0), в'язкість «зруйнованої» структури за ньютонівського характеру течії (η_{min}), енергія активації в'язкої течії (Ea) за мінімальної ($0,1667 \text{ c}^{-1}$), середньої ($13,5 \text{ c}^{-1}$) і максимальної швидкостей зсуву ($72,9 \text{ c}^{-1}$). Матриця планування і результати експериментів представлені в таблиці 2. Розрахунок коефіцієнтів регресії здійснювали за формулою:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} y_u}{x_{iu}^2}, \quad (1)$$

де i – номер стовпчику в матриці планування; x_{iu} – елементи i -того стовпчику.

Таблиця 2 – Матриця планування та результати експерименту під час вивчення залежності функцій відгуку від концентрації МС (2010 мас.%) і аеросилу (1,00,5 мас.%) в процесі реалізації ортогонального центрального композиційного плану другого порядку

Кодовані значення			τ_s	η_0	η_{min}	Ea залежно від швидкості зсуву, c^{-1}		
						0,1667	13,5	72,9
x_1	x_2	$x_1 x_2$						
1	1	1	59,9	269,3	19,9	32,41	9,97	8,31
1	-1	-1	80,8	359,1	24,4	25,35	9,57	6,65
-1	1	-1	26,9	143,6	9,5	32,78	12,47	10,80
-1	-1	1	53,9	233,4	12,6	29,00	12,05	11,22
0	0	0	53,0	227,9	16,9	34,99	13,50	8,00
1	0	0	71,8	323,9	22,8	26,00	9,14	7,06
-1	0	0	38,9	197,5	11,3	30,00	12,17	9,56
0	1	0	39,5	179,9	15,9	41,55	12,88	7,06
0	-1	0	60,0	269,9	18,1	35,19	12,85	8,73

Користуючись формулою (1) і даними експерименту (табл. 2) визначили значення коефіцієнтів регресії, які наведені в табл. 3. Отримані рівняння регресії мають вигляд:

Таблиця 3 – Значення коефіцієнтів регресії

Коефіцієнти регресії	Значення коефіцієнтів регресії					
b_0	53,86	244,95	16,83	31,92	11,64	8,59
b_1	15,47	62,97	5,62	-1,34	-1,34	-1,59
b_2	-11,40	-44,93	-1,63	2,87	0,14	-0,072
b_{11}	4,53	28,57	-0,22	-7,99	-2,19	1,003
b_{22}	-1,067	-7,53	-0,27	2,38	0,032	0,588
b_{12}	1,53	—	-0,35	0,82	-0,0025	0,52

Дисперсія вважається однорідною, якщо виконується нерівність $F_{розр.} < F_{табл.}$. Дані розрахунків зведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Перевірка однорідності дисперсій

Значення розрахункових величин за критерієм Кохрена	Розрахункові значення	
	$F_{розр.}$	$F_{табл.}$
	0,28	0,39
	0,26	0,39
	0,23	0,39
	0,22	0,39
	0,34	0,39
	0,36	0,39

Умову $F_{розр.} < F_{табл.}$ виконано, отже дисперсії однорідні.

Результати статистичного аналізу отриманих рівнянь регресії зведено в табл. 5.

Таблиця 5 – Статистичний аналіз рівнянь регресії

Розрахункові величини	Значення розрахункових величин					
	34,00	101,00	12,10	53,8	0,408	6,73
	5,41	3,36	3,22	9,30	0,59	0,79
	405,0	585,0	81,3	622,4	21,4	4,35
	2,88	0,81	3,71	6,29	2,4	2,9
$f_{ад}$	3	3	3	3	3	3
$F_{(0,05;3;9)}$	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4

Із даних табл. 5 стає очевидним те, що всі рівняння регресії адекватні експериментальним даним за рівня значущості 0,05. Аналіз (табл. 5) засвідчив, що деякі коефіцієнти регресії незначущі, накриваються довірчими інтервалами і, отже, дорівнюють нулю.

Загалом отримані квадратичні моделі становлять гіперплощину в $(K + 1)$ -мірному факторному просторі. За рівняннями регресії побудовано поверхні відгуку, які дають можливість візуально сприйняти відповідний геометричний образ (рис. 1). У всіх випадках гіперплощина проходить крізь точку $y=b_0$. Коефіцієнти регресії за лінійних членів (x_1 , x_2) характеризують нахил цієї площини, а коефіцієнти регресії за x_1^2 , x_2^2 – кривизну цієї площини до відповідних осей. Наявність позитивної взаємодії двох факторів (x_1 , x_2) у всіх отриманих рівняннях регресії означає посилення позитивного ефекту одного з факторів взаємодії під час переходу другого фактора з нижнього на верхній рівень, незалежно від знака і величини коефіцієнта регресії другого фактора.

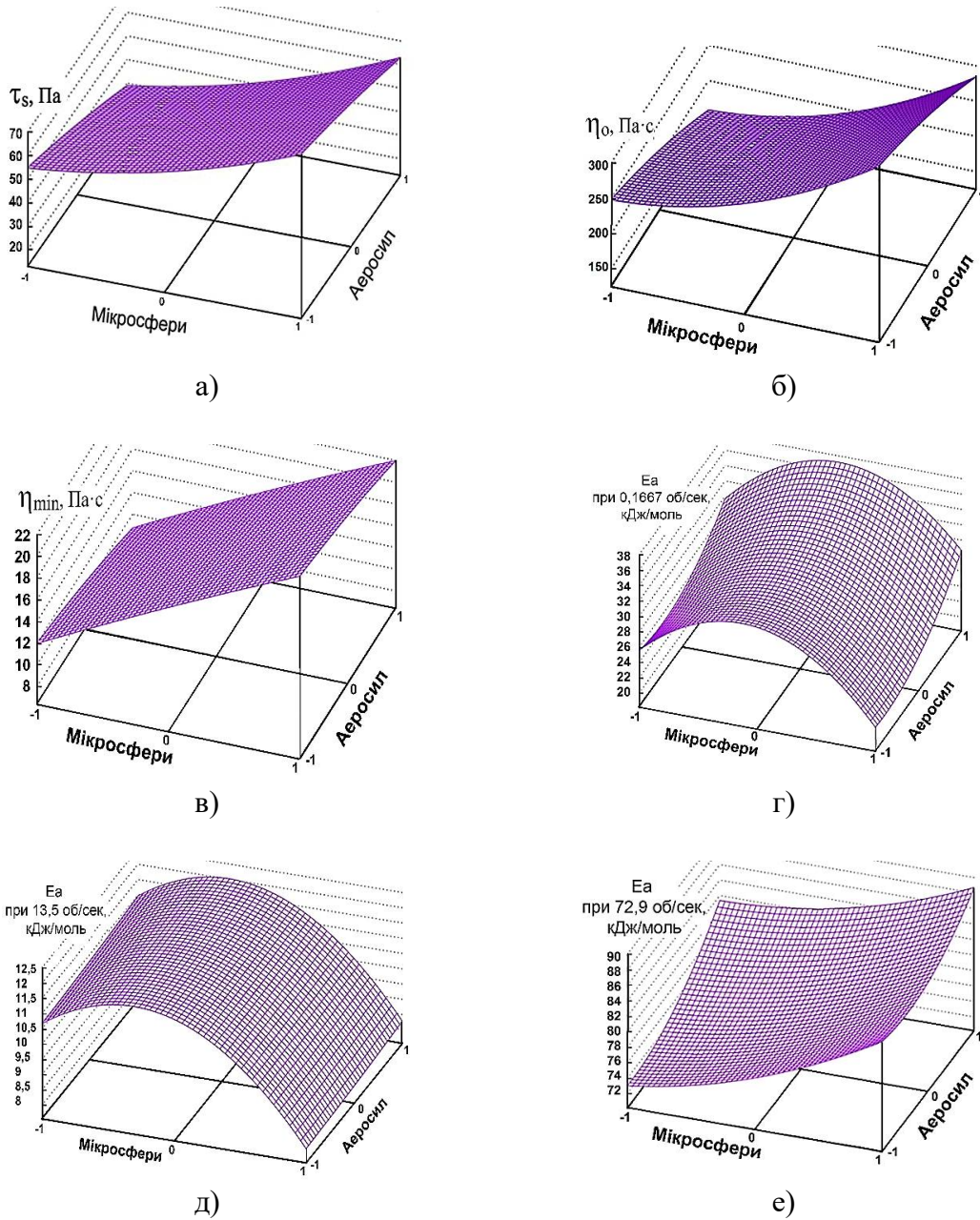


Рисунок 1 – Поверхні відгуку залежності величини межі плинності (τ_s) (а), початкової ефективної в'язкості (η_0) (б), в'язкості «зруйнованої» структури (η_{min}) (в), енергії активації в'язкої течії (Ea) за мінімальної (г), середньої (д) і максимальної (е) від вмісту силікатних наповнювачів

Висновки. На основі встановлених структурно-реологічних залежностей були обрані раціональні співвідношення гідрофобізованого аеросилу та алюмосилікатних мікросфер, які дозволяють зменшити напруги зсуву для утворення однорідної водної акрилової дисперсії, проаналізувати енергії активації на різних технологічних етапах їх приготування та нанесення, та спрогнозувати їх вплив на в'язкісні характеристики водних дисперсій в широкому інтервалі напруг зсуву.

Встановлені результати дозволили створити гідрофільну-гідрофобну водну акрилову дисперсію, яка без використання поверхнево-активних речовин дозволяє спрос-

тити технологію виробництва теплоізоляційних водно-дисперсійних покриттів, а саме виключити стадію попередньої обробки наповнювачів, зменшити швидкість обертів рамкового змішувача, а також підвищити кінетичну стійкість готової дисперсії.

Література

1. Казакова Е.Е., Скороходова О.Н. Водно-дисперсионные акриловые лакокрасочные материалы строительного назначения. М.: ООО «Пэйнт-Медиа», 2003. – 136 с.
2. Kriska G. Why do red and dark-coloured cars lure aquatic insects? The attraction of water insects to car paintwork explained by reflection-polarization signals. *Proceedings of the Royal Society of London B, Biological Sciences*. 2006. Vol. 273. P. 1667–1671.
3. Кузнецова О.П., Светлаков А.П., Степин С.Н., Вахин А.В., Алантьева Е.В. Противокоррозионная грунтовка на основе водной дисперсии акрилового сополимера. *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2005. №7. С. 8–10.
4. Степин С.Н., Николаева Т.В., Гришин П.В. Применение водно-дисперсионных материалов на основе акриловых сополимеров для антикоррозионной защиты металлов. *Вестник Казанского технологического университета*. 2014 Т. 17. №. 16. С. 219–220.
5. Толмачев И.А., Верхоланцев В.В. Новые водно-дисперсионные краски. Л.: Химия, 1979. 200 с.
6. Логанина В.И., Фролов М.В., Рябов М.А Теплоизоляционные известковые сухие строительные смеси для отделки стен из газобетона. *Вестник МГСУ*. М., 2016. №. 5. С. 82–92.
7. Вахитова Л.Н., Завертатный А.А. Жидкокерамические теплоизоляционные покрытия – новое слово в энергосбережении. F+ S: технологи безопасности и противопожарной защиты. 2010. №. 3. С. 64–66.
8. Демідов Д.В., Саєнко Л.В., Буцька Л.М. Вдосконалення технології виробництва теплоізоляційного водно-дисперсійного полімерного. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури: зб. наук. праць*. 2019. Вип. 76. С. 85–93.
9. Гарипов Р.М., Жданов Н.Н., Фатхутдинов Р.Х., Уваев В.В., Маслов В.А. Энергосберегающее покрытие на основе акриловых дисперсий и полых стеклянных микросфер. *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 17. №. 6. С. 45–47.
10. Патент України на винахід № 122837, МПК C09D 4/02, C09D 5/00 C09D 5/02 Водно-дисперсійна теплоізоляційна композиція / Саєнко Н.В., Попов Ю.В., Демідов Д.В., Биков Р.О., Скрипинець А.В.; заявник та патентовласник: Харківський національний університет будівництва та архітектури № а 2019 02367. Заявл. 11.03.2019, опубл. 06.01.2021, Бюл. № 1.
11. Бондарь А.Г., Статюха Г.А., Потяженко И.А. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии (алгоритмы и примеры): учеб. Пособие. К.: Вища школа, 1980. 264 с.
12. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика, 1981. 263 с.
13. Демідов Д.В., Саєнко Н.В., Биков Р.О., Саєнко Л.В., Ільєнко К.О. Спрямоване регулювання горючості та вогнезахисних характеристик лакофарбових покриттів.

Інтегровані технології та енергозбереження. Харків: НТУ «ХПІ». 2019. Вип. 1. С. 52–60.

14. Saienko N.V., Demidov D.V., Bikov R.A., Younis B. N. Effect of mineral fillers on the wetting of water-based polymer dispersions. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2019. № 708. 012103 p.

15. Демідов Д.В., Саєнко Н.В., Попов Ю.В., Биков Р.О., Уманська Т.І. Реологічні та енергетичні характеристики високонаповнених акрил-стирольних водних дисперсій. Науковий вісник будівництва: зб. наук. праць. Харків: ХНУБА 2018. Т 94(4). С. 171–177.

16. Саєнко Н.В., Демідов Д.В., Попов Ю.В., Биков Р.О. Будівельно-фізичні властивості теплоізоляційних водно-дисперсійних лакофарбових покриттів. Збірник наукових праць: Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. К.: КНУБА, 2019. Вип. 39. Ч. 1. С. 127–132.

17. Саєнко Н.В., Биков Р.О., Попов Ю.В., Демідов Д.В. Оцінка можливості застосування теплоізоляційних водно-дисперсійних покриттів в якості декоративно-захисної обробки фасадів будівель. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури: зб. наук. праць. 2020. Вип. 79. С. 126–135.

Bibliography (transliterated)

1. Kazakova E.E., Skorohodova O.N. Vodno-dispersionnye akrilovye lakokrasochnye materialy stroitel'nogo naznacheniya. M.: ООО «Pejnt-Media», 2003. – 136 p.

2. Kriska G. Why do red and dark-coloured cars lure aquatic insects? The attraction of water insects to car paintwork explained by reflection-polarization signals. Proceedings of the Royal Society of London B, Biological Sciences. 2006. Vol. 273. P. 1667–1671.

3. Kuznecova O.P., Svetlakov A.P., Stepin S.N., Vahin A.V., Alant'eva E.V. Protivokorroziyonnaya gruntovka na osnove vodnoj dispersii akrilovogo sopolimera. Lakokrasochnye materialy i ih primeneniye. 2005. №7. P. 8–10.

4. Stepin S.N., Nikolaeva T.V., Grishin P.V. Primeneniye vodno-dispersionnykh materialov na osnove akrilovykh sopolimerov dlya antikorroziynoy zashchity metallov. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014 T. 17. №. 16. P. 219–220.

5. Tolmachev I.A., Verholancev V.V. Novye vodno-dispersionnye kraski. L.: Himiya, 1979. 200 p.

6. Loganina V.I., Frolov M.V., Ryabov M.A. Teploizolyatsionnye izvestkovye suhie stroitel'nye smesi dlya otdelki sten iz gazobetona. Vestnik MGSU. M., 2016. №. 5. P.82–92.

7. Vahitova L.N., Zavertatnyj A.A. ZHidkokeramicheskie teploizolyatsionnye pokrytiya – novoe slovo v energosberezhenii. F+ S: tekhnologi bezopasnosti i protivopozharnoj zashchity. 2010. №. 3. P. 64–66.

8. Demidov D.V., Saenko L.V., Buc'ka L.M. Vdoskonalennyya tekhnologii virobnictva teploizolyatsijnogo vodno-dispersijnogo polimernogo. Visnik Odes'koï derzhavnoï akademii budivnictva ta arhitekturi: zb. nauk. prac'. 2019. Vip. 76. P. 85–93.

