

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

XVII Міжнародної наукової конференції
**«УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І
ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ТА
ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»**

3-8 вересня 2018 р.



**ОДЕСА
2018**

Публікуються доповіді, представлені на XVII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (3 – 8 вересня 2018 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

Редакційна колегія:

Доктор техн. наук, професор
Кандидат техн. наук

О.Г. Бурдо
Ю.О. Левтринська

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

Єгоров <i>Богдан Вікторович</i>	– голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор
Бурдо <i>Олег Григорович</i>	– вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор
Атаманюк <i>Володимир Михайлович</i>	– Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор
Васильєв <i>Леонард Леонідович</i>	– Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н., професор
Гавва <i>Олександр Миколайович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Гумницький <i>Ярослав Михайлович</i>	– Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор
Долинський <i>Анатолій Андрійович</i>	– Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАН України
Зав’ялов <i>Владимир Леонідович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Сукманов <i>Валерій Олександрович</i>	– Полтавський університет економіки і торгівлі, д.т.н., професор
Колтун <i>Павло Семенович</i>	– Technident Pty. Ltd., Australia, Dr.
Корнієнко <i>Ярослав Микитович</i>	– Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
Малежик <i>Іван Федорович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Михайлов <i>Валерій Михайлович</i>	– Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н., професор
Паламарчук <i>Ігор Павлович</i>	– Національний університет біоресурсів та природокористування України, д.т.н., професор
Снежкін <i>Юрій Федорович</i>	– Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., академік НАН України
Сорока <i>Петро Гнатович</i>	– Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор
Тасімов <i>Юрій Миколайович</i>	– Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України
Товажнянський <i>Леонід Леонідович</i>	– Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України
Ткаченко <i>Станіслав Йосифович</i>	– Вінницький національний технічний університет, г. Вінниця, д.т.н., професор
Черевко <i>Олександр Іванович</i>	– Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н., професор
Шит <i>Михайл Львович</i>	– Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с.
Сухий <i>Константин Михайлович</i>	– ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», д. хім. н., професор

СЕКЦІЯ 3.

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.
РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТА ЕКОЛОГІЧНО-БЕЗПЕЧНІ
ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ**

УДК 662.995 : 662.997

КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ АДСОРБЦІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ГЕЛІОУСТАНОВОК

Беляновська О.А.¹, канд. техн. наук, доцент,

Пустовой Г.М.¹, студент,

Суша І.В.¹, канд. техн. наук, доцент

Губинський М.В.², д-р техн. наук, професор

Литовченко Р.Д.¹, аспірант,

Сухий К.М.¹, д-р техн. наук, професор,

¹ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»,
м. Дніпро

²Національна металургійна академія України, м. Дніпро

COMPOSITE MATERIALS FOR ADSORPTIVE SOLAR CHILLING DEVICES

Belyanovskaya E.A.¹, PhD, docent,

Pustovoy G.M.¹, student,

Sukha I.V.¹ PhD, docent,

Gubinskiy M.V.², SciD, Prof.

Lytovchenko R.D.¹, postgraduate student,

Sukhyi K.M.¹, SciD, Prof.

¹State Higher Education Institution «Ukrainian State University of Chemical Engineering»,
Dnipro, Ukraine

²National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

Анотація. Досліджено процеси експлуатації адсорбційної холодильної геліоустановки на основі композитних адсорбентів «силікагель – натрій сульфат». Отримала подальший розвиток методика розрахунку адсорбційного сонячного холодильника, яка включає встановлення кількості тепла, яке необхідно відібрати з холодильної камери, розрахунок мас робочої рідини та адсорбенту, кількості теплоти, яку необхідно затратити на регенерацію адсорбенту, а також визначення холодильного коефіцієнта. Проаналізовано робочий цикл сонячного адсорбційного холодильника. Встановлено основні фактори, які впливають на холодильний коефіцієнт циклу адсорбційної холодильної геліоустановки на основі композиту «силікагель – натрій сульфат». Виявлено кореляцію між складом адсорбенту та холодильним коефіцієнтом установки. Показано зростання холодильного коефіцієнту при зростанні вмісту натрій сульфату в композиті. Підтверджено вплив режиму процесу регенерації композита на холодильний коефіцієнт установки. Показано зростання величини холодильного коефіцієнту при зниженні різниці температур адсорбенту та температури регенерації. Визначено, що максимальні значення холодильного коефіцієнта 1,11 відповідають різниці між температурою адсорбенту та температурою регенерації, яка дорівнює 65°C, для композитів, які містять близько 20 мас. % силікагелю та 80 мас. % натрій сульфату.

