

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

ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів

№ 41 (1263) 2017

Збірник наукових праць

Видання засновано в 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2017

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів – Х. : НТУ «ХПІ». – 2017. – № 41 (1263). – 108 с.

Державне видання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ № 5256 від 2 липня 2001 року

Мова статей – українська, російська, англійська.

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

Координаційна рада:

Л. Л. Товажнянський, д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України (**голова**);
К. О. Горбунов, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);
А. П. Марченко, д-р техн. наук, проф.; Є. І. Сокол, д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України;
Є. Є. Александров, д-р техн. наук, проф.; А. В. Бойко, д-р техн. наук, проф.;
Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.; М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.;
А. І. Грабченко, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.;
В. Д. Дмитриєнко, д-р техн. наук, проф.; І. Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.;
В. В. Єпіфанов, канд. техн. наук, проф.; Ю. І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.;
П. О. Качанов, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Клепіков, д-р техн. наук, проф.;
С. І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.; В. І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.;
Г. В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.; О. К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.;
В. І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.; П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.;
В. А. Пуляєв, д-р техн. наук, проф.; М. І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.;
В. Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.; Г. М. Сучков, д-р техн. наук, проф.;
М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:

Відповідальний редактор: С.І. Бухкало, канд. техн. наук, чл.-кор. АН вищої освіти України, проф.

Заст. відповідального редактора: О.П. Арсеньєва, д-р техн. наук, проф.

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

Члени редколегії: М.І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.; Ф.Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.;

М.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.; В.І. Мілих, д-р техн. наук, проф.;

О.В. Григоров, д-р техн. наук, проф.; В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.;

І.Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.; С.І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.;

О.С. Куценко, д-р техн. наук, проф.; О.В. Єфімов, д-р техн. наук, проф.;

А.Г. Гурин, д-р техн. наук, проф.; В.І. Ткачук, д-р техн. наук, проф.;

П.О. Капустенко, канд. техн. наук, проф.; М.І. Сатаєв, д-р техн. наук, чл.-кор. АН РК;

Й. Клемеш, Phd, проф. ун-ту Паннонія, м. Веспрем; П. Стехлик, Phd, проф., директор Інституту інженерної технології і захисту навколишнього середовища Технологічного університету, професор VUT Брно, Чехія

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

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 10 від 24 листопада 2017 р.

УДК 66.045.01

O. P. ARSENYEVA, P. O. KAPUSTENKO, O. A. VASILENKO, J. M. TRAN, E. Y. KENIG**THE ESTIMATION OF HEAT TRANSFER AREA OF PILLOW-PLATE HEAT EXCHANGERS FOR WATER HEATING**

Ефективна рекуперация тепла имеет первостепенное значение для решения проблемы эффективного использования энергии та подальшого скорочення споживання палива і викидів парникових газів. Для решения этой проблемы можно использовать различные стратегии, но для всех подходов требуется эффективное теплообменное оборудование. Одним из инновационных видов теплообменного оборудования являются теплообменные аппараты с пластинами подушечного типа (ТАПП). В настоящей работе представлена информация об основных производителях ТАПП, описаны существующие подходы к определению перепада давления и теплопередачи. Рассмотрено применение ТАПП для нагрева воды, а приведенная площадь теплообмена сравнивается с поверхностью пластинчатого теплообменного аппарата с гофрированной пластиной, спроектированного для тех же условий процесса.

Ключевые слова: теплообменные аппараты, пластины подушечного типа, теплопередача, проектирование, гидравлический опір.

Эффективная рекуперация тепла имеет первостепенное значение для решения проблемы эффективного использования энергии и последующего сокращения потребления топлива и выбросов парниковых газов. Для решения этой проблемы можно использовать различные стратегии, но для всех подходов требуется эффективное теплообменное оборудование. Одним из инновационных видов теплообменного оборудования являются теплообменные аппараты с пластинами подушечного типа (ТАПП). В настоящей работе представлена информация об основных производителях ТАПП, описаны существующие подходы к определению перепада давления и теплопередачи. Рассмотрено применение ТАПП для нагрева воды, а приведенная площадь теплообмена сравнивается с поверхностью пластинчатого теплообменного аппарата с гофрированной пластиной, спроектированного для тех же условий процесса.

Ключевые слова: теплообменные аппараты, пластины подушечного типа, теплопередача, проектирование, гидравлическое сопротивление.

Efficient heat recuperation is of primary importance in resolving the problem of efficient energy usage and consequent reduction of fuel consumption and greenhouse gas emissions. To solve this problem, different strategies can be used, but all the approaches need efficient heat transfer equipment. One of the innovative types of heat transfer equipment is the Pillow-Plate Heat Exchangers (PPHEs). The present paper gives the information about the main manufacturers of PPHEs, describes the existing approaches for determining the pressure drop and heat transfer. The application of the PPHE for water heating is considered, and the resulted heat transfer area is compared with the surface of chevron-type plate heat exchanger designed for the same process conditions.