9. Garipov R.M., ZHDanov N.N., Fathutdinov R.H., Uvaev V.V., Maslov V.A. Energosberegayushchee pokrytie na osnove akrilovykh dispersij i polykh steklyannykh mikrosfer. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. T. 17. №. 6. P. 45–47.

10. Patent Ukraïni na vinahid № 122837, MPK S09D 4/02, S09D 5/00 S09D 5/02 Vodno-dispersijna teploizolyacijna kompoziciya / Saenko N.V., Popov YU.V., Demidov D.V., Bikov R.O., Skripinec' A.V.; zayavnik ta patentovlasnik: Harkivs'kij nacional'nij universitet budivnictva ta arhitekturi № a 2019 02367. Zayavl. 11.03.2019, opubl. 06.01.2021, Byul. № 1.

11. Bondar' A.G., Statyuha G.A., Potyazhenko I.A. Planirovanie eksperimenta pri optimizacii processov himicheskoy tekhnologii (algoritmy i primery): ucheb. Posobie. K.: Vishcha shkola, 1980. 264 p.

12. Voznesenskij V. A. Statisticheskie metody planirovaniya eksperimenta v tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniyah. M.: Finansy i statistika, 1981. 263 p.

13. Demidov D.V., Saenko N.V., Bikov R.O., Saenko L.V., Il'enko K.O. Spryamovane reguluvannya goryuchosti ta vognesahisnih harakteristik lakofarbovih pokrirtiv. Integrovani tekhnologii ta energozberezhennya. Harkiv: NTU «HPI». 2019. Vip. 1. P. 52–60.

14. Saenko N.V., Demidov D.V., Bikov R.A., Younis B.N. Effect of mineral fillers on the wetting of water-based polymer dispersions. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2019. № 708. 012103 p.

15. Demidov D.V., Saenko N.V., Popov Yu.V., Bikov R.O., Umans'ka T.I. Reologichni ta energetichni harakteristiki visokonapovnenih akril-stirol'nih vodnih dispersij. Naukovij visnik budivnictva: zb. nauk. prac'. Harkiv: HNUBA 2018. T 94(4). P. 171–177.

16. Saenko N.V., Demidov D.V., Popov Yu.V., Bikov R.O. Budivel'no-fizichni vlastivosti teploizolyacijnih vodno-dispersijnih lakofarbovih pokrirtiv. Zbirnik naukovih prac': SHlyahi pidvishchennya efektyvnosti budivnictva v umovah formuvannya rinkovih vidnosin. K.: KNUBA, 2019. Vip. 39. CH. 1. P. 127–132.

17. Saenko N. V., Bikov R. O., Popov YU. V., Demidov D.V. Ocinka mozhlivosti zastosuvannya teploizolyacijnih vodno-dispersijnih pokrirtiv v yakosti dekorativno-zahisnoï obrobki fasadiv budivel'. Visnik Odes'koï derzhavnoï akademii budivnictva ta arhitekturi: zb. nauk. prac'. 2020. Vip. 79. P. 126–135.

УДК 667.6

Саєнко Н.В.¹, канд. техн. наук, доцент, Биков Р.О.¹, канд. техн. наук, доцент,
Скрипинець А.В.¹, канд. техн. наук, Демидов Д.В.², викладач, Карєв А.І., м.н.с.,
Саєнко Л.В.¹, канд. техн. наук, доцент

СПРЯМОВАНЕ РЕГУЛЮВАННЯ СТРУКТУРНО-РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ АКРИЛОВИХ ВОДНИХ ДИСПЕРСІЙ ЗА РАХУНОК СУМІСНОГО ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОФІЛЬНО-ГІДРОФОБНИХ СИЛІКАТНИХ НАПОВНЮВАЧІВ

Технологія формування і експлуатаційні характеристики покриттів на основі водних дисперсій полімерів в значній мірі визначаються властивостями вихідних плівкоутворюючих матеріалів, які повинні забезпечувати рівномірне тонкошарове розподіл на поверхні підкладки і утворення покриттів з необхідним технологічним комплексом властивостей. Серед них в силу своїх функціональних властивостей і відносно невисо-

кою вартістю найбільшого поширення набули водно-дисперсійні полімерні покриття на основі акрилових плівкоутворювачів. У даній роботі розглянуті математичні моделі структурно-реологічних залежностей теплоізоляційних акрилових водних дисперсій в залежності від спільного використання гідрофільно-гідрофобних наповнювачів. Для опису цих залежностей доцільно використовувати рівняння другого ступеня. Відповідно до математичної теорії експерименту передбачити поведінку функції відгуку дає можливість ортогональний центральний композиційний план другого порядку. Проведення експерименту у відповідності до цього плану дозволяє встановити аналітичну залежність функції відгуку від відповідних факторів у вигляді поліноміального рівняння другого ступеня. Основними функціями відгуку були: умовно статична межа плинності, в'язкість за мінімальної швидкості початку руйнування (початкова ефективна в'язкість), в'язкість «зруйнованої» структури за ньютонівського характеру течії, енергія активації в'язкої течії за мінімальної, середньої і максимальної швидкостей зсуву. На основі встановлених залежностей були обрані оптимальні співвідношення гідрофобізованого аеросилу і алюмосилікатних мікросфер, спільне застосування яких дозволяє зменшити напруження зсуву для створення однорідної водної акрилової дисперсії, спрогнозувати енергію активації на різних технологічних етапах приготування і нанесення теплоізоляційних покриттів. Встановлені результати дозволили створити гідрофільно-гідрофобну водну акрилову дисперсію, яка без застосування поверхнево-активних речовин дозволяє спростити технологію виробництва теплоізоляційних водно-дисперсійних покриттів, а саме виключити стадію попередньої обробки наповнювачів, зменшити швидкість обертання рамкової змішувача, а також підвищити кінетичну стійкість готової дисперсії.

Ключові слова: структурно-реологічні властивості, математичні моделі, рівняння регресії, алюмосилікатні мікросфери, гідрофобізований аеросил.

УДК 667.6

Саенко Н.В., канд. техн. наук, доцент, Быков Р.А., канд. техн. наук, доцент,
Скрипинец А.В., канд. техн. наук, Демидов Д.В., преподаватель, Карев А.И., м.н.с.,
Саенко Л.В., канд. техн. наук, доцент

НАПРАВЛЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ АКРИЛОВЫХ ВОДНЫХ ДИСПЕРСИЙ ПРИ ПОМОЩИ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОФИЛЬНО-ГИДРОФОБНЫХ СИЛИКАТНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Технология формирования и эксплуатационные характеристики покрытий на основе водных дисперсий в значительной степени определяются свойствами исходных пленкообразующих материалов, которые должны обеспечивать равномерное тонкослойное распределение на поверхности подложки и образования покрытий с необходимым технологическим комплексом свойств. Среди них в силу своих функциональных свойств и относительно невысокой стоимостью наибольшее распространение получили

водно-дисперсионные полимерные покрытия на основе акриловых пленкообразователей. В данной работе рассмотрены математические модели структурно-реологических зависимостей теплоизоляционных акриловых водных дисперсий в зависимости от совместного содержания гидрофильно-гидрофобных наполнителей. Для описания этих зависимостей целесообразно использовать уравнения второй степени. Согласно математической теории эксперимента предсказать поведение функции отклика дает возможность ортогональный центральный композиционный план второго порядка. Проведение эксперимента в соответствии с этим планом позволяет установить аналитическую зависимость функции отклика от соответствующих факторов в виде полиномиального уравнения второй степени. Основными функциями отклика были: условно статический предел текучести, вязкость при минимальной скорости начала разрушения (начальная эффективная вязкость), вязкость «разрушенной» структуры по ньютоновскому характеру течения, энергия активации вязкого течения при минимальной, средней и максимальной скорости сдвига. На основе установленных зависимостей были выбраны оптимальные соотношения гидрофобизированного аэросила и алюмосиликатных микросфер, совместное применение которых позволяет уменьшить напряжения сдвига для создания однородной водной акриловой дисперсии, спрогнозировать энергию активации на различных технологических этапах приготовления и нанесения теплоизоляционных покрытий. Установленные результаты позволили создать гидрофильно-гидрофобную водную акриловую дисперсию, которая без применения поверхностно-активных веществ позволяет упростить технологию производства теплоизоляционных водно-дисперсионных покрытий, а именно исключить стадию предварительной обработки наполнителей, уменьшить скорость вращения рамочного смесителя, а также повысить кинетическую устойчивость готовой дисперсии.

Ключевые слова: структурно-реологические, математические модели, уравнения регрессии, алюмосиликатные микросферы, гидрофобизированный аэросил.

Saienko N., Bikov R., Skripinets A., Demidov D., Kariev A., Saienko L.

DIRECTED REGULATION OF THE STRUCTURAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF HEAT-INSULATING ACRYLIC AQUEOUS DISPERSIONS USING THE COMBINED USE OF HYDROPHILIC AND HYDROPHOBIC SILICATE FILLERS

The formation technology and performance characteristics of coatings based on aqueous dispersions are largely determined by the properties of the initial film-forming materials, which should ensure uniform thin-layer distribution on the substrate surface and the formation of coatings with the required technological complex of properties. Among them, due to their functional properties and relatively low cost, the most widespread are water-dispersion polymer coatings based on acrylic film-formers. In this paper, mathematical models of the structural and rheological dependences of heat-insulating acrylic aqueous dispersions are considered depending on the combined content of hydrophilic-hydrophobic fillers. To describe these dependencies, it is advisable to use equations of the second degree.

According to the mathematical theory of experiment, the second-order orthogonal central compositional design makes it possible to predict the behavior of the response function. Carrying out an experiment in accordance with this plan makes it possible to establish the analytical dependence of the response function on the corresponding factors in the form of a polynomial equation of the second degree. The main response functions were: conditionally static yield stress, viscosity at the minimum rate of onset of fracture (initial effective viscosity), viscosity of the “destroyed” structure according to the Newtonian nature of the flow, activation energy of viscous flow at minimum, average and maximum shear rates. On the basis of the established dependences, the optimal ratios of hydrophobized aerosil and aluminosilicate microspheres were selected, the combined use of which makes it possible to reduce shear stresses to create a homogeneous aqueous acrylic dispersion, to predict the activation energy at various technological stages of preparation and application of heat-insulating coatings. The established results made it possible to create a hydrophilic-hydrophobic aqueous acrylic dispersion, which, without the use of surfactants, makes it possible to simplify the production technology of heat-insulating water-dispersion coatings, namely, to exclude the stage of pretreatment of fillers, to reduce the rotation speed of the frame mixer, and also to increase the kinetic stability of the finished dispersion.

Keywords: structural-rheological, mathematical models, regression equations, aluminosilicate microspheres, hydrophobized aerosil.

Шевченко К.В., Григоров А.Б., к. техн. н., доцент,
Сінкевич І.В., к. техн. н., професор

ВЛАСТИВОСТІ КОТЕЛЬНОГО ПАЛИВА, КОМПАУНДОВАНОГО ВУЗЬКИМИ ПАЛИВНИМИ ФРАКЦІЯМИ

*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут",
Харків, Україна*

Ключові слова: паливо, компаундування, мазут, полімерна сировина, паливні фракції, властивості, поліетилен, поліпропілен.

Вступ. В сучасних умовах розвитку науки і техніки відбувається щорічне стрімке зростання споживання різних видів палив: моторних, технологічних, котельних. Одноразово з цим, до них висуваються все більш жорсткі вимоги відносно їх якості та впливу продуктів їх згоряння на організм людини та навколишнє середовище. Відповідати цим вимогам при виробництві палива можна, з одного боку за рахунок модернізації технологічного процесу (застосування нових передових технологій і матеріалів), з іншого – шляхом компаундування палива з різними компонентами, які здатні спрощувати процедуру його застосування, поліпшувати експлуатаційні властивості та екологічність. Шлях компаундування є найбільш перспективним, особливо для таких країн як Україна, що головним чином, зумовлено відсутністю якісної нафтової сировини та неможливістю тотальної модернізації існуючого виробництва палив.

Аналіз публікацій. На нашу думку, найбільш дешевою сировиною для виробництва компонентів палив, на сьогоднішній день є вторинні матеріали [1], зокрема полімери (поліетилен, поліпропілен та полістирол), які в силу своєї стійкості до біологічного розкладання у природних умовах, підлягають обов'язковій утилізації [2].

Враховуючи потенціал позитивних властивостей вторинних полімерних матеріалів (високу молекулярну масу, відсутність сірки, невисоку температуру плавлення та термічної деструкції, водостійкість та стійкість до хімічних реагентів) [3, 4] і значні запаси, що за останнє десятиріччя накопичились у всьому світі [5–7], їх можна використовувати як сировину або компонент у виробництві різних видів нафтопродуктів.

Сьогодні полімерні відходи пропонується використовувати у виробництві пластичних масил [8, 9], при формуванні в'язучих матеріалів з поліпшеними експлуатаційними властивостями [10, 11] та для отримання моторного палива [12, 13]. Але при цьому, на нашу думку, питання щодо отримання компаундованого палива, яке складається з фракцій отриманих при переробці полімерної сировини та нафтових фракцій (палив) вивчено не достатньо.

Лабораторні дослідження. Для компаундування з товарним котельним паливом, зокрема топковим мазутом марки 100, шляхом термічної деструкції вторинної по-

лімерної сировини, нами було обрано ВПФ з температурними межами википання 300–360 °С, основні показники якості якої, представлено в табл. 1.

ВПФ (300–360 °С) за показники якості, що наведені у табл. 1, окрім температури спалаху ц відкритому тиглі, значно перевищують, вимоги, що висуваються до якості товарного котельного палива, зокрема топкового мазуту марки 100 [14]. Таким чином, згідно з даними, що наведені у табл. 1, ці ВПФ можна застосовувати для отримання компаундованого товарного топкового мазуту з поліпшеними експлуатаційними властивостями.

Отримані ВПФ (300–360 °С) з поліетилену низького тиску (ПЕНТ) та поліпропілену (ПП) є більш прозорими та світлішими рідинами, у порівнянні з товарним топковим мазутом марки 100, а їх компаунди за кольором є близькими до мазуту 100. Таким чином, ВПФ (300–360 °С) як і будь-які інші вуглеводневі фракції не псують і не поліпшують колір компаундованого котельного палива.

Таблиця 1 – Середні значення основних показників якості ВПФ 300–360 °С

№ п/п	Найменування показника	Одиниці виміру	Числові значення для полі- мерної сировини	
			ПЕНТ	ПП
1.	Густина при 20 °С	кг/м ³	806	814
2.	В'язкість умовна при 80 °С	град. ум.	0,84	0,91
3.	Температура спалаху в відкритому тиглі	°С	64	75
4.	Температура застигання	°С	5	-6
5.	Вміст сірки	% мас.	Відсутня	
6.	Масова частка води	%	Відсутня	
7.	Теплота згоряння у перерахунку на сухе паливо	кДж/кг	44854	45388
8.	Масова частка механічних домішок	%	Відсутні	
9.	Вміст водорозчинних кислот та лугів	-	Відсутні	

Результати зміни фізико-хімічних показників якості топкового мазуту марки 100 в залежності від вмісту (w,% мас.) ВПФ (300–360 °С) з ПЕНТ та ПП, представлено на рис. 1–6.

Зі збільшенням вмісту ВПФ у компаундованому котельному паливі від 0 до 30 % мас. відбувається поліпшення значень його показників якості (зниження значень ρ^{20} (до 865 (873) кг/м³), ν^{40} (до 2,50 (2,63) град. ум.), $t_{заст}$ (до 8 (13) °С), x_s (до 0,17 % мас.) та підвищується Q^p (до 43606 (43850) кДж/кг)), за винятком показника $t_{сп}$.

Значення показника $t_{сп}$ зі збільшенням вмісту від 0 до 30 % мас. у мазуті ВПФ (300–360 °С) поступово знижується аж до 114(127) °С, що є негативним моментом, який призводить до підвищення пожежонебезпеки мазуту при його використанні, збе-

ріганні, перекачування і транспортуванні [15]. Але, при цьому, значення показника $t_{сп}$, згідно вимог [14], знаходяться у допустимих межах.