Ключеві слова: адсорбційний холодильник, композитний адсорбент, холодильний коефіцієнт.

Abstract. The processes of exploitation of adsorptive solar chilling device on the basis of composite adsorbents 'silica gel - sodium sulphate' were studied. The method for calculating the adsorptive solar chiller, which includes the determination of the amount of heat to be taken from the refrigeration chamber, the calculation of the mass of the working fluid, the mass of an adsorbent, the amount of heat required for the regeneration of the adsorbent, as well as the determination of the coefficient of energy performance, has been further developed. The main factors affect the coefficient of energy performance of the cycle of solar adsorptive chilling device based on the composites 'silica gel - sodium sulfate' were stated. The correlation between the composition of the adsorbent and the coefficient of energy performance of the device was revealed. The growth rate of the coefficient of energy performance is increased with raising sodium sulfate content in the composite. Effect of the regeneration process parameters of the composite on the coefficient of energy performance of the adsorptive chiller was stated. The growth of the refrigeration coefficient is shown with decreasing the difference between adsorbent temperature and regeneration temperature. It has been determined that the maximum values of the coefficient of energy performance of studied solar adsorptive chiller about of 1.11 correspond to the difference between the adsorbent temperature and the regeneration temperature of 65 °C for composites containing about 20 wt. % silica gel and 80 wt% % sodium sulphate.

Key words: adsorptive chiller, composite adsorbent, coefficient of energy performance.

Одна з ключових проблем зберігання сільськогосподарської продукції полягає в дотриманні температурного режиму зберігання, особливо в літній період, коли експлуатація традиційно застосовуваних парових компресійних холодильних установок вимагає значних витрат електричної енергії, і отже викопних палив та ускладнює утилізацію теплової енергії. Альтернативою подібним системам є адсорбційні холодильні геліоустановки, так звані сонячні адсорбційні холодильники. Дані пристрої включають сонячний колектор, адсорбер, конденсатор і розміщений біля холодильної камери випарник.

Робота адсорбційного холодильника зазвичай здійснюється в два етапи. Перший – адсорбція та випаровування хладагенту, за рахунок якого відбувається зменшення температури в холодильній камері. Другий – регенерація адсорбенту, тобто десорбція та конденсація хладагенту. При цьому адсорбент нагрівають до температури регенерації зовнішніми джерелами. В якості хладагентів використовують воду [1], аміак [2], метанол [3, 4], та інші речовини [5, 6]. В якості адсорбентів – активоване вугілля [7, 8], силікагель [8], цеоліт [9], солі $MnCl_2$, NH_4Cl [10], $NaBr$, $BaCl_2$ [10, 11], та композитні матеріали $BaCl_2$ /вермікуліт [12], $CaCl_2$ /вспінений графіт [13], $LiNO_3$ /вермікуліт [14], $CaCl_2/SiO_2$ і $LiBr/SiO_2$ [15], $LiCl$ /силікагель [16].

Одними з ключових факторів, які впливають на експлуатаційні характеристики адсорбційних холодильників, є властивості використовуваних адсорбентів.

Мета представленої роботи – вивчення кореляції експлуатаційних характеристик адсорбційних холодильних геліоустановок властивостей композитів «силікагель – натрій сульфат», синтезованого золь – гель методом. Для досягнення цієї мети поставлено наступні задачі:

- вивчення впливу характеристик адсорбенту на холодильний коефіцієнт установки;
- визначення оптимальний склад адсорбенту, при яких холодильний коефіцієнт установки максимален;
- встановлення кореляції між режимом процесу регенерації та холодильним коефіцієнтом.