Keywords: heat exchangers, pillow plates, heat transfer, heat exchanger design, hydraulic resistance.

Introduction.

Efficient heat recuperation is of primary importance in resolving the problem of efficient energy usage and consequent reduction of fuel consumption and greenhouse gas emissions. To solve this problem, different strategies can be used, but all the approaches need efficient heat transfer equipment [1]. One of the innovative types of heat transfer equipment is the Pillow-Plate Heat Exchangers (PPHEs). They have space-effective, light and pressure-resistant construction. They show intensified heat transfer and low pressure loss on the product media side [2]. PPHEs are produced by spot-welding of two steel sheets, followed by hydro-forming to obtain channels for heat carrier movement. The edges are fully seam-welded. The sketches of a pillow plate and resulting channels are presented in Fig. 1.

Pillow-plate surfaces of PPHEs ensure the turbulent movement of heat carriers inside the channels formed by the plates. The particular waviness of the pillow-plate channels promotes lateral mixing and beneficial turbulence, which results in a good thermo-hydraulic performance. The manufacturing technology of PPEs is extremely flexible, and the diversity of the resulting geometries is immense. This brings advantages over standard PHEs, especially when special process conditions must be fulfilled. Further benefits of PPEs, as compared to standard PHEs, are lower weight and lower production costs. The application area of PPEs is broad and expanding.

Commercially produced PPHEs.

The present paper observes main commercial producers of PPHEs worldwide. Most PPHEs producers

are from Germany. Also some companies are located in America. The name of the manufactured equipment differs from company to company, at the same time having the common design features and consisting of pillow plates. The used PPHEs names and producers are presented in Table 1.

The PPHEs application in industrial flowsheets includes such processes as condensation, exhaust gas cooling, oil cooling and heating/cooling shells for tanks, and nowadays it is still expanding. The industry, in which they can be applied, includes food processing industry; chemical industry; wood processing industry; paper processing industry etc. The PPHEs can be made from stainless steel, Hastelloy or titanium.

The advantages of PPHEs, listed by the manufacturers, include: low purchase price and operational costs; low pressure loss; quick installation and quick replacement of modules; many sizes, forms and materials are possible, as well as complex geometries; low weight; easy to clean; efficient with high degree of usage because of large surface in relation to volume.

The limiting process conditions depend on manufacturer. Gesmex produces PPHEs with the design limits range from vacuum to 60 bar and from -200 to 800 °C. At STRIKO Verfahrenstechnik the maximum operating pressure for the produced PPHEs is 20 bar, or can be higher as special design. German manufacturer LOB produces PPHEs at excess operating pressures of up to 50 bar and temperatures of 300 °C or more.

© Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Vasilenko O.A., Tran J.M., Kenig E.Y., 2017

The heat transfer equipment produced from pillow plates can be manufactured in the form of single plates or they can be assembled in one unit. The single pillow plates are produced by all of the manufacturers, listed in Table 1. They can take different form, including rounded one, and used for warming/cooling fibrous or contaminated process fluids. The single pillow plates or their set is an economical alternative to conventional chemical devices such as the half-tube coil and double-jacket. Also some companies produce the heat exchangers assembled from pillow plates, which can be used as condensers or reactors. LOB produces the WTP-System for head condensers; XPT condensers are

manufactured by Gesmex; DEG manufactures the condensers from pillow plates. The pillow plate condensers, as a rule, are designed for the direct assembly at columns, reactors, boilers, or they can be used in lying form. The so-called XPT – reactors produced by Gesmex GmbH are designed to combine the functions of heat transfer and reaction of the product in one apparatus. The distances between the transfer surfaces can be designed to optimize the filling volume needed for the reaction. The examples of different heat transfer equipment produced from pillow plates by different manufacturers are given in Fig. 2.

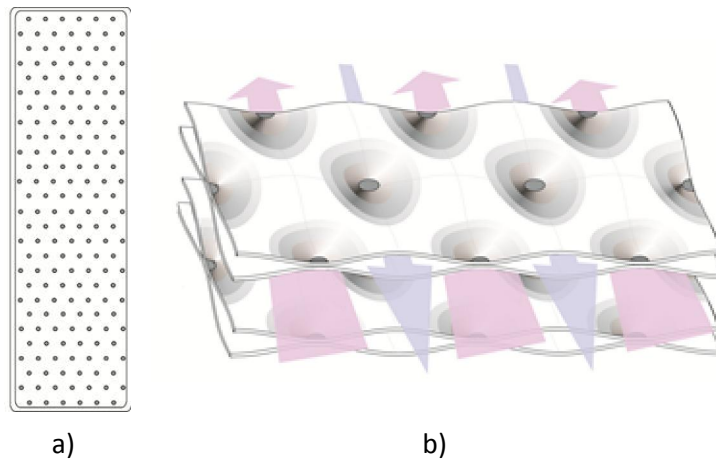


Figure 1. The schematic of a pillow plate (a) and the channels inside a PPE (b)