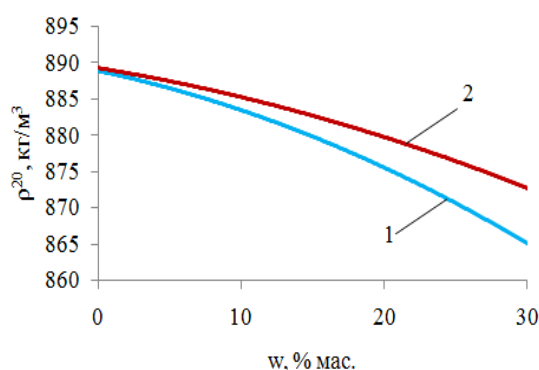


Рисунок 1 – Залежність ρ^{20} від w : 1 - для ВПФ з ПЕНТ; 2 - для ВПФ з ПП

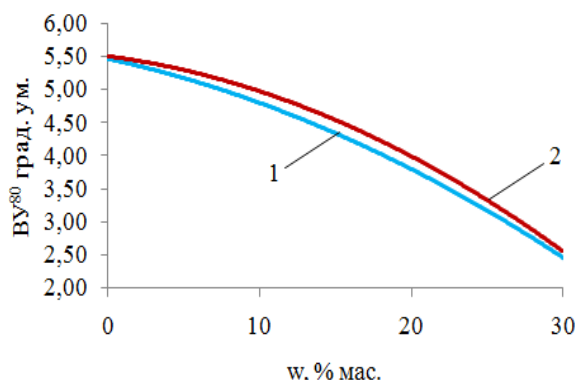


Рисунок 2 – Залежність $ВУ^{80}$ від w : 1 - для ВПФ з ПЕНТ; 2 - для ВПФ з ПП

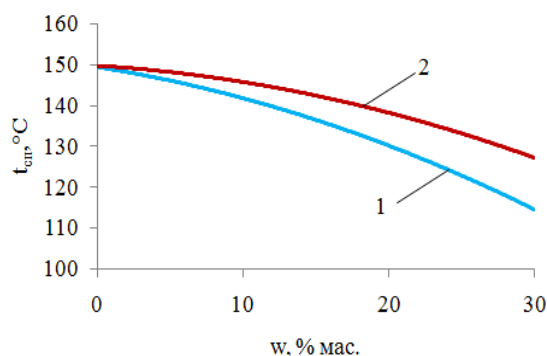


Рисунок 3 – Залежність $t_{сп}$ від w : 1 - для ВПФ з ПЕНТ; 2 - для ВПФ з ПП

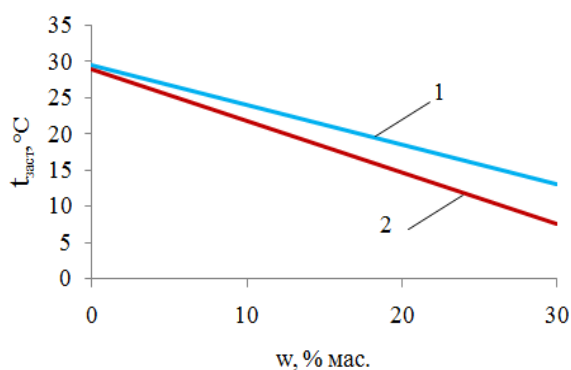


Рисунок 4 – Залежність $t_{заст}$ від w : 1 - для ВПФ з ПЕНТ; 2 - для ВПФ з ПП

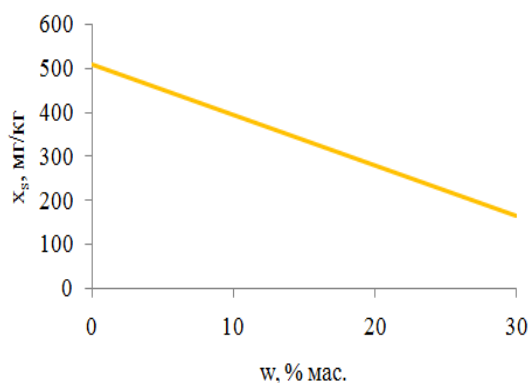


Рисунок 5 – Залежність x_s від w : 1 - для ВПФ з ПЕНТ; 2 - для ВПФ з ПП

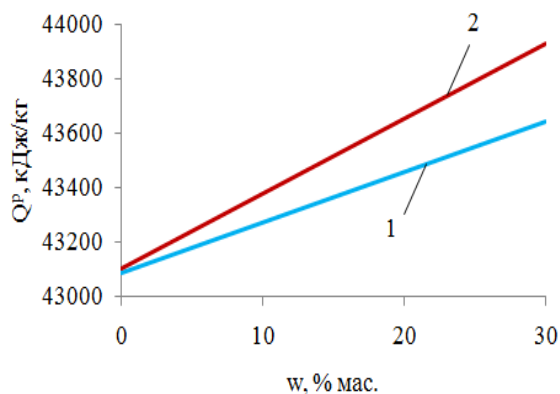


Рисунок 6 – Залежність Q^p від w : 1 - для ВПФ з ПЕНТ; 2 - для ВПФ з ПП

Висновки. Використання вторинної полімерної сировини у виробництві різних видів палив з одного боку – дозволить частково вирішити проблему засмічення сільськогосподарських земель, з іншого – отримувати продукти з високим рівнем якості, що відповідають усім вимогам існуючих стандартів. З метою отримання котельного палива

з поліпшеними експлуатаційними властивостями на базі мазуту марки 100, можна використовувати ВПФ (300–360 °C) у кількості до 30 % мас.

Література

1. Luiz H. Maccarini Vefago. Recycling concepts and the index of recyclability for building materials / Luiz H. Maccarini Vefago, Jaume Avellaneda // Resources, Conservation and Recycling. – 2013. – Vol. 72. – Pages 127–135.
2. Degnan T. Waste–plastic processing provides global challenges and opportunities / T. Degnan, S.L. Shinde // MRS Bull. – 2019. – № 44(6). – Pages 436–437.
3. Van Krevelen D.W. Properties of Polymers (Fourth Edition) / D.W. Van Krevelen, K. Te Nijenhuis. Elsevier Science, 2009. – Page 956.
4. Mar James E. Mark Physical Properties of Polymers Handbook /James E. Mark. Springer; 2nd ed., 2007. – Page 1096.
5. Plastic waste inputs from land into the ocean / J. R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, K. L. Law // Science. – 2015. –№ 347. – Pages 768–771.
6. Hoornweg D. Environment: Waste production must peak this century / D. Hoornweg, P. Bhada–Tata, C. Kennedy // Nature. – 2013. – № 502. – Pages 615–617.
7. Barnes D.K.A. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments / D.K.A. Barnes, F. Galgani, R. C. Thompson, M. Barlaz, // Philos. Trans. R. Soc. – 2009. – № 364.– Pages 1985–1998.
8. Grigorov Andrey. The use of processed polyethylene products in the manufacture of plastic lubricants / Andrey Grigorov, Oleg Zelenskii // Petroleum & Coal journal. – 2019. – Volume 61. – Issue 1. – pp. 21–24.
9. Andrey Grigorov. Possibility of producing plastic lubricants by thermal destruction of solid domestic wastes / Andrey Grigorov, Oleg Zelenskii, Alexey Sytnik, Ivan Nahliuk //Petroleum & Coal journal. – 2020. – Volume 62. – Issue 1. – pp. 195–199.
10. Emanuele Toraldo. Effects of polymer additives on bituminous mixtures / Emanuele Toraldo, Edoardo Mariani // Construction and Building Materials. – 2014. – Volume 65. – pp. 38–42.
11. Jiqing Zhu. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges / Jiqing Zhu, Björn Birgisson, Niki Kringos // European Polymer Journal. – 2014. – Volume 54. – pp. 18–38.
12. Rachmadena D. Conversion of Polypropylene Plastic Waste Into Liquid Fuel with Catalytic Cracking Process Using Al₂O₃ as Catalyst / D. Rachmadena, M. Faizal, M. Said // International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. – 2018. – Vol.8. – No. 3. – Pages 694–700.
13. Sarker M. Alternative diesel grade fuel transformed from polypropylene (pp) municipal waste plastic using thermal cracking with fractional column distillation / M. Sarker, M. M. Mamunor, M. Sadikur Rahman, M. Molla // Energy and power engineering. – 2012. – Vol. 4. – Pages 165–172.

14. ДСТУ 4058–2001 «Паливо нафтове. Мазут. Технічні умови». – К.: УкрНДІП «МАСМА», 2015. – 10 с.

15. Боровик С.И. Пожарная безопасность: учебное пособие к практическим занятиям / С.И. Боровик. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – 160 с.

УДК 665.775.4.

Bibliography (transliterated)

1. Luiz H. Maccarini Vefago. Recycling concepts and the index of recyclability for building materials / Luiz H. Maccarini Vefago, Jaume Avellaneda // Resources, Conservation and Recycling. – 2013. – Vol. 72. – Pages 127–135.

2. Degnan T. Waste-plastic processing provides global challenges and opportunities / T. Degnan, S.L. Shinde // MRS Bull. – 2019. – № 44(6). – Pages 436–437.

3. Van Krevelen D.W. Properties of Polymers (Fourth Edition) / D.W. Van Krevelen, K. Te Nijenhuis. Elsevier Science, 2009. – Page 956.

4. Mar James E. Mark Physical Properties of Polymers Handbook /James E. Mark. Springer; 2nd ed., 2007. – Page 1096.

5. Plastic waste inputs from land into the ocean / J. R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, K. L. Law // Science. – 2015. – № 347. – Pages 768–771.

6. Hoornweg D. Environment: Waste production must peak this century / D. Hoornweg, P. Bhada-Tata, C. Kennedy // Nature. – 2013. – № 502. – Pages 615–617.

7. Barnes D.K.A. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments / D.K.A. Barnes, F. Galgani, R. C. Thompson, M. Barlaz, // Philos. Trans. R. Soc. – 2009. – № 364. – Pages 1985–1998.

8. Grigorov Andrey. The use of processed polyethylene products in the manufacture of plastic lubricants / Andrey Grigorov, Oleg Zelenskii // Petroleum & Coal journal. – 2019. – Volume 61. – Issue 1. – pp. 21–24.

9. Andrey Grigorov. Possibility of producing plastic lubricants by thermal destruction of solid domestic wastes / Andrey Grigorov, Oleg Zelenskii, Alexey Sytnik, Ivan Nahliuk //Petroleum & Coal journal. – 2020. – Volume 62. – Issue 1. – pp. 195–199.

10. Emanuele Toraldo. Effects of polymer additives on bituminous mixtures / Emanuele Toraldo, Edoardo Mariani // Construction and Building Materials. – 2014. – Volume 65. – pp. 38–42.

11. Jiqing Zhu. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges / Jiqing Zhu, Björn Birgisson, Niki Kringos // European Polymer Journal. – 2014. – Volume 54. – pp. 18–38.

12. Rachmadena D. Conversion of Polypropylene Plastic Waste Into Liquid Fuel with Catalytic Cracking Process Using Al₂O₃ as Catalyst / D. Rachmadena, M. Faizal, M. Said // International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. – 2018. – Vol.8. – No. 3. – Pages 694–700.

13. Sarker M. Alternative diesel grade fuel transformed from polypropylene (pp) municipal waste plastic using thermal cracking with fractional column distillation / M. Sarker, M. M. Mamunor, M. Sadikur Rahman, M. Molla // *Energy and power engineering*. – 2012. – Vol. 4. – Pages 165–172.
14. DSTU 4058–2001 «Palivo naftove. Mazut. Tekhnichni umovi». – K.: UkrN-DINP «MASMA», 2015. – 10 p.
15. Borovik S.I. Pozharnaya bezopasnost': uchebnoe posobie k prakticheskim zanyatiyam / S.I. Borovik. – Chelyabinsk: Izdatel'skiy tsentr YuUrGU, 2016. – 160 p.

УДК 665.775.4.

Шевченко К.В., Григоров А.Б., Сінкевич І.В.

ВЛАСТИВОСТІ КОТЕЛЬНОГО ПАЛИВА, КОМПАУНДОВАНОГО ВУЗЬКИМИ ПАЛИВНИМИ ФРАКЦІЯМИ

З метою поліпшення експлуатаційних властивостей, зокрема в'язкісно-температурних, котельного палива запропоновано їх компаундування з вузькими паливними фракціями, отриманими шляхом термічної деструкції вторинної полімерної сировини (поліетилену низького тиску та поліпропілену).

При компаундуванні мазуту марки 100 з вузькими паливними фракціями, відбувається зниження значень густини до 865 (873) кг/м³, умовної в'язкості до 2,50 (2,63) град. ум., температури застигання до 8 (13) °С, вмісту сірки до 0,17 % мас. та підвищується нижча теплота згоряння до 43606 (43850) кДж/кг. При цьому, відбувається поступове зниження величини показника температури спалаху до 114(127) °С.

Таке зниження є негативним моментом, який призводить до підвищення пожежонебезпеки мазуту при його використанні, зберіганні, перекачуванні і транспортуванні. Але, при цьому, значення показника температури спалаху, згідно вимог нормативної документації, знаходяться у допустимих межах. Тобто, значенням саме цього показника можна обмежувати вміст у мазуті вузьких паливних фракцій.

Визначено, що раціональна концентрація вузьких паливних фракцій у складі топкового мазуту марки 100, знаходиться у межах до 30% мас. У цих межах спостерігається припустиме зниження значень температури спалаху – показника, що характеризує пожежонебезпеку мазуту при його використанні, зберіганні, перекачуванні і транспортуванні на фоні поліпшення інших експлуатаційних властивостей мазуту.

Виробництво запропонованого компаундованого котельного палива з одного боку дозволяє розширити сировинну базу процесу, шляхом залучення до виробничого процесу вторинну полімерну сировину – тверді побутові відходи, що підлягають обов'язковій утилізації, з іншого – задовольнити існуючий попит на котельне паливо, за рахунок підвищення обсягів його виробництва.

Ключові слова: паливо, компаундування, мазут, полімерна сировина, паливні фракції, властивості, поліетилен, поліпропілен.

Шевченко К.В., Григоров А.Б., Синкевич И.В.

СВОЙСТВА КОТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА, КОМПАУНДОВАНОГО УЗКИМИ ТОПЛИВНЫМИ ФРАКЦИЯМИ

С целью улучшения эксплуатационных свойств, в частности вязкостно-температурных, котельного топлива предложено их компаундирования с узкими топливными фракциями, полученными путем термической деструкции полимерного сырья (полиэтилена низкого давления и полипропилена).

При компаундировании мазута марки 100 с узкими топливными фракциями, происходит снижение его плотности до 865 (873) кг/м³, вязкости до 2,50 (2,63) град. усл., температуры застывания до 8 (13) °С, содержания серы до 0,17 % масс., и повышается низшая теплота сгорания к 43606 (43850) кДж /кг. При этом, величина показателя его температуры вспышки, постепенно снижается до 114 (127) °С.

Такое снижение является отрицательным моментом, и приводит к повышению пожароопасности мазута при его использовании, хранении, перекачки и транспортирования. Но, при этом значение показателя температуры вспышки, согласно требованиям нормативной документации, находится в допустимых пределах. То есть, значением именно этого показателя можно ограничивать содержание в мазуте узких топливных фракций.

Определено, что рациональная концентрация узких топливных фракций в составе топочного мазута марки 100, находится в пределах до 30% масс. В этих пределах наблюдается допустимое снижение значений температуры вспышки - показателя, характеризующего пожароопасность мазута при его использовании, хранении, перекачке и транспортировке на фоне улучшения других эксплуатационных свойств мазута.