Методика експерименту

Основними конструктивними елементами адсорбційного холодильника [17], згідно з рис.1, є адсорбер (1), конденсатор (5) і розміщений біля холодильної камери (6) випарник (4). На лицьовій стороні адсорбера встановлено прозорий стільниковий полікарбонатний пластик САН (товщиною 8 мм) з інтегральним коефіцієнтом пропускання на рівні 0,88, а в нижній частині розташовано композитний адсорбент «силікагель – натрій сульфат», який синтезовано згідно [18]. Холодильна камера об'ємом 3 м^3 виготовлена зі сталі марки 30Х товщиною 0,5 мм. В якості теплоізоляції використано пінополістирол.

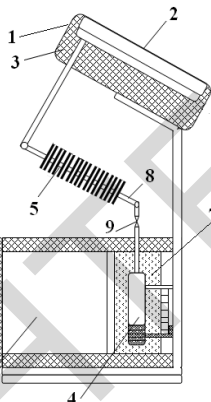


Рис. 1. Адсорбційний холодильник: 1 – адсорбер; 2 – прозора ізоляція; 3 – адсорбційний матеріал; 4 – випарник; 5 – конденсатор; 6 – холодильна камера; 7 – водяний акумулятор холоду; 8 – труба; 9 – кран [17].

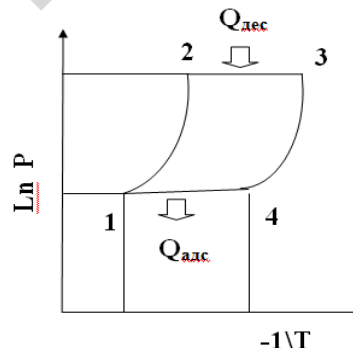


Рис. 2. Робочий цикл адсорбційного холодильника [19]

Адсорбційний холодильник працює згідно з термодинамічним циклом, який зображено на рис. 2 [19].

Отримання холоду, тобто адсорбцію та випаровування води, зображує лінія 3 – 4 – 1, а регенерація адсорбенту, що супроводжується десорбцією та конденсацією води – 1 – 2 – 3.

Робота здійснюється в два етапи. Перший етап – отримання холоду. Відкривають кран (9). Пари води починають дифундувати через конденсатор до адсорбера. За рахунок адсорбції води адсорбційним матеріалом відбувається її випаровування у випарнику (4), що створює холодильний ефект в холодильній камері (6). Оскільки в стінках холодильника міститься великий об'єм води, холод в камері (6) підтримується на рівні $5 - 10 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом 10 – 20 годин, до наступного циклу.

При поглинанні води адсорбційним матеріалом (3) температура в адсорбері (1) істотно підвищується за рахунок виділення теплоти адсорбції. Для відбору цієї теплоти по змійовику (2) пускають холодну воду.

Нагріта вода подається споживачу в систему гарячого водопостачання або опалювання або використовується для регенерації адсорбційного матеріалу на другому етапі роботи холодильника.

Другий етап – регенерація адсорбенту. Закривають кран 9. Нагрівають адсорбційний матеріал (3), використовуючи сонячну енергію. Вода збирається в конденсаторі (5) далі зливається у випарник (4) і починається процес отримання холоду.

Розрахунок кількості тепла, яке необхідно відібрати з холодильної камери протягом доби, проводили відповідно [19] як суму тепла, що йде на охолодження самої камери та внесених продуктів та на покриття теплових втрат як самої камери так і при відкритті камери при внесенні продуктів:

$$Q_1 = C \cdot m \cdot \Delta T + C_{\text{п}} \cdot m_{\text{п}} \cdot \Delta T + \sum Q_z, \text{кДж} \quad (1)$$

де C – теплоємність елементів конструкції, $\text{кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$; $C_{\text{п}}$ – теплоємність продуктів внесених в холодильну камеру, $\text{кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$; ΔT – різниця температури навколишнього середовища та середньодобової температури в холодильній камері, $^\circ\text{C}$; m , $m_{\text{п}}$ – маса холодильником камери та внесених продуктів відповідно, кг ; $\sum Q_z$ – сума теплопритоків до камери в результаті теплопередачі через її стінки, підлогу та стелю, від інфільтрації зовнішнього повітря при відкритті камери та навантажень від освітлення, кДж .