Table 1. PPHEs manufacturer companies

Manufacturer	Country	The name of equipment similar to PPHEs
Gesmex GmbH [3]	Germany	Thermoplate heat exchangers
STRIKO Verfahrenstechnik [4]	Germany	Thermo Plate
LOB [5]	Germany	WTP-heating system
DEG Engineering GmbH in cooperation with Mueller Manufacturing B.V. [6]	Germany	Thermo-plates
ATHCO-Engineering [7]	Denmark	Pillow plates
Tranter [8]	USA	Prime Surface Heat Exchangers
WCR Incorporated [9]	USA	Immersion Plates

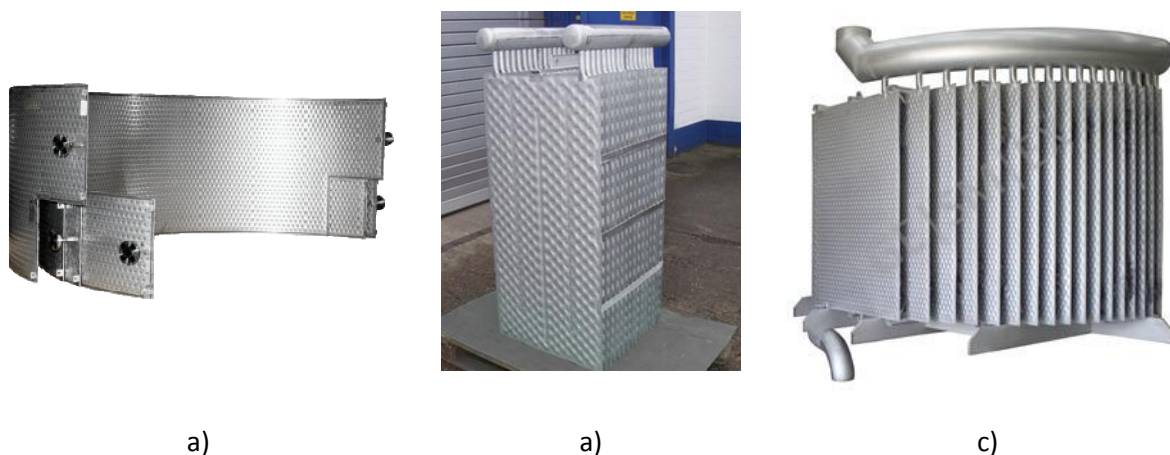


Figure 2. Different design of pillow plate heat transfer equipment:
a) Single thermo plate produced by STRIKO [4]; b) WTP head condenser produced by LOB [5];
c) XPT – reactor produced by Gesmex [3]

The reliable design of PPHEs includes the identification of the geometrical parameters (gap width, height and length of the plates) and estimation of heat transfer and hydraulic parameters of the unit. The special attention should be paid to the location of the inlet and

outlet connectors, which affect the pressure losses and operability of the heat exchanger. However, in contrast to conventional equipment, no reliable design methods for compact PPEs are available in the open literature [9].

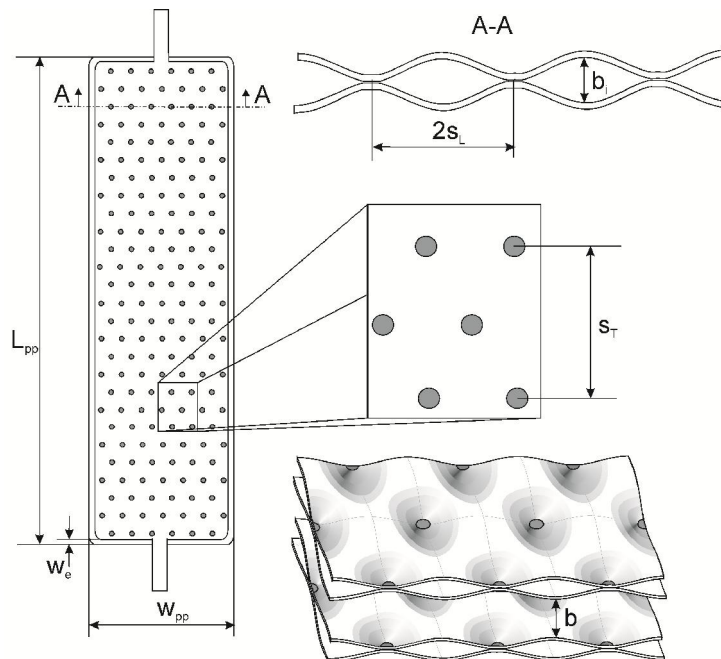


Figure 3. The schematic of pillow plate with specification of its main geometric parameters

The correlations for PPHEs design

The design of PPHEs is mostly influenced by the geometry of the heat transfer channels, which determine the heat transfer and hydraulic parameters of the unit. The PPHE, investigated in [2] with different pillow plate geometries are under consideration. The geometry of pillow plates used in PPHE is schematically shown in Fig. 3. The standard pillow plates are assembled together in one unit, what enables to vary the distance between them, and consequently adjust the hydraulic resistance and heat transfer process in the outer channels between welded pillow plates (external or E-channel). The geometry of inner-plate channel (inner or I-channel) determines the whole performance of the PPHE. For the mathematical modelling of thermal and hydraulic performance of PPHE the geometries of I-channels are presented in Table 2.