Производство предложенного компаундованого котельного топлива с одной стороны позволяет расширить сырьевую базу процесса, путем привлечения к производственному процессу полимерного сырья - твердые бытовые отходы, подлежат обязательной утилизации, с другой - удовлетворить существующий спрос на котельное топливо, за счет повышения объемов его производства.

Ключевые слова: топливо, компаундирование, мазут, полимерное сырье, топливные фракции, свойства, полиэтилен, полипропилен.

Shevchenko K.V., Grigorov A.B., Sinkevich I.V.

PROPERTIES OF BOILER FUEL COMPOUNDED BY NARROW FUEL FRACTIONS

In order to improve the performance properties, in particular viscosity-temperature, of boiler fuel, it is proposed to combine them with narrow fuel fractions obtained by thermal destruction of secondary polymer raw materials (low pressure polyethylene and polypropylene).

When compounding grade 100 fuel oil with narrow fuel fractions, the values of density are reduced to 865 (873) kg / m³, conditional viscosity to 2.50 (2.63) deg. um., pour point up to 8 (13) °C), sulfur content up to 0.17 wt%. and the lower heat of combustion increases to 43606 (43850) kJ / kg. At the same time, there is a gradual decrease in the value of the flash point to 114 (127) °C.

This reduction is a negative point, which leads to increased fire safety of fuel oil during its use, storage, pumping and transport. However, the values of the flash point, according to the requirements of regulatory documentation, are within acceptable limits. That is, the value of this indicator can limit the content of fuel oil in narrow fuel fractions.

It is determined that the rational concentration of narrow fuel fractions in the composition of fuel oil grade 100, is within 30% of the mass. Within these limits, there is a permissible decrease in flash point values – an indicator that characterizes the fire hazard of fuel oil during its use, storage, pumping and transportation against the background of improving other performance properties of fuel oil.

The production of the proposed compound boiler fuel on the one hand allows to expand the raw material base of the process by involving in the production process secondary polymer raw materials – solid waste subject to mandatory disposal, on the other – to meet existing demand for boiler fuel by increasing its production.

Keywords: fuel, compounding, fuel oil, polymeric raw materials, fuel fractions, properties, polyethylene, polypropylene.

Рябова І.Б., к.техн.н., професор, Гарєв А.О., Гарєв Л.А.,
Горбунов К.О., к.техн.н., професор

ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОТОКІВ БРАЖНОЇ ТА ЕПЮРАЦІЙНОЇ КОЛОНИ В ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА РЕКТИФІКОВАНОГО ЕТИЛОВОГО СПИРТУ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключові слова: теплова інтеграція, ректифікаційна колона, мережа рекуперативних теплообмінників, енергоефективність, виробництво етилового спирту.

Як відомо, однією з найактуальніших проблем сучасної промисловості країн світу, зокрема України, є надвисоке питоме споживання енергії в енергоємних галузях на тлі зовнішньої енергозалежності [1]. Конкурентоздатність продукції цих галузей суттєво залежить від цін на енергоносії, які невідступно зростають. Зменшення питомих витрат енергії на одиницю продукції може вирішити комплекс питань: по-перше, з собівартістю продукції, по-друге, в масштабах держави полегшати енергозалежність від зовнішніх постачальників енергії.

Виробництво етанолу для потреб харчової, фармацевтичної, паливної галузей є достатньо яскравим прикладом технологічного процесу з високими питомими витратами енергії. Детальний аналіз енергетичного потенціалу технологічних потоків з метою вирішення задачі зменшення енерговитрат надихає на розробку більш енергоефективних рішень організації цього процесу [2, 3].

На сьогодні основною сировиною для виробництва етанолу залишається рослинна сировина з високим вмістом крохмалю або крохмальовмісних речовин (картопля, цукровий буряк, зернові культури, кукурудза та ін.). Заключну стадією технологічного процесу отримання етилового спирту є ректифікація (або дистиляція), яка відбувається неодноразово. Такий складний процес виділення спирту високої концентрації призводить навіть до питання доцільності використання зневодненого етанолу в якості альтернативного палива і укладання енергетичного балансу технологічного процесу для оцінювання питомої енергоємності виробництва [4]. Проте, розробка та впровадження нових технологій вимагає значних капітальних вкладень в устаткування та не може бути здійснено у короткий час.

Пошук альтернативних рішень демонструє, що одним з методів, зокрема таким, що не потребує тотальної реконструкції виробництва, є метод інтеграції процесів, що базується на пінч-аналізі. Цей метод можна успішно застосовувати в хімічній, нафтохімічній, харчовій, фармацевтичній та інших галузях промисловості [5]. Модернізація теплообмінних систем існуючих виробництв методом Pinch-технології дозволяє максимально використовувати вже встановлене устаткування, що знижує інвестиції в реконструкцію. Методами Pinch-аналізу можна також визначити вартісний компроміс між цільовими показниками і капітальними вкладками при заданому часі окупності, якому повинен задовольняти остаточний проект [6].

Дане дослідження ставить за мету визначення енергозберігаючого потенціалу в процесі ректифікації етилового спирту на існуючому виробництві та створення мережі теплообмінників з максимальною рекуперацією енергії. Враховуючи високу енергоемність процесу, використання методів інтеграції для зменшення енергоспоживання є перспективним для досягнення цільових показників в технологічному процесі.

Як відомо, метод пінч-аналізу, вперше запропонований професором Б. Ліннхоффом, є дуже зручним інструментом створення проектів модернізації хіміко-технологічних систем з метою максимальної рекуперації енергії [7, 8, 9]. Цей метод дозволяє забезпечити вже на ранній стадії проектування оптимальне рішення задач створення теплообмінних систем. Виділення технологічних потоків, що прийматимуть участь в інтеграції, та побудова складових кривих процесу дозволяють провести аналіз можливості рекуперації теплоти всередині технологічної схеми, визначити кількість зовнішніх енергоносіїв та розробити теплообмінну мережу, яка забезпечить цільові значення температур технологічних потоків [10, 11]. Енергозберігаючий ефект при використанні даного методу при реконструкції теплообмінних мереж різноманітних хіміко-технологічних систем є суттєвим, що обумовлює доцільність його застосування при енергоефективному проектуванні [12].

Екстракція даних технологічних потоків була здійснена на основі регламентної документації апаратурно-технологічної схеми установки централізованої розгонки ГФЕС (головної фракції етилового спирту) та звіту з енергоаудиту даної установки, який був здійснений на одному з спиртових підприємств України.

Технологічний процес заснований на послідовності русі продуктів від колони до колони та супроводжується наступними технологічними діями:

- у розгінній колоні за рахунок глибокої гідроселекції виділяється більша частина головних домішок;
- у відгінній (сирцевій) колоні відбувається концентрування водно-спиртової рідини;
- в епюраційній колоні протікає епюрація спирту-сирцю, виділення головних домішок та метанолу;
- в ректифікаційній колоні здійснюється підвищення міцності та пастеризація спирту, виведення вищих спиртів з зон їх концентрування;
- в колоні остаточної очистки спирту (при її наявності) проводиться повторна очистка ректифікованого спирту.

Крім ректифікованого спирту при переробці головної фракції, з колон виводиться ефіро-альдегідно-метанольний концентрат, а також відбираються та спрямовуються на повторну очистку непастеризований спирт із конденсаторів ректифікаційної колони та колони остаточної очистки.

На даному етапі роботи для теплової інтеграції існуючого процесу, було обрано дві колони установки централізованої розгінки етилового спирту – бражну та епюраційну. Були розраховані тепловий та матеріальний баланси цих колон установки ГФЕС. Основні параметри технологічних потоків, гарячих та холодних утиліт відображені на енергофункціональній схемі бражної та епюраційної колони (Рис.1) та в таблиці поточкових даних (таблиця 1).

Тепловий потік характеризують його початкова (температура постачання) T_s , °C, і кінцева (цільова) T_t , °C, температура, масова витрата G , кг/с, теплоносія, питома теплоємність c_p , кДж/(кг · °C).

Можна обчислити для зручності потокову теплоємність CP , кВт/°C:

$$CP = G \cdot c_p \quad (1)$$

та зміну ентальпії потоку в його температурному інтервалі:

$$\Delta H_{CP} = \int_{T_s}^{T_t} dt \quad (2)$$

якщо $CP = \text{const}$, тоді

$$\Delta H = CP \cdot (T_t - T_s). \quad (3)$$

Для потоків, у яких відбувається фазовий перехід, визначальною величиною є зміна потокової ентальпії, ΔH , кВт.

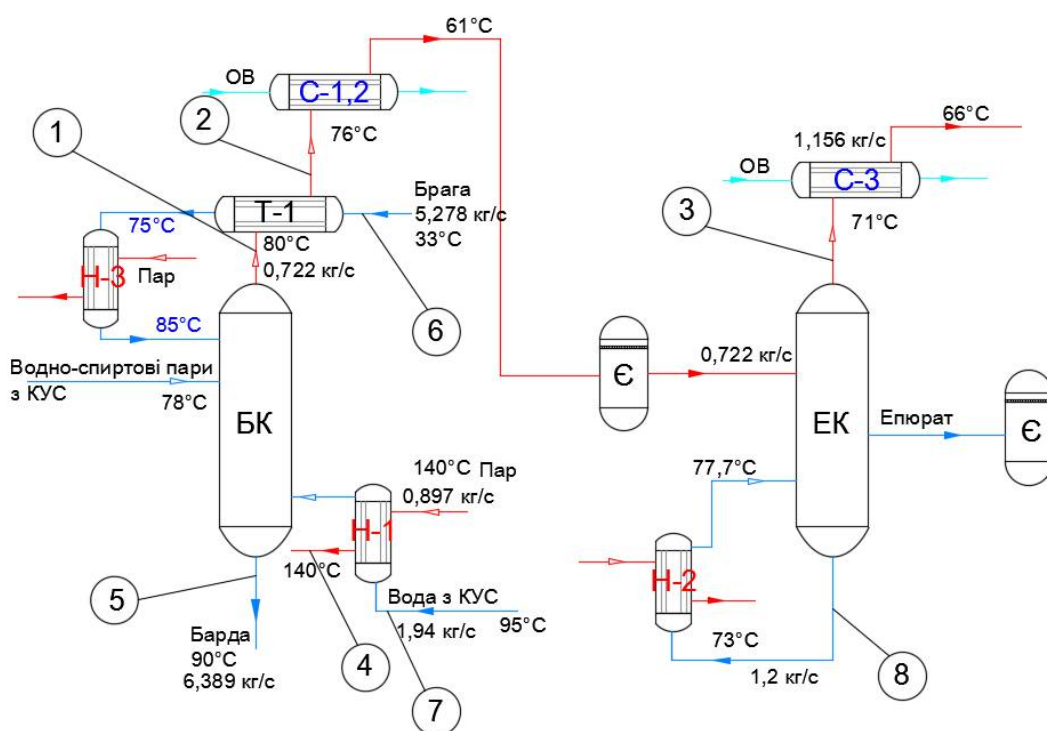


Рисунок 1 – Енерго-функціональна схема бражної та епіюраційної колони

При відомих значеннях цільової та початкової температур, величин теплових навантажень на потоки, можна представити їх на температурно-ентальпійній діаграмі. Для цього будуємо складові криві потоків для існуючої схеми (рис. 2).

У схемі, що розглядається, існує часткова інтеграція теплоти технологічних потоків. Так, у дефлегматорі ректифікаційної колони охолоджуючим агентом виступає брага. Складові криві було розміщено таким чином, щоб область рекуперації між гарячими та холодними потоками складала 800 кВт, що дорівнює тепловому навантаженню теплообмінника Т-1. Таким чином, було встановлено, що мінімальна різниця температур між холодними та гарячими складовими кривими для існуючого процесу складала $\Delta T_{\min} = 25^{\circ}\text{C}$.

Було з'ясовано, що процес, що існує, не відповідає принципам пінч-проекування та має значний резерв для рекуперації всередині технологічної схеми.

Для максимальної реалізації енергетичного потенціалу технологічних потоків, необхідно керуватися принципами пінч-проекування та спроектувати сіткову діаграму таким чином, щоб не було переносу через пінч, тобто забезпечувався вертикальний теплообмін між гарячими та холодними потоками в системі.

Таблиця 1 Потокові дані технологічної схеми

№ потоку	Найменування потоку	Тип потоку	G, кг/с	Ts, °C	Tt, °C	CP, кДж/°C	ΔH, кВт
1	Конденсація випару БК на підігрівачах браги	Гарячий	0,72	80	76		1070
2	Охолодження бражного дистиляту БК на дефлегматорі	Гарячий	0,72	76	61	2,36	35
3	Конденсація парів ЕК на дефлегматорах	Гарячий	1,16	70,7	67		1970
4	Конденсат гріючої пари з куба БК	Гарячий	0,92	141	60	3,84	311
5	Барда	Гарячий	6,39	90	60	25,4	762
6	Нагрів браги на підігрівачах БК	Холодний	5,28	33	85	18,9	982
7	Випаровування води в БК	Холодний	0,9	97	99		2029
8	Випаровування води в ЕК	Холодний	1,2	73	78		2044

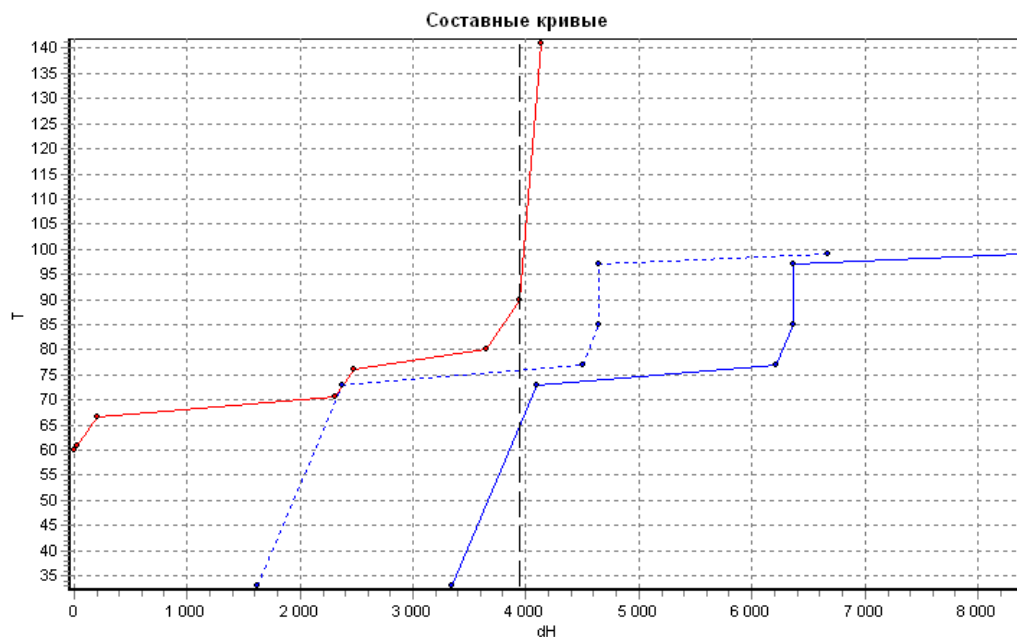


Рисунок 2 – Складові криві процесу до інтеграції з $\Delta T_{\min} = 25^{\circ}\text{C}$

В даному проекті для максимізації рекуперації теплової енергії було задано $\Delta T_{\min} = 3^{\circ}\text{C}$. Це можливо обґрунтувати тим, що для досягнення істотного енергосберегаючого ефекту для даної ХТС потрібно використовувати мінімальні значення $\Delta T_{\min}$.

Складові криві для вищезначеної мінімальної різниці температур наведені на рис. 3. В результаті область рекуперації була збільшена до 2422,5 кВт.