Теплопритоки до камери шляхом теплопередачі протягом доби визначали згідно [20], як добуток теплового навантаження при теплопередачі через стінки, підлогу та стелю камери та періоду експлуатації:

$$Q_{\text{ст}} = K \cdot F \cdot \Delta t \cdot \tau \quad (2)$$

де K – коефіцієнт теплопередачі $\text{кВт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, F – площа поверхні стін, підлоги та стелі, м^2 ; Δt – різниця температур повітря по обидві сторони стіни, $^\circ\text{C}$; τ – період експлуатації протягом доби, с .

Теплопритоки до камери внаслідок відкриття дверей протягом доби розраховували згідно [20], як добуток теплового навантаження та тривалості відкриття дверей протягом доби:

$$Q_{\text{инф}} = q \cdot D_{\tau} \cdot D_f \cdot (1 - E) \cdot \tau_b \quad (3)$$

де q – сумарне добове теплове навантаження на холодильну камеру для повітряного потоку, який повністю встановився зі врахуванням різниці густин, тепловмісту та вологовмісту внутрішнього на зовнішнього повітря, а також розмірів дверного отвору, кВт ; D_{τ} – коефіцієнт, що враховує час, коли протягом доби двері відчинено; D_f – коефіцієнт, що враховує характер повітряного потоку в дверному отворі; E – ступінь ефективності захисного пристрою дверного отвору; τ_b – час, коли протягом доби двері відчинено, с .

Теплові притоки внаслідок роботи освітлювальних приладів визначали, як добуток кількості світильників, потужності світильника та періоду роботи протягом доби [20].

Відбір тепла з холодильної камери здійснюється за рахунок випаровування води у випарнику. Кількість тепла, яке відбирається в холодильній камері при випаровуванні води, беручи до уваги теплоту випаровування води може бути розрахована як:

$$Q_2 = \Delta H_{\text{вип}} \cdot m_{\text{в}}, \text{кДж} \quad (4)$$

звідси можна розрахувати масу води ($m_{\text{в}}$, кг) для забезпечення відбору необхідної кількості теплоти у холодильній камері.

Для компенсації денних коливань погодних умов масу робочої рідини пропонується підвищити на 50 %. Таким чином маса води у випарнику буде складати 0,20 кг .

Виходячи з адсорбційної ємності композиту «силікагель/ Na_2SO_4 » за даними роботи [21], можна розрахувати масу адсорбенту, необхідно розмістити в адсорбері.

Кількість теплоти, яку необхідно затратити на регенерацію адсорбенту можна розрахувати за формулою:

$$Q_3 = m_k \cdot C_k \cdot \Delta T_1 + m_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot \Delta T_1 + m_{\text{в}} \cdot \Delta H_{\text{дес}}, \text{кДж} \quad (5)$$

де ΔT_1 – різниця температури адсорбенту та температури регенерації, $^\circ\text{C}$; $\Delta H_{\text{дес}}$ – теплота десорбції води, кДж/кг ; m_k , $m_{\text{в}}$ – відповідно маса композиту і адсорбованої води, кг ; C_k , $C_{\text{в}}$ – теплоємність композиту та води відповідно, $\text{кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$.

Розрахунок холодильного коефіцієнта визначали, як відношення кількості, яке відбирається в холодильній камері при випаровуванні води, та витрати теплоти на регенерацію адсорбенту, тобто:

$$\varepsilon = \frac{Q_1}{Q_3} \quad (6)$$

де ε – холодильний коефіцієнт; Q_1 – кількість теплоти, яку необхідно відібрати від холодильної камери, кДж; Q_3 – кількість теплоти, яку необхідно затратити на регенерацію адсорбенту, кДж.