The empirical equations for calculation of friction factors in the I-channel, which has smaller cross-section area, ζ_1 is presented in paper by [2] for three geometrical types presented in Table 3. The friction factor in E-channel ζ_2 is investigated in [10] by the means of CFD methods and based on the experimental data for PPHE of 3rd type geometry pillow-plate panels with the distance between them equal to 12 mm. The given equation for friction factor is valid for the Reynolds numbers from 9500 till 30000.

The correlations for friction factor for I-channel and E-channel are presented in form of power equation for the Reynolds number:

$$\zeta_1 = A \cdot \text{Re}^{-n} \quad (1)$$

where coefficients A and n are parameters, which depend on pillow-plate geometry, and for the observed types their values are presented in Table 3; Re is the Reynolds number, $\text{Re} = w \cdot d_e \cdot \rho / \mu$, where μ is the dynamic viscosity of the fluid, Pa·s.

The equivalent diameter and channel cross-section of the I-channels can be calculated according to the simplified relations:

$$d_{e1} = 2 \cdot \left(\frac{b_i}{\sqrt{2}} \right), \quad (2)$$

where b_i is the inner expansion of the pillow plate, m.

For the bigger channel between welded pillow-plate panels (E-channel) the equivalent diameter is equal to the biggest expansion between pillow-plate panels (see Fig. 3):

$$d_{e1} = 2 \cdot \left((b_i + b) - \frac{b_i}{\sqrt{2}} \right), \quad (3)$$

Table 2. The main geometric parameters of pillow plates [2]

Parameter	PPHE geometry type		
	PPHE 1	PPHE 2	PPHE 3
$\delta_{pp} \cdot 10^{-3}$, m	0.8	1	1
$b_i \cdot 10^{-3}$, m	3.4	3	7
$2s_L \cdot 10^{-3}$, m	42	72	72
$s_T \cdot 10^{-3}$, m	72	42	42
$w_{pp} \cdot 10^{-3}$, m	300	300	300
$L_{pp} \cdot 10^{-3}$, m	1,000	1,000	1,000
$w_e \cdot 10^{-3}$, m	15	15	15
Material	EN 1.4541 (AISI 321)		

Table 3. The parameters A and n from Eq.(1) for different geometry of pillow-plate channels

Parameter	Channel and geometry types			
	I-channel, PPHE 1	I-channel, PPHE 2	I-channel, PPHE 3	E-channel, PPHE 3
A	2.128	0.962	1.351	2.187
n	0.357	0.152	0.13	0.356

Table 4. The parameters i, j, k for Eq.(7) reported in [2]

Parameter	PPHE geometry type		
	PPHE 1	PPHE 2	PPHE 3
i	0.065	0.057	0.067
j	0.699	0.752	0.774
k	0.341	0.348	0.338

where b is the distance between pillow panels in narrowest place, m.

The cross-section area of I-channel and E-channel is defined as:

$$f_{ch I} = \frac{b_i}{\sqrt{2}} (w_{pp} - 2w_e); \quad (4)$$

$$f_{ch E} = \left((b_i + b) - \frac{b_i}{\sqrt{2}} \right) \cdot (w_{pp} - 2w_e) \quad (5)$$

where w_{pp} is the width of the pillow plate, m; w_e is the value of edges of the pillow plate, m.

Eqs.(1)-(5) enable to predict the friction factors in both channels formed by pillow plates with observed geometry. The correlations are valid for fully developed turbulent flow with the Reynolds numbers from 9500 to 30000.

To account for pressure losses in connections, it has been introduced the coefficient of local hydraulic resistance in those zones ζ_{DZ} for the inner-plate channel, assuming that these coefficients for the inlet and outlet zones are equal $\zeta_{DZ} = 1.5$. The average velocity of stream in the I-channel w_I is assumed as characteristic velocity, when determining these coefficients. The total pressure loss in the PPHE channel can be calculated as follows:

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{L_F}{d_e} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} + \zeta_{DZ} \cdot \rho \cdot w^2 \quad (6)$$

where L_F is the effective length of heat transfer plate (the length of heat transfer channel) without the welded edges, m.

The estimation of heat transfer coefficients for both channels requires the reliable correlations. Paper [2] provides the equation based on modified Reynolds analogy for the heat transfer in the I-channel of the following form:

$$Nu_I = i \cdot Re^j \cdot Pr^k \quad (7)$$

where coefficients i, j, k depend on the geometry of pillow plates; Nu is the Nusselt number, $Nu = h \cdot d_e / \lambda$; λ is the thermal conductivity of the stream, W/(m·K); h is the film heat transfer coefficient, W/(m²·K); Pr is the Prandtl number; ζ is the friction factor, calculated by Eq.(1). The parameters for Eq.(7) for the considered geometry of pillow-plates are listed in Table 4.