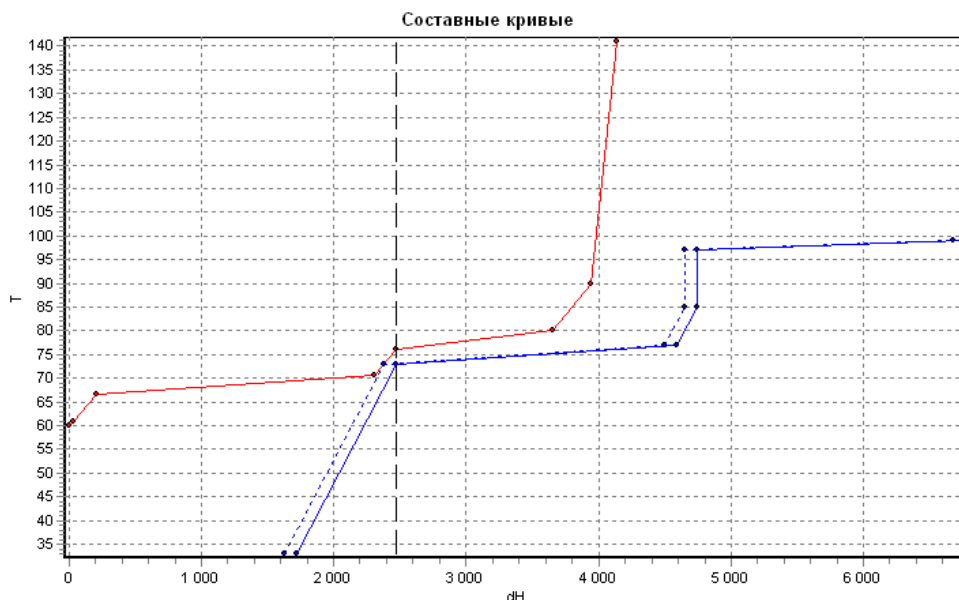


Рисунок 3 – Складові криві інтегрованого процесу з $\Delta T_{\min} = 3^{\circ}\text{C}$

Мережу теплообмінників, з урахуванням нових умов показано на рис. 4.

Для забезпечення роботи теплообмінної системи в цьому випадку були проведені відповідні розрахунки енергоефективного пластинчастого теплообмінного облад-

нання [13], яке може забезпечити роботу при заданих значеннях ΔT_{min} . Принципове розміщення енергозберігаючого обладнання показано на рис. 5.

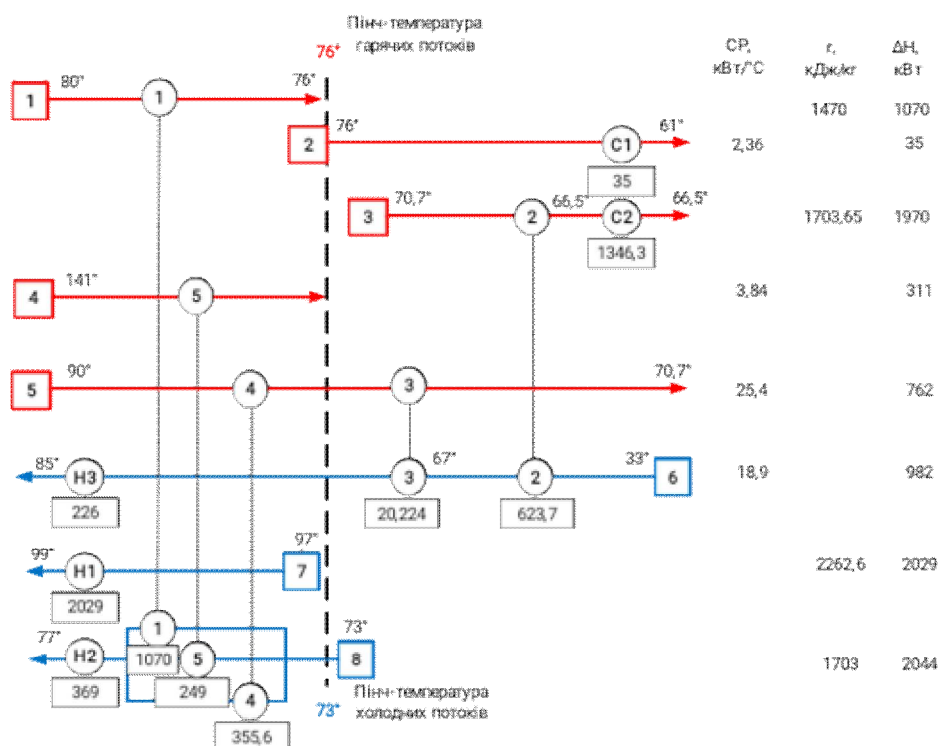


Рисунок 4 – Сіткова діаграма технологічної системи ректифікації етилового спирту

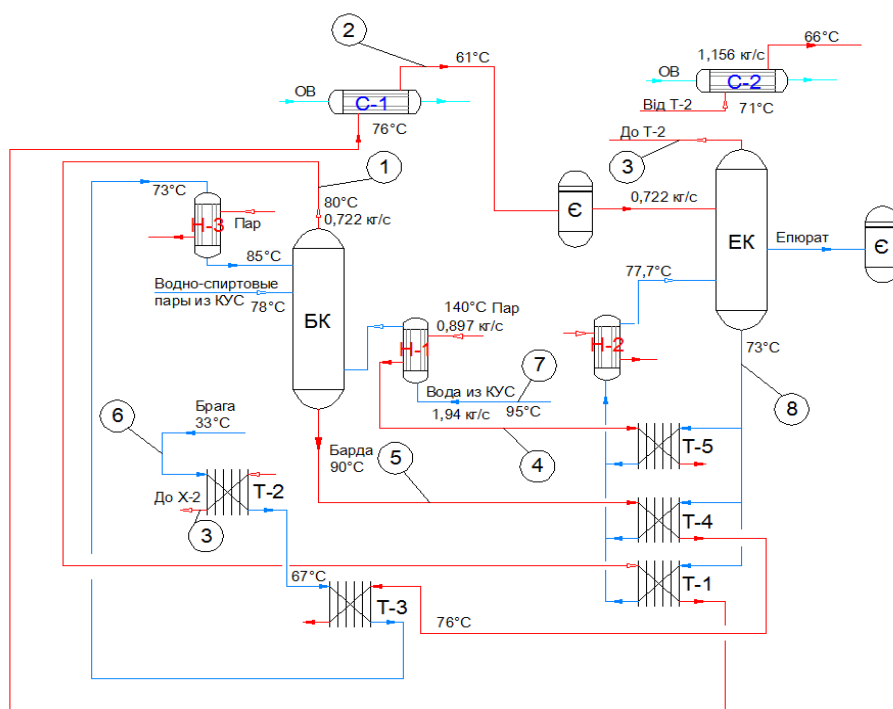


Рисунок 5 – Енергоефективна схема модернізованого технологічного процесу

Література

1. Енергетична стратегія України до 2035 р.
http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245239564
2. Багатуров С.А. Основы теории и расчета перегонки и ректификации. Изд. 3-е переработанное. – М.: Химия, 1974. – 440 с.
3. Dhole V.R., Linnhoff B. Distillation Column Targets.– Proceedings of ESCAPE–7 Symposium, Elsinore, Denmark, May, 24–28, 1992.
4. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. – М., Энергоатомиздат, 1990. – 392с.
5. Linnhoff B. and Vredeveld D.R. Pinch Technology Has Come Of Age. Chemical Engineering Progress, 1984, vol. 80, no. 7, pp. 33–40.
6. Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. Основы интеграции тепловых процессов.– Харьков, НТУ «ХПИ», 2000.– 456 с.
7. Мешалкин В.П., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А. Основы теории ресурсосберегающих интегрированных химико-технологических систем. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 412 с.
8. Song C., Qiu Y., Liu Q., Ji N., Zhao Y., Kitamura Y., Hou X. Process intensification of cellulosic ethanol production by waste heat integration. Chemical Engineering Research and Design, 2018, vol. 132, pp. 115–122. doi: 10.1016/j.cherd.2018.01.016.
9. Ulyev L., Vasiliev M., Boldyryev S. Process integration of crude oil distillation with technological and economic restrictions. Journal of Environmental Management, 2018, vol. 222, pp. 454–464. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.05.062.
10. Boldyryev S., Krajačić G., Duić N. Cost Effective Heat Exchangers Network of Total Site Heat Integration. Chemical Engineering Transaction, 2016, vol. 52, pp. 541–546. doi: 10.3303/CET1652091.
11. Pan M., Bulatov I., Smith R. Improving heat recovery in retrofitting heat exchanger networks with heat transfer intensification, pressure drop constraint and fouling mitigation. Applied Energy, 2016, vol. 161, pp. 611–626. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.09.073.
12. Boldyryev S. Achievements and perspectives of process integration in CIS countries, Resource-Efficient Technologies 2 (2020) 1–14, Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics University ITMO, St. Petersburg, Russia
13. Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л., Арсеньева О.П. Пластинчатые теплообменники в промышленности. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – с.

Bibliography (transliterated)

1. Energetichna strategiya Ukrayini do 2035 r.
http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245239564
2. Bagaturov S.A. Osnovy teorii i rascheta peregonki i rektifikaczii. Izd. 3-e pererabotannoe. – М.: Khimiya, 1974. – 440 p.

3. Dhole V.R., Linnhoff B. Distillation Column Targets.– Proceedings of ESCAPE–7 Symposium, Elsinore, Denmark, May, 24–28, 1992.
4. Tvajdell Dzh., Uejr A. Vozobnovlyaemye istochniki energii. – M., Energoatomizdat, 1990. – 392 p.
5. Linnhoff B. and Vredevelde D.R. Pinch Technology Has Come Of Age. Chemical Engineering Progress, 1984, vol. 80, no. 7, pp. 33–40.
6. Smit R., Klemesh J., Tovazhnyanskij L.L., Kapustenko P.A., Ulyev L.M. Osnovy integracii teplovykh processov.– Kharkov, NTU «KhPI», 2000.– 456 p.
7. Meshalkin V.P., Tovazhnyanskij L.L., Kapustenko P.A. Osnovy teorii resur-soberegayushhikh integrirovannykh khimiko-tekhnologicheskikh sistem. – Kharkov: NTU "KhPI", 2006. – 412 p.
8. Song C., Qiu Y., Liu Q., Ji N., Zhao Y., Kitamura Y., Hou X. Process intensification of cellulosic ethanol pro- duction by waste heat integration. Chemical Engineer- ing Research and Design, 2018, vol. 132, pp. 115–122. doi: 10.1016/j.cherd.2018.01.016.
9. Ulyev L., Vasiliev M., Boldyryev S. Process integration of crude oil distillation with technological and economic restrictions. Journal of Environmental Management, 2018, vol. 222, pp. 454–464. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.05.062.
10. Boldyryev S., Krajačić G., Duić N. Cost Effective Heat Exchangers Network of Total Site Heat Integration. Chemical Engineering Transaction, 2016, vol. 52, pp. 541–546. doi: 10.3303/CET1652091.
11. Pan M., Bulatov I., Smith R. Improving heat recovery in retrofitting heat exchanger networks with heat transfer intensification, pressure drop constraint and fouling mitigation. Applied Energy, 2016, vol. 161, pp. 611–626. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.09.073.
12. Boldyryev S. Achievements and perspectives of process integration in CIS countries, Resource-Efficient Technologies 2 (2020) 1–14, Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics University ITMO, St. Petersburg, Russia.
13. Tovazhnyanskij L.L., Kapustenko P.A., Khavin G.L., Arseneva O.P. Platin-chatye teploobmenniki v promyshlennosti. – Kharkov: NTU «KhPI», 2004. – p.

УДК 66.048.05:665.6

Рябова І.Б., к.техн.н., професор, Гарєв А.О., Гарєв Л.А.,
Горбунов К.О., к.техн.н., професор

ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОТОКІВ БРАЖНОЇ ТА ЕПЮРАЦІЙНОЇ КОЛОНИ В ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА РЕКТИФІКОВАНОГО ЕТИЛОВОГО СПИРТУ

На сьогодні етиловий спирт є речовиною, використання якої поширено у багатьох галузях промисловості. Технологія виробництва етанолу з будь-якої органічної сировини найчастіше включає ректифікацію, яка є енергоємним процесом. Висока ціна

енергоносіїв і постійне її зростання призводять до суттєвого збільшення вартості продукції. Зменшення питомих витрат енергії на одиницю продукції може вирішити комплекс питань: по-перше, зменшити собівартість продукції, по-друге, в масштабах держави, полегшити енергозалежність від зовнішніх постачальників енергії. Детальний аналіз енергетичного потенціалу технологічних потоків з метою вирішення задачі зменшення енерговитрат надихає на розробку більш енергоефективних рішень організації цього процесу.

Пошук альтернативних рішень демонструє, що одним з методів зменшення питомих витрат енергії на виробництво етанолу, зокрема таким, що не потребує тотальної реконструкції виробництва, є метод інтеграції процесів, що базується на пінч-аналізі.

Екстракція даних технологічних потоків була здійснена на основі регламентної документації апаратурно-технологічної схеми установки централізованої розгонки ГФЕС (головної фракції етилового спирту) та звіту з енергоаудиту даної установки, який був здійснений на одному з спиртових підприємств України.

Для теплової інтеграції існуючого процесу, було обрано дві колони установки централізованої розгонки етилового спирту :бражну та епюраційну. Були розраховані тепловий та матеріальний баланси цих колон установки ГФЕС.

Для максимальної реалізації енергетичного потенціалу технологічних потоків, були використані принципи пінч-проекування та спроектовано сіткову діаграму.

Для максимізації рекуперації теплової енергії було задано $\Delta T_{\min} = 3^{\circ}\text{C}$. Це призвело до необхідності використання енергоефективного теплообмінного обладнання. Суттєве зменшення використання зовнішніх утиліт (холодних на 48% та гарячих – на 38%) для обраних технологічних потоків та невеликий термін окупності проекту (близько трьох місяців) робить доцільним використання такого роду рішення проблеми.

Ключові слова: тепла інтеграція, ректифікаційна колона, мережа рекуперативних теплообмінників, енергоефективність, виробництво етилового спирту.

Рябова И.Б., Гарев А.О., Гарев Л.А., Горбунов К.А.

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТОКОВ БРАЖНОЙ И ЭПЮРАЦИОННОЙ КОЛОНН В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА РЕКТИФИЦИРОВАННОГО ЭТИЛОВОГО СПИРТА

На сегодня этиловый спирт является веществом, использование которого распространено в многих отраслях промышленности. Технология производства этанола из любого органического сырья чаще всего включает ректификацию, которая является энергоемким процессом. Высокая цена энергоносителей и постоянные её рост приводят к существенному увеличению стоимости продукции. Уменьшение удельных затрат энергии на единицу продукции может решить комплекс вопросов: во-первых, снизить себестоимость продукции, во-вторых, в масштабах государства, облегчить энергозависимость от внешних поставщиков энергии. Детальный анализ энергетического потенциала технологических потоков с целью решения задачи уменьшения энергозатрат на-

целивает на разработку более энергоэффективных решений организации этого процесса.

Поиск альтернативных решений показывает, что одним из методов уменьшения удельных затрат энергии на производство этанола, в частности таким, что не требует тотальной реконструкции производства, является метод интеграции процессов, основанный на пинч-анализе.

Экстракция данных технологических потоков была осуществлена на основе регламентной документации аппаратурно-технологической схемы установки централизованной разгонки ГФЭС (головной фракции этилового спирта) и отчета по энергоаудиту данной установки, который был осуществлен на одном из спиртопроизводящих предприятий Украины.

Для тепловой интеграции существующего процесса, были выбраны две колонны установки централизованной разгонки этилового спирта: бражная и эспурационная. Были рассчитаны тепловой и материальный балансы этих колонн установки ГФЭС.

Для максимальной реализации энергетического потенциала технологических потоков, были использованы принципы пинч-проектирования и построена сетевая диаграмма сети теплообмена.