Обговорення результатів досліджень

Результати проведених розрахунків представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Холодильний коефіцієнт адсорбційного сонячного холодильника на основі композиту «силікагель – натрій сульфат»

Склад адсорбенту, мас. %		Адсорбційна ємність [21], кг/кг	Маса адсорбенту $M_{\text{сорб}}$, кг.	Холодильний коефіцієнт при ΔT_1		
Na_2SO_4	силікагель			$\Delta T_1 = 65^\circ\text{C}$	$\Delta T_1 = 75^\circ\text{C}$	$\Delta T_1 = 85^\circ\text{C}$
80	20	1,349	0,58	1,11	1,09	1,07
60	40	1,060	0,74	1,10	1,08	1,06
40	60	0,771	1,01	1,09	1,07	1,05
20	80	0,482	1,62	1,06	1,04	1,02

Встановлено, що підвищення вмісту натрій сульфату в композиті сприяє, вочевидь, зниженню маси композита, і отже кількості теплоти, яку необхідно витратити на регенерацію адсорбенту. Максимальні значення холодильного коефіцієнта відповідають композитам, які містять, мас. %: силікагель – 20 та натрій сульфат – 80.

На величину кількості теплоти, яка необхідна для регенерації композита Q_3 , і, отже, холодильного коефіцієнта істотно впливає різниця температури адсорбенту та температури регенерації ΔT_1 .

З її зростанням спостерігається монотонне зменшення холодильного коефіцієнта. Максимальні значення ε встановлені при $\Delta T_1 = 65^\circ\text{C}$.

Висновки

Проведено дослідження процесів експлуатації адсорбційної холодильної геліоустановки на основі композитних адсорбентів «силікагель – натрій сульфат». Визначено основні фактори, які впливають на холодильний коефіцієнт циклу.

Показана кореляція між складом адсорбенту та холодильним коефіцієнтом установки. Показано збільшення холодильного коефіцієнту при зростанні вмісту натрій сульфату в композиті. Підтверджено кореляцію режиму процесу регенерації композита та холодильним коефіцієнтом установки. Встановлено зростання величини холодильного коефіцієнту при зменшенні різниці температур адсорбенту та температури регенерації ΔT_1 .

Встановлено, що максимальні значення холодильного коефіцієнта спостерігалися відповідають $\Delta T_1 = 65^\circ\text{C}$ для композитів, які містять близько, мас. %: силікагель – 20 та натрій сульфат – 80.

Представлена робота виконана при частковому держбюджетному фінансуванні (номер держреєстрації НДР 0118U003343).

Література

1. An analysis of the performance of a novel solar silica gel–water adsorption air conditioning / Z.S. Lu, R.Z. Wang, Z.Z. Xia, Q.B. Wu, Y.M. Sun, Z.Y. Chen // Applied Thermal Engineering. – 2011. – V. 31, I.17–18. – P. 3636–3642.
2. Novel ammonia sorbents “porous matrix modified by active salt” for adsorptive heat transformation: 5. Designing the composite adsorbent for ice makers / Alexandra D. Grekova, Janna V. Veselovskaya, Mikhail M. Tokarev, Larisa G. Gordeeva // Applied Thermal Engineering. – 2012. – V. 37. – P. 80-86.
3. Khattab N.M. A novel solar-powered adsorption refrigeration module / N.M. Khattab // Applied Thermal Engineering. – 2004. – V. 24, I. 17–18. – P. 2747–2760.
4. A new zero energy cool chamber with a solar-driven adsorption refrigerator / Md. Parvez Islam, Tetsuo Morimoto // Renewable Energy. – 2014. – V. 72. – P. 367–376.
5. Development and transient performance results of a single stage activated carbon – HFC 134a closed cycle adsorption cooling system / N.D. Banker, M. Prasad, P. Dutta, K. Srinivasan // Applied Thermal Engineering. – 2010. – V.30, I.10. – P. 1126 – 1132.
6. Pressurized adsorption cooling cycles driven by solar/waste heat / Azhar Bin Ismail, Ang Li, Kyaw Thu, Kim Choon Ng, Wongee Chun // Applied Thermal Engineering. – 2014. – V. 67, I. 1–2. – P.106-113.