The film heat transfer coefficients in the channel between pillow panels (E-channel) can be determined according to the following equation [11]:

$$Nu = \frac{(\psi \cdot \zeta_2 / 8) \cdot Re \cdot Pr}{1.07 + 12.7 \sqrt{\psi \cdot \zeta_2 / 8} \left(Pr^{\frac{2}{3}} - 1 \right)} \quad (8)$$

where ψ is the correction coefficient, $\psi = 0.58$; ζ_2 is the friction factor, calculated by Eq.(6) for the parameters for E-channel.

The mentioned equations are valid for the Reynolds numbers from 9500 to 30000. The error for the proposed correlation for film heat transfer coefficient is reported within 5 %.

The heat transfer area of heat exchanger can be expressed as follows:

$$F = \frac{Q}{C_{FT} \cdot \Delta T_{\ln}} \cdot \left[\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{\delta_w}{\lambda_w} + R_{f1} + R_{f2} \right], \quad (9)$$

where Q is the heat load, W; h_1 and h_2 are the film heat transfer coefficients for the hot and cold stream respectively, W/(m²·K); $\Delta T_{\ln}$ is the logarithmic mean temperature difference (LMTD); C_{FT} is the correction factor for LMTD; R_{f1} and R_{f2} are the thermal resistance of fouling deposit on heat transfer surfaces for 1st (hot) and 2nd (cold) side respectively, (m²·K)/W; δ_w is the wall thickness, m; λ_w is the thermal conductivity of the wall material, W/(m·K).

For the observed geometry of pillow plate the friction factor $\zeta_1(w_1)$ depends on the velocity w_1 and overall heat transfer coefficient $U(w_1)$. The first can be determined by Eq.(1), and the overall heat transfer coefficient is the invers value of thermal resistance, expressed by the second multiplier of the right part in Eq.(1):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{\delta_w}{\lambda_w} + R_{f1} + R_{f2} \quad (10)$$

where δ_w is the wall thickness, m; λ_w is the thermal conductivity of the wall, W/(m·K); R_{f1} and R_{f2} are the thermal resistance of fouling for hot and cold side respectively, (m²·K)/W; h_1 and h_2 are the film heat transfer coefficients for the hot and cold stream respectively, W/(m²·K).

Eqs.(1)-(10) enable to predict the friction factor and film heat transfer coefficients in PPHE channels with specified geometry of pillow plates, knowing the distance between them. Along with the geometry parameters, the physical properties of the fluids are needed for the PPHE design, as well as the velocities in channels. The physical properties can be defined in reference books according to given process conditions. In the present study we try to design the PPHE with three different geometries, presented in Table 2, and to compare the obtained heat transfer area of the PPHE with standard chevron-type PHE [12], designed for the same process conditions.

Case study - PPHE design for water heating

For PPHE design the case study of water heating, reported in [13] was taken. The authors did the design of standard chevron-type PHE for the operating conditions with fluid properties, presented in Table 5. To do the PPHEs design, three types of pillow plate geometry, presented in Table 2 were considered. The construction of PPHE enables to vary the distance between pillow plates and in the present design the distances b was taken 12 mm. As the flow rate for cold fluid is smaller than for hot one, this stream was directed to the I-channel, and the hot fluid was moved to E-channel.

Table 5. Operating conditions and fluid properties for the case study

	Fluid 1 (hot)	Fluid 2 (cold)
Operating conditions		
$t_{1in}, t_{2in}, ^\circ\text{C}$	70	10
$t_{1out}, t_{2out}, ^\circ\text{C}$	40	50
$\Delta P_1^o, \Delta P_2^o, \text{kPa}$	40	60
$G_{m1}, G_{m2}, \text{kg/s}$	40	30
Fluid physical properties		
$\rho_1, \rho_2, \text{kg/m}^3$	980	980
$\mu_1, \mu_2, \text{Pa s}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$
$\lambda_1, \lambda_2, \text{W/(m·K)}$	0.654	0.618
$c_{p1}, c_{p2}, \text{J/(kg·K)}$	4175	4175

Table 6. The parameters of designed PPHEs and chevron-type PHE, for water heating with allowable pressure drop 40 kPa and 60 kPa for fluid 1 and fluid 2 respectively

Type of PPHE	F, m^2	L_F, m	n_{pl}	$\Delta P_1, \text{Pa}$	$\Delta P_2, \text{Pa}$	$U, \text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$
PPHE1	36.85	2	68	$1.894 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	5,512
PPHE2	35.02	1.2	110	$9.785 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	5,800
PPHE3	43.45	2.32	67	$6.887 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^4$	4,676
PHE	68.8	-	-	$4 \cdot 10^4$	$2.39 \cdot 10^4$	4.946

Using Eq.(1)-(10) for each PPHE geometry type enabled to find the corresponding solution for each PPHE type, presented in Table 6.