Для максимизации рекуперации тепловой энергии было задано $\Delta T_{min} = 3^{\circ}\text{C}$. Это привело к необходимости использования энергоэффективного теплообменного оборудования. Существенное уменьшение использования внешних утилит (холодных на 48% и горячих – на 38%) для избранных технологических потоков и небольшой срок окупаемости (около трех месяцев) делает целесообразным использование такого рода решения проблемы.

Ключевые слова: тепловая интеграция, ректификационная колонна, сеть рекуперативных теплообменников, энергоэффективность, производство этилового спирта.

Riabova I.B., Hariiev A.O., Hariiev L.A., Gorbunov K.O.

HEAT FLOWS INTEGRATION OF DISTILLATION AND EPURATION COLUMNS INTO THE PRODUCTION PROCESS OF RECTIFIED ETHYL ALCOHOL

Today, ethyl alcohol is widely used in many industries. Ethanol production processes from any organic matter often involve rectification, which is an energy-intensive process. The constant increase in the cost of energy leads to a significant growth of the cost of production. Reducing the unit energy consumption can solve a range of important issues: first, that of decreasing production cost, and secondly, that of nationwide dependence on external energy suppliers. A detailed analysis of the thermal energy potential of technological flows aimed at solving the problem of reducing energy consumption inspires the development of more energy-efficient solutions for organizing this processes.

The search for alternative solutions demonstrates that one of the methods of reducing the unit energy consumption for ethanol production, in particular one that does not require a total restructuring of the production lines, is the method of integration of processes based on

pinch analysis.

The extraction of these technological flows was carried out on the basis of the regulatory documentation of the hardware-technological scheme of the centralized ethyl alcohol head fraction distillation plant and the energy audit report of that plant, which was carried out at one of the alcohol enterprises of Ukraine.

A distillation and a purification column were selected from the centralized ethyl alcohol distillation plant for thermal integration of the existing process. The thermal and material balances of the ethyl alcohol head fraction distillation plant columns were calculated.

To maximize the energy potential of the heat flows, the principles of pinch design were applied and a grid diagram of heat exchanger networks was designed.

To maximize the recovery of thermal energy, the difference ΔT_{min} was set to -3°C . This led to the need to use energy-efficient heat exchange equipment. A significant reduction in the use of external utilities (by 48% for cold utilities and by 38% for hot utilities) for selected heat flows and a short payback period for the project (approximately three months) makes this solution viable.

Keywords: thermal integration, distillation column, network of recuperative heat exchangers, energy efficiency, ethyl alcohol production.

Селіхов Ю.А., к.т.н, професор, Коцаренко В.О., к.т.н, професор,
Горбунов К.О., к.т.н., професор

ІНТЕГРАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
м. Харків, Україна

Ключові слова: теплова енергія, органічне паливо, електроенергія, теплове навантаження, забруднення навколишнього середовища, тепловий насос, двоконтурна сонячна установка, тепловий контур, поновлювані джерела.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні установки сонячного тепло- та холодопостачання, теплові насоси та вітроелектрогенератори на об'єктах цивільного і промислового будівництва поки не отримали широкого впровадження, що пов'язано з відносно низькими, у порівнянні з іншими країнами, цінами на енергоносії і недостатньою підготовленістю ринку. Чималу роль у цьому процесі грає висока металоємність та собівартість сонячних колекторів і теплових насосів, а також не підготовленість нашого ринку до випуску вітроелектрогенераторів. Тому актуальною є концепція створення нових теплоенергетичних установок, які будуть використовувати поновлювані джерела енергії. Для таких установок будуть розроблені нові конструкції сонячних установок, теплових насосів і вітроелектрогенераторів. Витрати на вироблення теплової та електричної енергії за допомогою цих установок будуть нижче рівня сумарних витрат на отримання теплової та електричної енергії традиційними засобами (зокрема, в котельних установках).

Одночасно з цим, термін окупності таких теплоенергетичних установок повинен бути співмірним з гарантійним терміном їх експлуатації.

Це може досягатися за рахунок використання дешевих вітчизняних матеріалів, випуск яких гарантовано в достатніх обсягах протягом тривалого строку. [1, с. 70].

Тому використання поновлюваних джерел енергії, економія органічного палива, яке необхідно для нагріву 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 обладнанні, виробництво електроенергії за допомогою вітроелектрогенераторів – є актуальними завданнями.

Мета статті. У даній роботі авторами пропонується енергетична установка для постачання: електроенергією, гарячою водою, гарячим повітрям і опаленням, що була змонтована на одному приватному підвір'ї в Харківській області при будівництві котеджу. Для вирішення вищезазначених завдань нами була розроблена схема попереднього нагріву теплоносія за рахунок застосування двоконтурної сонячної установки [2, с.

2054], теплового насоса [3, с. 10] і вітроелектрогенератору [4, с. 27], який виробляє електроенергію для роботи всього електрообладнання в котеджі.

Енергетична установка використовується круглий рік. Її робота дає можливість економити органічне паливо, яке пішло б на нагрівання теплоносія до необхідної температури в котельні малої потужності. В геотермальних ґрунтових теплових насосах використовується тепла енергія [5, с. 35], накопичена в ґрунті за рахунок нагрівання її сонцем або іншими джерелами. Ґрунт має властивість зберігати сонячне тепло протягом тривалого часу, веде до відносно рівномірного розподілу температури джерела тепла протягом всього року [6, с. 206]. Це забезпечує експлуатацію теплового насоса з високим коефіцієнтом потужності. Нами був проведений розрахунок потужності теплового насоса [5, с. 36] для системи опалення приватного будинку. Був обраний тепловий насос «ґрунт–вода» з горизонтальною схемою розташування теплового колектора [7, с. 318]. Замість батарей опалення застосовуємо теплу підлогу [8, с. 42].

Також була розроблена нова технологічна схема енергетичної установки для гарячого водопостачання та опалення приватного будинку [9, с. 18]. Зробимо опис роботи нової технологічної схеми, яка представлена на рис. 1.

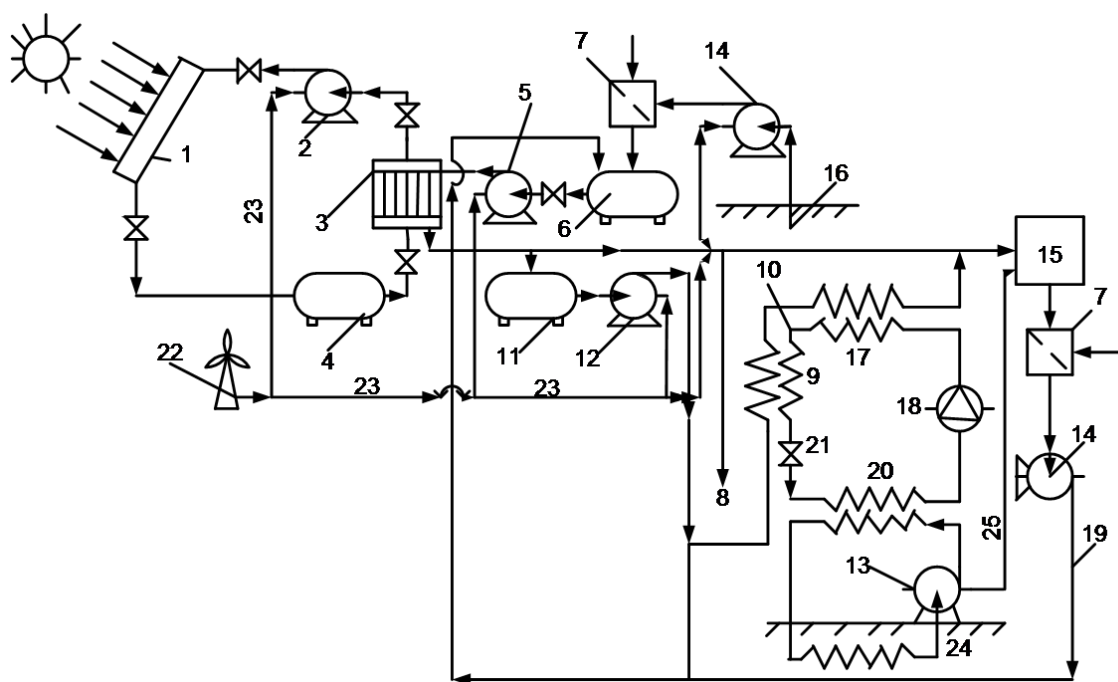


Рисунок 1 – Технологічна схема енергетичної установки для гарячого водопостачання та опалення приватного будинку

1 – двоконтурна сонячна установка; 2, 5, 12, 13, 14 – відцентрові насоси; 3 – двоконтурний теплообмінний апарат; 4, 6 – бак-акумулятор; 7 – установки хімводоочищення; 8 – аварійний злив теплоносія з установки; 9 – охолоджувач; 10 – ґрунтовий тепловий насос (ґрунт-вода); 11 – бак-акумулятор; 15 – приватний будинок; 16 – артезіанська свердловина; 17 – конденсатор; 18 – компресор; 19 – трубопровід оборотної води; 20 – випарник; 21 – дросельний вентиль; 22 – вітроелектрогенератор; 23 – лінії електропередач; 24 – тепловий контур ґрунтового теплового насоса; 25 – трубопровід подачі холодного теплоносія (режим кондиціонування)

Нова енергетична установка може працювати як сезонно, так і цілий рік. Принцип дії установки при сезонній роботі – в теплу пору року: антифриз (тепловий агент) з бака-акумулятора 4 через перший контур теплообмінного апарату 3 циркуляційним насосом 2 подається в колектор сонячної установки 1, де нагрівається до необхідної температури і назад надходить в бак-акумулятор 4. Нагрітий антифриз в другому контурі теплообмінника 3 віддає своє тепло теплоносію (вода), що подається циркуляційним насосом 5 з бака-акумулятора 6, і підігрітим поступає в бак-акумулятор 11. Артезіанська вода зі свердловини 16 насосом 14 подається в установку хімоводоочищення 7, де відбувається очищення від багатьох солей і далі надходить в бак-акумулятор 6. Підігріта до необхідної температури, вода з другого контуру теплообмінника 3 подається в приватне домоволодіння 15 на гаряче водопостачання. Коли температура води не задовольняє користувача 15, остання з бака-акумулятора 11 циркуляційним насосом 12 подається в другий контур охолоджувача 9 і далі в другий контур конденсатора 17 ґрунтового теплового насосу 10, де догрівається до необхідної температури і надходить до користувача 15. Оборотна вода від користувача 15 подається в установку хімоводоочищення 7, де очищається, і циркуляційним насосом 14 подається в бак-акумулятор 6, або, в разі недостатньої кількості води, подається в другий контур охолоджувача 9 і далі в другий контур конденсатора 17 ґрунтового теплового насоса 10, де догрівається і знову надходить користувачеві 15. У разі аварійної ситуації є можливість випустити теплоносії в каналізацію 8 (спорожнення системи). У разі підвищення температури повітря на вулиці до некомфортної позначки, відключається сонячна установка і включається в тепловому насосі режим кондиціонування 25. Вода з ґрунтового теплового контуру циркуляційним насосом 13 подається в контур теплої підлоги, охолоджує площу підлоги і повітря в кімнатах будинку до комфортної температури.

Принцип дії установки для цілорічної роботи. У теплу пору року принцип роботи установки наведений вище. А в холодну пору року установка працює наступним чином: вода з температурою $5 \div 7$ °С циркуляційним насосом 13 подається в другий контур випарника теплового насосу, де нагріває холодоагент першого контуру, який перетворюється в пар. Пар холодоагенту надходить в компресор, де стискається до високого тиску. При цьому його температура досягає 160 °С. Далі пар надходить до конденсатора теплового насосу, де віддає своє тепло другому контуру конденсатора, в який подається вода циркуляційним насосом 12 з бака-акумулятора 11 або циркуляційним насосом 14 від користувача 15. Таким чином, вода нагрівається спочатку в другому контурі охолоджувача, а потім в другому контурі конденсатора і надходить до користувача з температурою 75 °С. У разі аварійної ситуації є можливість випустити теплоносії в каналізацію (спорожнення системи).

Отже, теплова енергія енергетичної установки гарячого водопостачання складалася з теплової енергії встановленої двуконтурної сонячної установки і теплової енергії теплового насоса і розраховувалася за рівнянням

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

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 – щільність води, кг/м³; c_B – питома теплоємність води, кДж/(м³·К); t_B', t_B'' – температура холодної та підігрітої води, відповідно, °С.

Значення кількості використаної теплоти в 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 [3, с. 162].

Економію палива в котлоагрегатах [10, с. 87] за рахунок використання такої системи можна розрахувати за допомогою рівнянь теплового балансу (1–3).

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

$$\Delta B_{\text{рік}} = \frac{Q_{\text{рік}}}{Q_H^P \cdot \eta_K}, \quad (4)$$

де $Q_H^P = 29,33$ МДж/кг – теплотворна здатність умовного палива [11, с. 231]; $Q_{\text{рік}}$ – річна кількість утилізованої теплоти, МДж/рік; η_K – коефіцієнт корисної дії котла.

Економія органічного палива дорівнює, т/рік (тис.м³/рік) [12, с. 156]:

$$\Delta B = \Delta B_{\text{рік}} \cdot \frac{29,33}{1000 \cdot Q_H^P}. \quad (5)$$

Річна економія за рахунок скорочення витрат первинного палива для підігріву води складе для котельної, грн/рік

$$E_{\text{п}} = \Delta B \cdot C_{\text{п}}, \quad (6)$$

де $C_{\text{п}}$ – вартість первинного палива, грн/т (грн/1000 м³).

Термін окупності енергетичної установки гарячого водопостачання та опалення приватного будинку складе, років [13, с. 264]

$$T = S_C / (Q_T \cdot C_T), \quad (7)$$

де S_C – питома вартість теплоенергетичної системи гарячого водопостачання, грн./м²; Q_T – річна кількість теплоти, яке вироблене енергетичною установкою, Гкал/м²; C_T – вартість теплоти від традиційного енергоджерела, грн/Гкал.

Висновки. Таким чином, застосування енергетичної установки для забезпечення електроенергією, гарячою водою, гарячим повітрям і опаленням, в якій спільно з вітро-електрогенератор, двухконтурной сонячною установкою використовується тепловий насос, акумулятори електроенергії і теплоти дозволяє зменшити собівартість теплової енергії за рахунок зниження матеріаломісткості і витрат на устаткування, економити органічне паливо; виробляти електроенергію і надлишок її віддавати в державну електромережу; зменшити теплове навантаження і забруднення навколишнього середовища.

Література

1. Концепция государственной энергетической политики Украины на период до 2020 г. // Информационное приложение. – 2001. – № 10. – 8 с.
2. 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.
3. 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, C. 2053-2058, Copyright © 2018, AIDIServizi S.r.l.
4. Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы: Пер. с англ. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.
5. Овчаренко В.А. Овчаренко А.В. Використання теплових насосів // Холод М+Т, 2006, №2 с. 34–36.
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. Волеваха Н.М., Волеваха В.А. Нетрадиционные источники энергии. – К.: Вища шк., 1988. – 58 с.
9. Щербина О. Сонячна енергія. Енергія для всіх: Техн. довідник. – Ужгород, 2000. – Розд. 1. – С. 9-32.
10. Валов М.И., Казанджан Б.И. Системы солнечного теплоснабжения. – М.: Изд-во МЭИ, Б.г.(1991). – 137 с.
11. Бринкворт Б. Дж. Солнечная энергия для человека. – М.: Мир, 1976. – 288 с.
12. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
13. Сарнацкий Э.В. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения. – М.: Стройиздат, 1990 – 324 с.