7. Pressurized adsorption cooling cycles driven by solar/waste heat / Azhar Bin Ismail, Ang Li, Kyaw Thu, Kim Choon Ng, Wongee Chun // *Applied Thermal Engineering*. – 2014. – V. 67, I.1–2. – P. 106 – 113.
8. Study on gradient thermal driven adsorption cycle with freezing and cooling output for food storage / F.P. Song, L.X. Gong, L.W. Wang, R.Z. Wang // *Applied Thermal Engineering*. – 2014. – V. 70, I. 1. – P. 231 – 239.
9. Belal Dawoud A hybrid solar-assisted adsorption cooling unit for vaccine storage / Dawoud Belal // *Renewable Energy*. – 2007. – V.32, I. 6. – P.947 – 964
10. A resorption refrigerator driven by low grade thermal energy / H.S. Bao, R.Z. Wang, L.W. Wang // *Energy Conversion and Management*. – 2011. – V. 52, I. 6. – P. 2339 – 2344.
11. Working pairs for resorption refrigerator / H.S. Bao, R.G. Oliveira, R.Z. Wang, L.W. Wang, Z.W. Ma // *Applied Thermal Engineering*. – 2011. – V. 31, I. 14–15. – P. 3015 – 3021.
12. Isothermal sorption characteristics of the BaCl₂–NH₃ pair in a vermiculite host matrix / Y. Zhong, R.E. Critoph, R.N. Thorpe, Z. Tamainot-Telto, Yu.I. Aristov // *Applied Thermal Engineering*. – 2007. – V. 27, I. 14–15. – P. 2455 – 2462.
13. Experimental study of a novel CaCl₂/expanded graphite–NH₃ adsorption refrigerator / S.L. Li, Z.Z. Xia, J.Y. Wu, J. Li, R.Z. Wang, L.W. Wang // *International Journal of Refrigeration*. – 2010. – V. 33, I. 1. – Pages 61 – 69.
14. Adsorption chilling driven by low temperature heat: New adsorbent and cycle optimization / Alessio Sapienza, Ivan S. Glaznev, Salvatore Santamaria, Angelo Freni, Yuriy I. Aristov // *Applied Thermal Engineering*. – 2012. – V. 32. – P. 141 – 146.
15. Thermal conductivity of selective water sorbents under the working conditions of a sorption chiller / A Freni, M.M Tokarev, G Restuccia, A.G Okunev, Yu.I Aristov // *Applied Thermal Engineering*. – 2002. – V.22, I. 14. – P. 1631 – 1642.
16. Simulation of a solid sorption ice-maker based on the novel composite sorbent “lithium chloride in silica gel pores” / G. Maggio, L.G. Gordeeva, A. Freni, Yu.I. Aristov, G. Santori, F. Polonara, G. Restuccia // *Applied Thermal Engineering*. – 2009. – V. 29, I. 8–9. – P. 1714 – 1720.
17. Пат. 86227 Україна, МПК F 25 В 17/00. Адсорбційний холодильник / Сухий К.М., Сухий М.П., Коломієць О.В. [та ін.]; заявник і патентовласник Державний вищий навчальний заклад “Український державний хіміко-технологічний університет”. – № u 2013 05136; заявл. 22.04.2013 опубл. 25.12.2013, Бюл. №24.
18. Sukhyy Kostyantyn M. Structure and adsorption properties of the composites ‘silica gel – sodium sulphate’, obtained by sole gel method [Text] / Kostyantyn M. Sukhyy, Elena A. Belyanovskaya, Yaroslav N. Kozlov, Elena V. Kolomiyets, Mikhaylo P. Sukhyy // *Applied Thermal Engineering*. – 2014. – Vol. 64. – P. 408–412.
19. Коломієць О.В., Беляновська О.А., Сухий К.М., Прокопенко О.М., Козлов Я.М., Сухий М.П. Основні робочі характеристики сонячного адсорбційного холодильника на основі композитного сорбенту «силікагель/Na₂SO₄» // *Одеська національна академія харчових технологій. Наукові праці*. – 2015. – вип. 47, Т.2. – С. 176 – 181
20. Руководство по расчету теплового баланса холодильных камер и выбору основных проектных параметров холодильных установок. – М.: Остров, 1999. – 56 с.
21. Sukhyy K., Belyanovskaya E., Kovalenko V., Kotok V., Sukhyy M., Kolomiyets E., Gubynskyi M., Yeromin O., Prokopenko O. The study of properties of composite adsorptive materials “silica gel – crystalline hydrate” for heat storage devices // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Vol. 91, № 1. – P. 52 – 58. (DOI: 10.15587/1729-4061.2018.123896)