The PPHE with type 2 pillow-plate geometry contains the minimal heat transfer surface area that equals to 35.02 m². For every type of PPHE the obtained surface area is less, than for chevron-type PHE, as in our approach the stream with bigger allowable pressure drop was considered. The requirement for the allowable pressure drop for the other stream is kept. The design of PPHE enables to utilise more allowable pressure drop for the second stream by adjusting the distance between plates and increasing the velocity and overall heat transfer in the unit. The PPHEs can be used for the operation conditions, when flow rates of the fluids are significantly different. With the PPHEs the possibility to use the different cross-sections for cold and hot side allows decreasing the heat transfer surface areas in heat transfer equipment.

Conclusions

The applications of novel type of plate heat exchangers can increase the heat transfer efficiency of industrial sites. Pillow-plate surfaces of PPHEs ensure the turbulent movement of heat carriers inside the channels formed by pillow plates. The particular waviness of the pillow-plate channels promotes lateral

mixing and beneficial turbulence, which results in a good thermo-hydraulic performance. The possibility to use the different cross-sections for cold and hot side allows decreasing the heat transfer surface areas in heat transfer equipment. The PPHE design for water heating showed the smaller heat transfer area of PPHE comparing with chevron-type PHEs. The comparison of the PPHEs with different geometries of pillow plates revealed a significant influence of main geometrical parameters of pillow plates on heat transfer performance of the whole unit. The correct calculation of PPHE and optimisation of the geometry of pillow plates requires the reliable correlations to estimate the overall heat transfer coefficient and friction factors. The information, provided in the literature, is available only for three geometry types of welded pillow-plate panels. The further investigations of such equipment are needed due to promising results for applications, where the bigger channel for hot fluid is needed.

Acknowledgements

Olga Arsenyeva is grateful to the Alexander von Humboldt Foundation for the financial support.

References:

1. Klemes, J. J., Arsenyeva, O., Kapustenko, P., Tovazhnyanskyy, L., Compact Heat Exchangers for Energy Transfer Intensification: Low Grade Heat and Fouling Mitigation, CRC Press, Boca Raton, FL, 2015.
2. Tran, J., Sommerfeld, S., Piper, M., Kenig, E.Y. (2015): Investigation of pillow-plate condensers for the application in distillation columns. In: Chemical Engineering Research and Design, 99, 67–74.
3. Gesmex. Thermoplate Heat Exchangers. <http://www.gesmex.com/en/products/xpt-thermoplate-en> (accessed 26 October 2017).
4. STRIKO Verfahrenstechnik. Thermo Plate heat exchanging systems. <https://en.striko.de/products/heat-exchanger/thermo-plates/> (accessed 26 October 2017).
5. LOB. WTP-heating system. <http://www.lob-gmbh.de/en/wtp-system/index.html> (accessed 26 October 2017).
6. DEG Engineering GmbH. Technology with thermos-plates. <http://www.deg-engineering.de/en/> (accessed 26 October 2017).
7. ATHCO-Engineering. Heat exchangers. Pillow plates. <http://www.athco-engineering.dk/index.php/products/heat-exchangers/pillow-plates/> (accessed 26 October 2017).
8. Tranter. Prime Surface Heat Exchangers. <http://www.tranter.com/products/prime-surface-heat-exchangers> (accessed 26 October 2017).
9. WCR heat exchanger services. WCR Plate Coils / Immersion Plates. <http://www.wcrhx.com/plate-coils> (accessed 26 October 2017).
10. Piper, M., Wecker, C., Olenberg, A., Tran, J., Kenig, E.Y. (2015): An experimental analysis of the topology and dynamics of a falling liquid film over the wavy surface of a vertical pillow plate. In: Chemical Engineering Science, 130, 129–134.
11. Piper, M., Tran, J.M., Kenig, E.Y. (2015): CFD-Untersuchung der Fluidodynamik und des Wärmeübergangs bei einphasiger Strömung im welligen Spalt zwischen Thermoblechen. CFD Study of Fluid Dynamics and Heat Transfer for Single-Phase Flow in the Wavy Channel Between Pillow Plates, Chemie Ingenieur Technik, 87, 216–225.
12. Tovazhnyanskij, L.L., Bukhhalo, S.I., Kapustenko, P.A., Khavin, G.L. Osnovnye tehnologii pishhevyyh proizvodstv i jenergosberezenie. Uch. posobie, Khr. NTU «Khpi». 2005.
13. Wang, L., Sundén, B. (2003): Optimal design of plate heat exchangers with and without pressure drop specifications, Applied Thermal Engineering, 23, 295–311.