Bibliography (transliterated)

1. Konczepczyia gosudarstvennoj energeticheskoy politiki Ukrainy na period do 2020 g. // Informaczionnoe prilozhenie. – 2001. – # 10. – 8 p.
2. Selikhov Yu.A., Ved V.E., Bukhhalo S.I., Kostin V.M. Konstrukcionnye osobennosti uvelicheniya effektivnosti raboty gelioustanovok. Ekotekhnologii i resur-sosberezhenie. – Kiev: Tipografiya NAN Ukrainy, # 3, 2004. – p. 70–75.
3. 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, P. 2053-2058, Copyright © 2018, AIDIServizi S.r.l.
4. Rej D., Makmajkl D. Teplovye nasosy: Per. s angl. – M.:Energoizdat, 1982. – 224 p.
5. Ovcharenko V.A. Ovcharenko A.V. Viktoristannya teplovikh nasosiv //Kholod M+T, 2006, #2 P. 34–36.
6. Dikij M.O. Ponovlyuvani dzherela energiyi: Pidruchnik. – K.: Vishha shk., 1993. – 351 p.: il.
7. Daffi Dzh. A., Bekman U.A. Teplovye proczessy s ispolzovaniem solnechnoj energii. – M.: Mir, 1977. – 420 p.
8. Volevakha N.M., Volevakha V.A. Netradiczionnye istochniki energii. – K.: Vishha shk., 1988. – 58 p.
9. Shherbina O. Sonyachna energiya. Energiya dlya vsikh: Tekhn. dovidnik. – Uzhgorod, 2000. – Rozd. 1. – P. 9–32.
10. Valov M.I., Kazandzhan B.I. Sistemy solnechnogo teplosnabzheniya. – M.: Izd-vo MEI, B.g.(1991). – 137 p.
11. Brinkvort B. Dzh. Solnechnaya energiya dlya cheloveka. – M.:Mir, 1976.–288 p.
12. Kharchenko N.V. Individualnye solnechnye ustanovki.–M.:Energoatomizdat, 1991. – 208 p.
13. Sarnaczkiy E.V. Sistemy solnechnogo teplo- i khladosnabzheniya. – M.: Stroj-izdat, 1990 – 324 p.

УДК 662.997

Селіхов Ю.А., к.т.н, професор, Коцаренко В.О., к.т.н, професор,
Горбунов К.О., к.т.н., професор

ІНТЕГРАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Поновлювані джерела енергії (ПДЕ) не обмежені геологічно накопиченими запасами. Їх використання і споживання не призведе до неминучого вичерпання запасів Землі, і вони не забруднюють навколишнє середовище. Основним мотивом прискореного розвитку відновлюваної енергетики в Європі, США і багатьох інших країнах є турбота про енергетичну незалежність і екологічну безпеку. Так, в странах ЄС прийня-

то програму досягнення вкладу ПДЕ в енергетичний баланс до 2020 року до 20%, а до 2040 р – до 40%. Відновлювана енергетика характеризується багатогранністю, різноманітністю. У переліку завдань, що виникають при реалізації проектів відновлюваної енергетики (ВЕ) (крім технологічних і технічних), залишаються питання оцінки можливості та ефективності використання ПДЕ для енергозабезпечення регіонів. 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 відновлюваної енергії. У зв'язку з комплексністю даної проблеми, а також географічною «регіональністю» відновлюваної енергетики, стає можливим і актуальним тема цієї статті. Пропонується теплоенергетична установка для постачання: електроенергією, гарячою водою, гарячим повітрям і опаленням, в якій спільно з вітроелектрогенератором, двухконтурною сонячною установкою, використовується тепловий насос, акумулятори електроенергії і теплоти. Ця установка дозволяє зменшити собівартість теплової енергії за рахунок зниження матеріаломісткості і витрат на обладнання, економити органічне паливо; виробляти електроенергію і надлишок її віддавати в державну електромережу; зменшити теплове навантаження і забруднення навколишнього середовища.

Ключові слова: тепла енергія, органічне паливо, електроенергія, теплове навантаження, забруднення навколишнього середовища, тепловий насос, двоконтурна сонячна установка, тепловий контур, поновлювані джерела.

УДК 662.997

Селихов Ю.А., к.т.н, професор, Коцаренко В.А., к.т.н, професор,
Горбунов К.А., к.т.н., професор

ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) не ограничены геологически накопленными запасами. Их использование и потребление не приведет к неизбежному исчерпанию запасов Земли, и они не загрязняют окружающую среду. 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 (ВЭ) (кроме технологических и технических), остаются вопросы оценки возможности и эффективности использования ВИЭ для энергообеспечения регионов. 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 во-

зобновляемой энергии. В связи с комплексностью данной проблемы, а также географической «региональностью» возобновляемой энергетики, становится возможным и актуальным тема настоящей статьи. Предлагается теплоэнергетическая установка для снабжения: электроэнергией, горячей водой, горячим воздухом и отоплением, в которой совместно с ветроэлектродвигателем, двухконтурной солнечной установкой, используется тепловой насос, аккумуляторы электроэнергии и теплоты. Эта установка позволяет уменьшить себестоимость тепловой 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, двухконтурная солнечная установка, тепловой контур, возобновляемые источники.

Selikhov Yu.A., Kotsarenko V.A., Gorbunov K.A.

INTEGRATION OF THE HEAT EXCHANGE PROCESS OF POWER PLANT

Renewable energy sources (RES) 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. The main motive for the accelerated development of renewable energy in Europe, the United States and many other countries is concern for energy independence and environmental safety. Thus, the EU has 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 and diversity. In the list of tasks arising in the implementation of renewable energy (RE) projects (except technological and technical), there are issues of assessing the possibility and efficiency of using RES for energy supply to the regions. At the same time, it should be borne in mind that often the user is interested in comprehensive assessments for various types of energy sources. In specific regions, the most effective can be either the use of hybrid power plants, or the creation of thermal power plants using various types of renewable energy. In connection with the complexity of this problem, as well as the geographic “regionality” of renewable energy, the topic of this article becomes possible and relevant. A heat and power plant is proposed for supplying: electricity, hot water, hot air and heating, in which, together with a wind power generator, a double-circuit solar installation, a heat pump, electricity and heat accumulators are used. This installation allows to reduce the cost of heat energy by reducing material consumption and costs of equipment used, to save fossil fuel; produce electricity and supply the surplus to the state power grid; reduce heat load and environmental pollution.

Keywords: heat energy, fossil fuel, electricity, heat load, environmental pollution, heat pump, double-circuit solar installation, heat circuit, renewable sources.

Стаднік В.Ю., аспірант

ОЦІНКА ФАКТОРІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДИТЯЧИХ МАЙДАНЧИКІВ МЕТОДОМ РАНГОВОЇ КОРЕЛЯЦІЇ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

Ключові слова: рангова кореляція, екологічна безпека, дитячі майданчики, анкетування, урбанізована територія

Стрімкі урбанізаційні процеси та розширення їх масштабів призвели до щільної забудови спальних мікрорайонів великих міст, як наслідок, розміщення дитячих ігрових майданчиків не відповідає вимогам.

Дитячі майданчики, які розміщені поблизу автодоріг або поруч із точковою забудовою знаходяться під впливом надмірного антропогенного навантаження, де відзначається підвищений рівень забруднення повітря та шуму [1–4].

Особлива увага приділяється територіям, де в якості обладнання, або декору (огорожі, клумби, тощо) використовуються відпрацьовані автомобільні шини, які є джерелом хімічного забруднення, в тому числі й канцерогенними речовинами [5].

Надмірне шумове навантаження, пил та хімічні речовини негативно впливають на стан здоров'я населення, особливо дитячого. Забруднення, спричинені рухом транспортних засобів впливають на органи слуху, дихання, серцево-судинної системи, нервової системи та інших органів та систем [6–12].

В межах дослідження було визначено 15 критеріїв, які безпосередньо впливають на стан екологічної безпеки дитячих майданчиків. Необхідно визначити, які критерії мають найбільший вплив, а які є незначними.

Для вирішення поставленого завдання було використано метод рангової кореляції, основна мета якого – оцінка зв'язку між упорядкованими об'єктами дослідження. Було залучено 50 експертів у галузі екологічної безпеки та містобудування, серед яких наукові співробітники, представники Департаменту екології та природних ресурсів, а також Департаменту містобудування та архітектури.

Розроблену анкету (таблиця 1) було надано експертам. Оцінка факторів визначалася за 15-ти бальною шкалою, оцінка 15 відповідає найважливішому фактору, 1 – найменш важливому.

Середнє значення ранжованого ряду експертів a_n і загальне середнє значення таблиці рангів a було розраховано за формулами 1 та 2:

$$a_n = \frac{n+1}{2}; \quad (1)$$

$$a = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (n+1), \quad (2)$$

де n – кількість об'єктів дослідження, $n = 15$; m – кількість експертів, $m = 50$.

В даному випадку загальне середнє значення таблиці рангів $a = 400$.

Таблиця 1 – Анкета для експертної оцінки факторів екологічної безпеки дитячих майданчиків

№	Фактори впливу на екологічну безпеку дитячих майданчиків
1	Наявність зелених насаджень на дитячому майданчику (ДМ) та їх кількість
2	Шумове забруднення
3	Будівництво (точкова забудова) в радіусі 100 м від ДМ
4	Наявність колій трамваю поблизу дитячого майданчика (ДМ)
5	Використання на ДМ відпрацьованих автомобільних шин
6	Відстань до стихійної автостоянки
7	Наявність світлофорів в радіусі 15 метрів, на яких машини затримуються на холостому ході більше ніж на 30 секунд
8	Тип покриття на прилеглих автошляхах (асфальт, ґрунт, бруківка та ін.)
9	Стан якості дорожнього покриття навколо ДМ та на самому майданчику
10	Здатність зелених насаджень поглинати/затримувати забруднюючі речовини
11	Інтенсивність руху транспорту поблизу ДМ
12	Відстань від автодороги до ДМ
13	Відповідність якості піску згідно санітарних норм
14	Відстань до сміттєзбірника
15	Пилове забруднення атмосферного повітря

Було розраховано квадрати відхилень сумарних рангів від загального середнього d_j^2 і суму квадратів відхилень $S(d_j^2)$ за формулами 3 та 4:

$$d_j^2 = \left(\sum_{i=1}^m a_{ij} - a \right)^2; \quad (3)$$

$$S(d_j^2) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m a_{ij} - a \right)^2 = 35738. \quad (4)$$

У таблиці 2 представлені результати розрахунків.

$$S(d_j^2)_{\max} = \frac{1}{12} \cdot m^2 \cdot (n^3 - n) = 700000. \quad (5)$$

Коефіцієнт конкордації W_p розраховується згідно (6):

$$W_p = \frac{S(d_j^2)}{S(d_j^2)_{\max}} = 0,0511. \quad (6)$$

$W = 0.0511$ говорить про наявність слабого ступеня узгодженості думок експертів.

Таблиця 2 – Результати дослідження

	Ранги														
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅
d_j	417	429	388	386	387	400	360	350	320	411	467	496	372	342	475
d_j	17	29	-12	-14	-13	0	-40	-50	-80	11	67	96	28	58	75
d_j^2	289	841	144	196	169	0	1600	2500	6400	121	4489	9216	784	3364	5625

Для оцінки значущості коефіцієнта конкордації обчислено критерій узгодження Пірсона за рівнянням (7):

$$\chi_p^2 = m \cdot (n-1) \cdot W_p = 35,74. \quad (7)$$

Обчислений χ^2 порівняно з табличним значенням для числа ступенів свободи $K = n-1 = 15 - 1 = 14$ і при заданому рівні значущості $\alpha = 0,05$. Так як χ^2 розрахунковий $35,74 \geq$ табличного (23,68479), то $W_p = 0,0511$ – величина не випадкова, а тому отримані результати мають сенс і можуть використовуватися в подальших дослідженнях.

Після побудови гістограми (рисунк 1) всі фактори можна умовно розбити на чотири групи.

До першої групи належать найбільш значущі фактори, в даному випадку це відстань від автодороги до майданчика та інтенсивність руху транспорту, а також пилове забруднення атмосферного повітря.

До другої групи належать істотно значимі фактори. До цієї групи потрапили такі фактори як: шумове забруднення, наявність зелених насаджень на ДМ та їх кількість, відстань до стихійної автостоянки та здатність зелених насаджень поглинати або затримувати забруднюючі речовини. Дані фактори менш значущі в порівнянні з першим фактором, однак, при цьому їх вплив досить істотний.

Фактори третьої групи мають менш значущий вплив порівняно з факторами перших двох груп, тим не менш ними не можна знехтувати. До них експерти віднесли точкову забудову в радіусі 100 м, використання на ДМ відпрацьованих автомобільних шин в якості декору або обладнання, наявність колій трамваю поблизу дитячого майданчика, відповідність якості піску санітарним нормам та наявність світлофорів в радіусі 15 метрів, на яких машини затримуються на холостому ході більше ніж на 30 секунд.

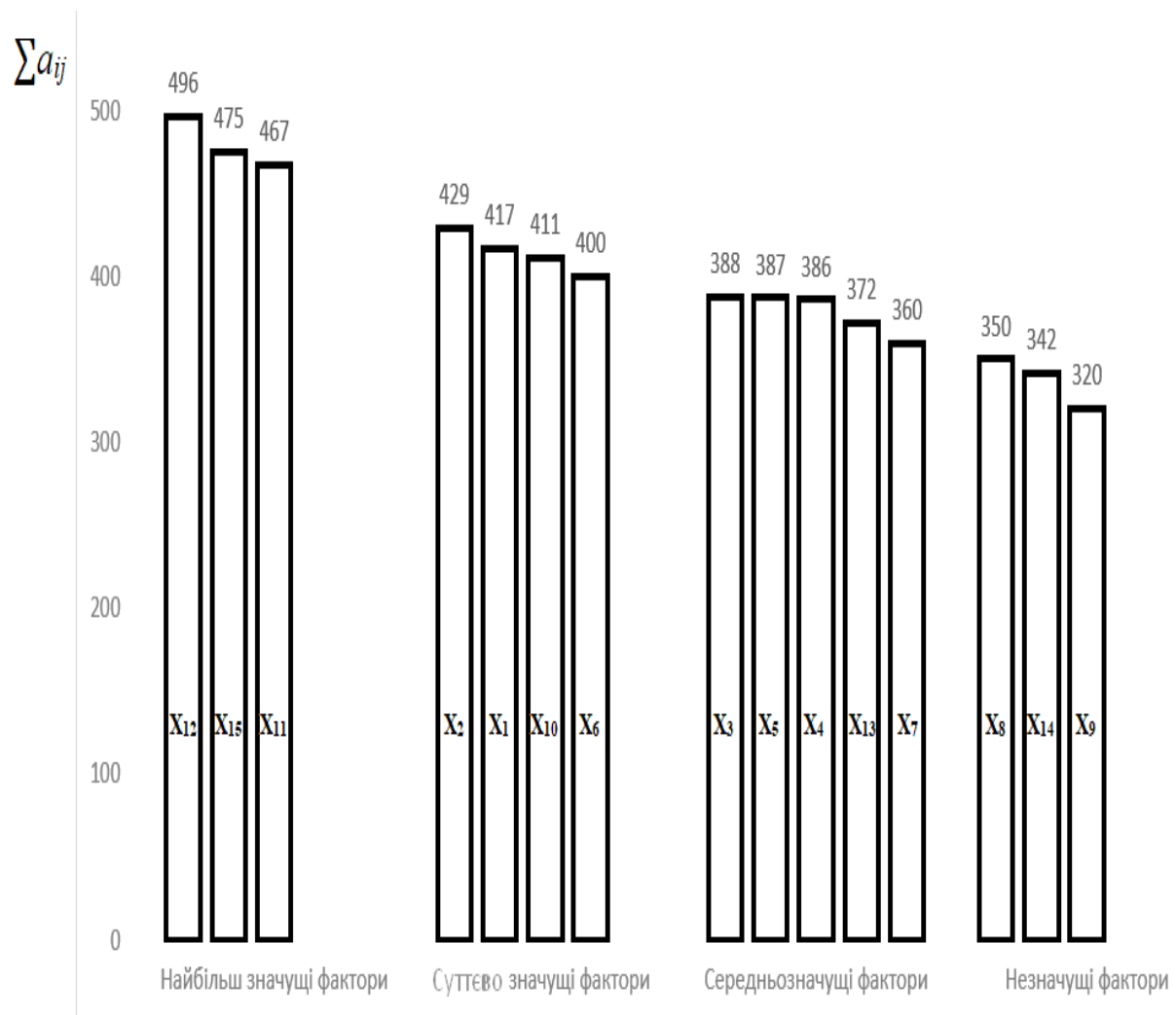


Рисунок 1 – Ранжування факторів за результатом дослідження

До незначущих факторів експерти віднесли тип покриття на прилеглих автошляхах, стан якості дорожнього покриття навколо та на самому майданчику та відстань до сміттєзбірника.