УДК: 544.723

ЗАСТОСУВАННЯ НВЧ ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ВИЛУЧЕННІ БІЛКІВ ЗІ СТИЧНИХ ВОД ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Сабадаш В.В. канд. техн. наук, доцент
Гумницький Я.М. д-р техн. наук, професор
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

APPLICATION OF MICROWAVE RADIATION ON THE DISCHARGE OF PROTEINS FROM STEEL WATER OF FOOD MANUFACTURERS

V. V. Sabadash, J. M. Gumnitsky
Lviv National Polytechnic University
Lviv, Ukraine

Анотація. В роботі приведено результати досліджень кінетики вилучення білків з модельного розчину, зміни оптичної густини розчинів білка в результаті дії на досліджуваній розчин випромінювання надвисокочастотного діапазону. Процес денатурації розчинів білка, що моделюють стічні води підприємств харчової промисловості, здійснювали під дією НВЧ випромінювання з частотою 2450 Гц. Обробленню піддавали водні дисперсії альбуміну та казеїну з масовою часткою сухих речовин 5% за потужності надвисокочастотного випромінювання 800 Вт. Контроль за процесом денатурації білка здійснювали за зміною оптичної густини досліджуваних розчинів. Експериментальні дослідження показали, що ступінь вилучення альбуміну без застосування інших методів розділення становила 80%, а казеїну 35%. Виведено теоретичну залежність для розрахунку зміни температури досліджуваного об'єкту від потужності генератора електромагнітних хвиль та часу дії на об'єкт випромінювання надвисокочастотного діапазону. В основу розрахунків кінетики нагрівання електролітів у полі дії електромагнітного випромінювання поставлено зв'язок між напруженістю електромагнітного поля, що генерується в резонаторній НВЧ-камері, та потужністю НВЧ-генератора. Експериментальне дослідження кінетики денатурації водних дисперсій білка показало хорошу збіжність експериментальних та розрахункових даних. За допомогою приведеного рівняння можна з достатньою точністю визначати теплофізичні параметри процесу нагрівання вологих об'єктів та розчинів до 100 °С, або для діелектриків з низьким вмістом вологи. Розроблений спосіб обробки стічних вод передбачає введення НВЧ модуля у технологічну схему очищення стічних вод біотехнологічних виробництв. Це дозволить здійснювати знезараження стічних вод та ефективного вилучення білкових сполук шляхом переведення білків у коагульований стан та збільшити ефективність очищення стічних вод.

Ключові слова: стічні води, білок, денатурація, НВЧ – випромінювання, теплообмін

Abstract. The paper presents the results of investigations of the kinetics of protein extraction from the model solution and changes in the optical density of protein solutions as a result of influence of the ultrahigh-frequency radiation on the test solution. The process of denaturation of protein solutions that simulate wastewater from food industry enterprises under the influence of microwave radiation at a frequency of 2450 Hz was carried out. The samples of aqueous dispersions of albumin and casein with a mass fraction of dry matter of 5% were treated of ultrahigh-frequency radiation of the power of 800 W. Control of process of the protein denaturation was carried out by changing the optical density of the investigated samples. Experimental studies have shown that the degree of albumin excretion without application of other methods of separation was 80% and casein 35%. The theoretical dependence for calculating the temperature change of the investigated object from the power of the generator of electromagnetic waves and the time of action on the object of radiation of the ultrahigh-frequency range was derived. The basis of calculations of the kinetics of heating of electrolytes in the field of electromagnetic radiation is the relationship between the intensity of the electromagnetic field generated in the chamber of microwave resonator and the power of the microwave generator. An experimental study of the kinetics of denaturation of aqueous dispersion of the protein showed good correlation of experimental and calculated data. Application of the given equation it is possible to determine with sufficient accuracy the thermophysical parameters of the process of heating the wet objects and solutions to 100°C or for dielectrics with low moisture content. The developed method of treatment of sewage involves the introduction of a microwave module in the technological scheme of sewage treatment of biotechnological industries. This will allow for the disinfection of sewage and the effective removal of protein compounds by converting proteins into a coagulated state and increasing the efficiency of wastewater treatment.