Поступила (received) 23.10.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Оцінка області теплопередачі подушково-пластинчастих теплообмінників для нагріву води / О. П. Арсеньева, П. О. Капустенко, О. А. Василенко, Ю. М. Тран, Є. Я. Кеніг // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 3–9. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2220-4784.

Оценка области теплопередачи подушечно-пластинчатых теплообменников для нагрева воды / О. П. Арсеньева, П. А. Капустенко, А. А. Василенко, Ю. М. Тран, Е. Я. Кениг // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 3–9. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2220-4784.

The estimation of heat transfer area of pillow-plate heat exchangers for water heating / O. P. Arsenyeva, P. O. Kapustenko, O. A. Vasilenko, J. M. Tran, E. Y. Kenig // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 41(1263). – p. 3–9. Bibliog.:13 titles. – ISSN 2220-4784.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Арсеньєва Ольга Петрівна – доктор технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», тел.: +380577202228; e-mail: ol.arsenyeva@gmail.com

Arsenyeva Olga Petrivna – D.Sc., doctor of technical sciences, Professor, department of integrated technologies, processes and apparatuses, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel. : +380577202228; e-mail: ol.arsenyeva@gmail.com

Арсеньева Ольга Петровна – доктор технических наук, профессор кафедры интегрированных технологий, процессов и аппаратов, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», тел.: +380577202228; e-mail: ol.arsenyeva@gmail.com

Капустенко Петро Олексійович – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», тел.: +380577202228; e-mail: kap@kpi.kharkov.ua

Kapustenko Petro Oleksiyovich – PhD, candidate of technical sciences, Professor, department of integrated technologies, processes and apparatuses National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel.: +380577202228; e-mail: kap@kpi.kharkov.ua

Капустенко Петр Алексеевич – кандидат технических наук, профессор кафедры интегрированных технологий, процессов и аппаратов, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», тел.: +380577202228; e-mail: kap@kpi.kharkov.ua

Василенко Олександр Анатолійович – аспірант кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», тел.: +380577202228; e-mail: aavaav@mail.ru

Vasilenko Olexandr Anatoliyovich – PhD student at the department of integrated technologies, processes and apparatuses National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel.: +380577202228; e-mail: aavaav@mail.ru

Василенко Александр Анатольевич – аспірант кафедры интегрированных технологий, процессов и аппаратов, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», тел.: +380577202228; e-mail: aavaav@mail.ru

Тран Юліан М. – дипл.-інженер, науковий співробітник кафедри технології процесів у поточних середовищах, Університет Падерборна, Німеччина, tel. : +495251602403; e-mail: julian.tran@upb.de

Tran Julian M. – Dipl.-Ing., research assistant, Chair of Fluid Process Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, University of Paderborn, Paderborn, Germany, tel. : +495251602403; e-mail: julian.tran@upb.de

Тран Юлиан М. – дипл.-инженер, научный сотрудник кафедры технологии процессов в текучих средах, Университет Падерборна, Германия, tel.: +495251602403; e-mail: julian.tran@upb.de

Кеніг Євгеній Яковлевич – доктор наук (Habilitation), професор, завідувач кафедри технології процесів у поточних середовищах, Університет Падерборна, Німеччина, tel. : +495251602408; e-mail: eugeny.kenig@upb.de

Kenig Eugeny Yakovlevich – Prof. Dr.-Ing. habil, Chair of Fluid Process Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, University of Paderborn, Paderborn, Germany, tel. : +495251602408; e-mail: eugeny.kenig@upb.de

Кениг Евгений Яковлевич – доктор наук (Habilitation), профессор, заведующий кафедрой технологии процессов в текучих средах, Университет Падерборна, Германия, tel. : +495251602408; e-mail: eugeny.kenig@upb.de

УДК 378.65.011.56

NIKULSHIN VLADIMIR, DENYSOVA ALLA, DENYSOVA ANASTASIIA

ADVANCED THERMODYNAMIC ANALYSIS ON EXERGY FLOW GRAFS

У статті запропоновано загальний підхід для термодинамічного аналізу систем довільної структури. Метод заснований на побудові і аналізі нового виду ексергіо-топологічної моделі – ексергічному потоковому графі і дозволив підвищити ефективність енерго-інтенсивних систем. Було показано, що процеси, які відбуваються в складних енерго-інтенсивних системах, характеризувалися взаємним перетворенням якісно різних енергетичних ресурсів. Тому термодинамічний аналіз цих систем вимагав спільного застосування обох законів термодинаміки, і, отже, ексергічного підходу. Було показано, що одним з найбільш ефективних математичних методів, використовуваних при ексергічному аналізі та оптимізації був метод теорії графів. Перевага графових моделей може бути також продемонстровано шляхом широкої різноманітності їх можливих додатків. Було продемонстровано застосування запропонованого підходу для термодинамічного аналізу газотурбінної установки. Було показано, що ступеня термодинамічної досконалості турбін і турбокомпресорів досить високі. Зазвичай, чим більшою була різниця між середніми параметрами робочого тіла і навколишнього середовища, тим меншими були втрати ексергії. Та ж ситуація була також вірна і для теплообмінників. Більш високий температурний рівень в регенеративній теплообміннику, в порівнянні з проміжним холодильником, та л вищу ступінь термодинамічної досконалості теплообмінника. Втрати ексергії в інших елементах системи були викликані дисипацією транспорту потоку в трубах, або механічними втратами. Було показано, що для системи в цілому ступінь термодинамічної досконалості була менше, ніж для будь-якого елемента системи через взаємного впливу елементів один на одного в системі.