Висновок. В межах дослідження було проведено оцінку факторів екологічної безпеки дитячих майданчиків урбанізованих територій. Було використано метод рангової кореляції з залученням 50-ти експертів у галузі містобудування та екологічної безпеки урбанізованих територій. Результатами дослідження було підтверджено, що саме відстань від автодороги та інтенсивність руху транспортних засобів, а також запиленість повітря мають найбільший вплив на екологічну безпеку дитячих майданчиків, тому для уникнення негативного впливу на стан здоров'я дітей, які проводять час на дитячих майданчиках, необхідно розробити комплекс заходів для усунення або зменшення впливу даних факторів. Отримані результати можуть бути використані у подальших дослідженнях.

Література

1. Стаднік В.Ю., Тихомирова Т.С. Оцінка стану атмосферного повітря на дитячих майданчиках міста Харків методом ліхеноіндикації // Topical issues of the development of modern science. Abstracts of the 6th International scientific and practical conference. Publishing House "ACCENT". Sofia, Bulgaria. 2020. Pp. 841–846.
2. Стаднік В.Ю., Тихомирова Т.С. Шумове навантаження на дитячих майданчиках міста Харків // Молодий вчений. 2017. № 10 (50). С. 24–27.
3. Стаднік В.Ю., Тихомирова Т.С. Аналіз шумового забруднення дитячих майданчиків Шевченківського району в м. Харків // Збірник матеріалів X Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів з міжнародною участю «Проблеми формування здорового способу життя у молоді» / Міністерство освіти і науки України. – Одеса: 2017. С. 268–269.
4. Стаднік В.Ю. Оцінка екологічної безпеки дитячих майданчиків як елементів урбанізованих територій / Стаднік В.Ю., Тихомирова Т.С. // Суспільство, довкілля і зміна клімату : матеріали 3-ої молодіжної наукової конференції, Київ, 22–23 березня 2019 р. / [відп. за вип. В. І. Карамушка] ; Нац. ун-т "Києво-Могилянська академія", Ф-т природничих наук, Каф. екології. – Київ : [Логос], 2019. – С. 129–131.
5. Стаднік В.Ю., Тихомирова Т.С. Вплив канцерогенних речовин на безпеку життєдіяльності молоді // Збірник матеріалів XII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів з міжнародною участю «Проблеми формування здорового способу життя у молоді» / Міністерство освіти і науки України. – Одеса: ФОП Бондаренко М.О., 2019. С. 280–281.
6. Лежнин В.Л., Коньшина Л.Г., Сергеева М.В. Оценка риска для здоровья детского населения, обусловленного загрязнением атмосферного воздуха выбросами автотранспорта, на примере г.Салехарда // Гигиена и санитария. 2014. № 93 (1). С. 83–86.
7. Стаднік В. Ю. Аналіз впливу автомобільного транспорту на здоров'я населення / В. Ю. Стаднік, Т. С. Тихомирова // XIII Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів : матеріали конф., 19-22 листопада 2019 р. / ред. Є. І. Сокол ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т" [та ін.]. – Харків : НТУ "ХПІ", 2019. – С. 523.
8. Амиров А.Н., Сайфуллина Ф.Р., Зайнутдинова И.И. Распространённость заболеваний органа зрения среди детского населения, проживающего в экологически неблагоприятных районах // Казанский медицинский журнал. 2013. Т. 94, №1. С. 22–25.
9. Унгурияну Т.Н. Загрязнение атмосферного воздуха и болезни органов дыхания у населения Новодвинска / Т.Н. Унгурияну // Гигиена и санитария. 2007. № 6. С. 28–30.
10. Сетко А.Г. Медицина окружающей среды и санитарно-гигиенический мониторинг на урбанизированных и сельских территориях / А.Г. Сетко, В.М. Боев // Гигиена и санитария. – 2006. – № 1. – С. 20–22.
11. Денисова Е.Л. Влияние факторов среды обитания на состояние здоровья населения (на примере г. Орехово-Зуево) / Е.Л. Денисова, А.И. Горшков, Н.П. Ляхова // Гигиена и санитария. – 2005. – № 1. – С. 6–8.

12. Актуальные проблемы комплексной гигиенической характеристики факторов городской среды и их воздействия на здоровье населения / Ю.А. Рахманин [и др.] // Гигиена и санитария. – 2007. – № 5. – С. 5–7.

Bibliography (transliterated)

1. Stadnik V.Yu., Tykhomyrova T.S. Otsenka stanu atmosferного povitrya na dityachih maydanchikah mista Kharkiv metodom lichenoidikatsii // Topical issues of the development of modern science. Abstracts of the 6th International scientific and practical conference. Publishing House "ACCENT". Sofia, Bulgaria. 2020. Pp. 841–846.

2. Stadnik V.Yu., Tykhomyrova T.S. Shumove navantazhennya na dityachih maydanchikah mista Kharkiv // Molodiy vcheniy. 2017. № 10 (50). Pp. 24–27.

3. Stadnik V.Yu., Tykhomyrova T.S. Analiz shumovogo zabrudnennya dityachih maydanchikiv Shevchenkivskogo rayonu v m. Kharkiv // Zbirnyk materialiv X Vseukrainskoi naukovo-praktichnoi konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv z mizhnarodnoyu uchastyu «Problemy formuvannya zdorovogo sposobu zhittya u molodi» / Ministrerstvo osvity i nauky Ukrainy. – Odesa: 2017. Pp. 268–269.

4. Stadnik V.Yu. Otsinka ekologichnoi bezpeki dityachih maydanchikiv yak elementiv urbanizovanykh teritoriy / Stadnik V.Yu., Tykhomyrova T.S. // Suspilstvo, dovkiya i zmina klimatu : materialiy 3-oi molodizhnoi naukovo konferentsii, Kyiv, 22-23 bereznya 2019 r. / [vIdp. za vip. V.I. Karamushka] ; Nats. un-t "Kievo-Mogilyanska akademiya", F-t prirodnichih nauk, Kaf. ekologii. – Kyiv : [Logos], 2019. – Pp. 129–131.

5. Stadnik V.Yu., Tykhomyrova T.S. Vplyv kantserogenykh rechovykh na bezpeku zhittediyalnosti molodykh // Zbirnyk materialiv XII Vseukrainskoi naukovo-praktichnoi konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv z mizhnarodnoyu uchastyu «Problemy formuvannya zdorovogo sposobu zhittya u molodi» / Ministrerstvo osvity i nauky Ukrainy. – Odesa: FOP Bondarenko M.O., 2019. Pp. 280–281.

6. Lezhnin V.L., Konshina L.G., Sergeeva M.V. Otsenka riska dlya zdorovya detskogo naseleniya, obuslovlennogo zagryazneniem atmosferного vozduha vyibrosami avtotransporta, na primere g.Saleharda // Gigiena i sanitariya. 2014. № 93 (1). P 83–86.

7. Stadnik V.Yu. Analiz vplivu avtomobilnogo transportu na zdorov'ya naselennya / V.Yu. Stadnik, T.S. Tykhomyrova // XIII Mizhnarodna naukovo-praktichna konferentsiya magistrantiv ta aspirantiv : materialy konf., 19-22 listopada 2019 r. / red. E.I. Sokol ; Nats. tehn. un-t "Kharkiv. politekhn. In-t" [ta In.]. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2019. – P. 523.

8. Amirov A.N., Sayfullina F.R., Zaynutdinova I.I. Rasprostranennost zabolevaniy organa zreniya sredi detskogo naseleniya, prozhivayuschego v ekologicheski neblagopriyatnykh rayonah // Kazanskiy meditsinskiy zhurnal. 2013. T. 94, №1. Pp. 22–25.

9. Unguryanu T.N. Zagryaznenie atmosferного vozduha i bolezni organov dyihaniya u naseleniya Novodvinska / T.N. Unguryanu // Gigiena i sanitariya. 2007. № 6. Pp. 28–30.

10. Setko A.G. Meditsina okruzhayuschey sredy i sanitarno-gigienicheskii monitoring na urbanizirovannykh i selskikh territoriyah / A.G. Setko, V.M. Boev // Gigiena i sanitariya. – 2006. – № 1. – Pp. 20–22.

11. Denisova E.L. Vliyanie faktorov sredy obitaniya na sostoyanie zdorovya naseleniya (na primere g. Orekhovo-Zuevo) / E.L. Denisova, A.I. Gorshkov, N.P. Lyahova // *Gigiena i sanitariya*. – 2005. – № 1. – Pp. 6–8.

12. Aktualnyie problemyi kompleksnoy gigienicheskoy harakteristiki faktorov gorodskoy sredy i ih vozdeystviya na zdorove naseleniya / Yu.A. Rahmanin [i dr.] // *Gigiena i sanitariya*. – 2007. – № 5. – Pp. 5–7.

УДК 504.05/.06

Стаднік В.Ю., аспірант

ОЦІНКА ФАКТОРІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДИТЯЧИХ МАЙДАНЧИКІВ МЕТОДОМ РАНГОВОЇ КОРЕЛЯЦІЇ

Процес швидкого розвитку сучасних міст призвів до того, що значна кількість дитячих майданчиків знаходиться на обмеженій території, поблизу автодоріг з інтенсивним рухом транспортних засобів (в тому числі з трамвайними коліями), поруч з місцями для короткочасних стоянок автомобілів та сміттєзбірниками. Окрема увага приділяється стихійним стоянкам, які утворюються через недостатню кількість спеціально призначених паркувальних місць. Крім того, у спальних районах мегаполісів спостерігається точкова забудова, яка є додатковим джерелом шуму та пилу. Таким чином, значна кількість дитячих майданчиків знаходиться на території з надмірним антропогенним навантаженням.

Матеріали, що викладені у статті дають характеристику сучасному стану дитячих майданчиків більшості великих міст України. Особлива увага приділяється чинникам, які пов'язані з рухом транспортних засобів, тобто шумове забруднення, запиленість повітря та викиди забруднюючих речовин.

На першому етапі було визначено перелік факторів, які впливають на екологічну безпеку дитячих майданчиків урбанізованих територій та проведено їх аналіз.

Наступний етап включає розробку анкети та безпосередньо оцінка факторів впливу залученими експертами. У роботі розглядаються фактори, які досить рідко враховуються при дослідженні впливу окремих антропогенних чинників навколишнього середовища на здоров'я населення, тим не менш, у сучасних умовах ними не можна знехтувати.

Завершальний етап складається з обробки даних та формування висновків. Використовуючи метод рангової кореляції, визначено основні фактори впливу на об'єкти досліджень.

Викладені у статті результати дослідження можуть бути використані при подальшому вивченні теми та при розробці методів усунення впливу найбільш значущих факторів, які впливають на екологічну безпеку дитячих майданчиків.

Ключові слова: рангова кореляція, екологічна безпека, дитячі майданчики, анкетування, урбанізована територія

Стадник В.Ю., аспірант

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЕТСКИХ ПЛОЩАДОК МЕТОДОМ РАНГОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ

Процесс быстрого развития современных городов привел к тому, что значительное количество детских площадок находится на ограниченной территории, вблизи автодорог с интенсивным движением транспортных средств (в том числе с трамвайными путями), рядом с местами для кратковременных стоянок автомобилей и мусоросборниками. Особое внимание уделяется стихийным стоянкам, которые образуются из-за недостатка специально предназначенных парковочных мест. Кроме того, в спальных районах мегаполисов наблюдается точечная застройка, которая является дополнительным источником шума и пыли. Таким образом, значительное количество детских площадок находится и территории с чрезмерной антропогенной нагрузкой.

Материалы, изложенные в статье дают характеристику современному состоянию детских площадок большинства крупных городов Украины. Особое внимание уделяется факторам, которые связаны с движением транспортных средств, то есть шумовое загрязнение, запыленность воздуха и выбросы загрязняющих веществ.

На первом этапе был определен перечень факторов, влияющих на экологическую безопасность детских площадок урбанизированных территорий и проведен их анализ.

Следующий этап включает разработку анкеты и непосредственно оценку факторов влияния привлеченными экспертами. В работе рассматриваются факторы, которые достаточно редко учитываются при исследовании влияния отдельных антропогенных факторов окружающей среды на здоровье населения, тем не менее, в современных условиях ими нельзя пренебречь.

Завершающий этап состоит из обработки данных и формирования выводов. Используя метод ранговой корреляции, определены основные факторы влияния на объекты исследований.

Изложенные в статье результаты исследования могут быть использованы при дальнейшем изучении темы и при разработке методов устранения влияния наиболее значимых факторов, влияющих на экологическую безопасность детских площадок.

Ключевые слова: ранговая корреляция, экологическая безопасность, детские площадки, анкетирование, урбанистическая территория

Stadnik V. Yu.

ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL SAFETY FACTORS OF PLAY- GROUNDS USING THE RANK CORRELATION METHOD

The process of rapid development in modern cities has led to a significant number of playgrounds being located in confined areas, near roads with heavy vehicle traffic (including tram tracks), next to short-term parking spaces and refuse containers. Particular attention is paid to unauthorised parking which is caused by a lack of designated parking spaces. In addi-

tion, in residential areas of modern megacities there is a lot of infill development, which is an additional source of noise and dust. Thus, a significant number of playgrounds are located in areas with excessive anthropogenic load.

The materials presented in the article describe the current condition of playgrounds in most big cities of Ukraine. Particular importance is attached to the factors which are connected with vehicle traffic, for example noise pollution, air dustiness and pollutant emissions.

At the first stage, a list of factors affecting the environmental safety of children's playgrounds in urbanised areas was compiled and analysed.

The next stage involves the development of a questionnaire and the direct assessment of the influencing factors by the experts involved. The article considers the factors that are rarely considered in the study of the impact of individual anthropogenic factors of the environment on public health, however, in modern conditions they cannot be neglected.

The final stage consists of data processing and formation of conclusions. Using the method of rank correlation, the main factors of influence on the objects of research are identified.

The results of the research stated in the article can be used in further study of the subject and in the development of methods to eliminate the influence of the most significant factors affecting the ecological safety of children's playgrounds.

Keywords: rank correlation, environmental safety, children's playgrounds, questionnaire, urban area

«ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ»

Щоквартальний науково-практичний журнал

Редколегією до опублікування приймаються статті, написані **державною мовою**, за наступними науковими напрямками:

- ✓ *енергетика та енергозбереження; енерготехнологія енергоємних галузей промисловості; нетрадиційна енергетика; ресурсозбереження; енергетика та навколишнє середовище;*
 - ✓ *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 (210x297 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** друкується 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. Згідно вимогам МОН України кількість літературних джерел повинна бути не менш за 12.
- далі розміщується транслітерація списку літератури;
- у кінці статті на трьох мовах (українська, російська та англійська) повинні бути надруковані УДК, автори, назва і анотація. Мінімальна кількість символів кожної анотації – 1800 знаків.

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

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ
Україна, 61002,
Харків-2, вул. Кирпичова, 2,
НТУ «ХПІ», редколегія журналу
«Інтегровані технології та енергозбереження»,
технічний редактор: к.техн.н.,
професор Горбунов К.О.
Тел. (057) 707-69-58.
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

Наукове видання

Щоквартальний науково-практичний журнал

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

2'2021

Технічний редактор *К. О. Горбунов*

Підп. до друку 02.04.2020 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. № 170. Ціна договірна.

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

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