Key words: sewage, protein, denaturation, microwave radiation, heat exchange

МОДЕЛЮВАННЯ РЕАКТОРА НАСИЧЕННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ЦУКАТІВ	
Гузьова І.О., Атаманюк В.М.	78
УНИФИЦІРОВАННИЙ ПОДХОД К МОДЕЛІРОВАНИЮ КАВИТАЦІОННИХ РЕАКТОРОВ	
Иваницкий Г.К., Недбайло А.Е., Коник А.В., Целень Б.Я., Гоженко Л.П.	84
МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У АПАРАТІ З ПНЕВМАТИЧНИМ ПЕРЕМІШУВАННЯМ	
Данилюк О. М., Атаманюк В.М., Гумницький Я.М.	89
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УВАРЮВАННЯ СОКУ ТА ЙОГО ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	
Маяк О.А., Сардаров А.М., Костенко С.М., Гриценко О.Ю., Шершньов Г.Г.	94
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СУШКИ И ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ БИОМАССЫ	
Сороковая Н.Н., Коринчук Д.Н.	99

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ. РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТА ЕКОЛОГІЧНО-БЕЗПЕЧНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ

КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ АДСОРБЦІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ГЕЛПОУСТАНОВОК	
Беляновська О.А., Пустовой Г. М., Суха І.В., Губинський М.В., Литовченко Р.Д., Сухий К.М.	106
ЗАСТОСУВАННЯ НВЧ ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ВИЛУЧЕННІ БІЛКІВ ЗІ СТІЧНИХ ВОД ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ	
Сабадаш В.В., Гумницький Я.М.	111
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ІЗ ТЕПЛОВИМИ НАСОСАМИ	
Пазюк В.М.	116
ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА СОЛНЕЧНОЙ УСТАНОВКИ	
Селихов Ю.А., Коцаренко В.А.	120
ВИКОРИСТАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБАВОК У ПРОЦЕСАХ КОМПОСТУВАННЯ ХАРЧОВОЇ СКЛАДОВОЇ ТВЕРДИХ МУНІЦИПАЛЬНИХ ВІДХОДІВ	
Крусір Г.В., Сагдєєва О.А., Чернишова О.О., Мадані М.М., Гаркович О.Л.	125
ПРО ЗБЕРЕЖЕННЯ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ТА ЗАОЩАДЖЕННЯ РЕСУРСІВ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ТОМАТІВ	
Гаврилов О.В.	131
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РЕЖИМИ РОБОТИ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ КОМПЛЕКСУ ВИРОБНИЦТВА КОМПОЗИЦІЙНОГО БІОПАЛИВА	
Коринчук Д. М., Снєжкін Ю.Ф., Бунецький В. О.	134
ТЕХНОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ УТИЛІЗАЦІЇ-МОДИФІКАЦІЇ ПОЛІМЕРНОЇ ТАРИ ТА ПАКУВАННЯ	
Бухкало С.І.	140
ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ РІЗНОГО ТИПУ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННИХ КОМПЛЕКСІВ	
Ощипок І.М.	143

ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ, ФАРМАЦЕВТИЧНИХ, ХІМІЧНИХ ТА ПАРФУМЕРНИХ ВИРОБНИЦТВ

АНАЛІЗ СИРОВИНИ, ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ХАРЧОВИХ ПОРОШКІВ	
Потапов В.О., Євлаш В.В., Педорич І.П.	149
ІНФРАЧЕРВОНЕ СУШІННЯ ЗЕРНОВОЇ ПРОДУКЦІЇ З ВІБРОХВИЛЬОВИМ КОНВЕСРОМ. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ	
Паламарчук І.П., Кюрчев С.В., Верхованцева В.О.	153
РАЦІОНАЛЬНЕ КОМПОНУВАННЯ ФАЗНИХ РОЗДІЛЮВАЧІВ З МОДУЛЬНИМИ СЕПАРАЦІЙНИМИ ПРИСТРОЯМИ	