Ключові слова: термодинамічний аналіз, топологічна модель, ексергічний потіковий граф, довільна структура, оптимізація.

In the paper has been proposed a general approach for thermodynamic analysis of systems with arbitrary structures. Method was based on construction and analysis of a new type of exergy-topological model – exergy flow graph and allowed to improve the efficiency of energy intensive systems. The efficiency improving is very important problem and the main way of it solving was through thermodynamic analysis and optimization. It was shown that the processes taking place in the complex energy intensive systems were characterized by mutual transformation of quality different power resources. It has been found that one of the most effective mathematical methods used for exergetic analysis and optimization was the method of graph theory. The benefit of graph models can also be demonstrated by its flexibility and wide varieties of possible applications. It has been demonstrated the application of suggested approach for thermodynamic analysis of gas-turbine installation. It has been found that the degree of thermodynamic perfection of turbines and turbocompressors are sufficiently high. Usually, the bigger was the difference between average parameters of the working fluid and the environment, the smaller was the exergy losses. The same situation was also true for heat exchangers. High temperature level in regenerative refrigerator, as compared with intermediate refrigerator, give a higher degree of thermodynamic perfection of the heat exchanger. Exergy losses in other elements of the system were caused by dissipation of the flow transport in the pipelines or by mechanical losses. It has been found that for the system as a whole the degree of thermodynamic perfection was less than the same characteristics for any element of the system in result of the mutual influence of the element on the other in the system.

Keywords – thermodynamic analysis, topological model, exergy flow graph, arbitrary structures, optimization.

В статье предложен общий подход для термодинамического анализа систем произвольной структуры. Метод основан на построении и анализе нового вида эксерго-топологической модели – эксергическом потоковом графе и позволил повысить эффективность энерго-интенсивных систем. Было показано, что процессы, имеющие место в сложных энерго-интенсивных системах, характеризовались взаимным превращением качественно различных энергетических ресурсов. Поэтому термодинамический анализ этих систем требовал совместного применения обоих законов термодинамики, и, следовательно, эксергического подхода. Было показано, что одним из наиболее эффективных математических методов, используемых при эксергическом анализе и оптимизации являлся метод теории графов. Преимущество графовых моделей может быть также продемонстрировано путем широкого разнообразия их возможных приложений. Было продемонстрировано применение предложенного подхода для термодинамического анализа газотурбинной установки. Было показано, что степени термодинамического совершенства турбин и турбокомпрессоров достаточно высоки. Обычно, чем большей была разность между средними параметрами рабочего тела и окружающей среды, тем меньшими были потери эксергии. Та же ситуация была также верна и для теплообменников. Более высокий температурный уровень в регенеративном теплообменнике, по сравнению с промежуточным холодильником, дал более высокую степень термодинамического совершенства теплообменника. Потери эксергии в других элементах системы были вызваны диссипациями транспорта потока в трубах, или механическими потерями. Было показано, что для системы в целом степень термодинамического совершенства была меньше, чем для любого элемента системы из-за взаимного влияния элементов друг на друга в системе.

Ключевые слова: термодинамический анализ, топологическая модель, эксергический потіковий граф, произвольная структура, оптимизация.

Introduction

In the design and operation of energy intensive systems, the possibility of improving the system's efficiency is very important to explore. The main way of improving efficiency is through thermodynamic analysis and optimization.

The processes taking place in the complex energy intensive systems are characterized by mutual transformation of quantitatively different power resources. For this reason, the thermodynamic analysis of these systems requires the combined application of both laws of thermodynamics and demands the exergy approach [1, 2].

These methods are universal and make it possible to estimate the fluxes and balances of all energy flows for

every element of the system using a common criterion of efficiency.

Despite its usefulness, the benefits of the exergetic approach were not fully realized until recent years. One reason for this situation is the underestimation of exergetic functions for mathematical modeling synthesis, and optimization of flow sheets. Another reason is the mathematical difficulty of the exergetic approach in thermodynamic analysis. Meanwhile, the increasing complexity of optimization problems requires more effective and powerful mathematical methods. Hence, during the last few years, many papers with different applications of thermodynamic methods have been published (see for example [3–10]).

© Nikulshin V., Denysova Alla, Denysova Anastasiia, 2017

The above referenced papers, as well as the author's earlier investigations [11–15] show that one of the most effective mathematical methods used for exergetic analysis and optimization is the method of graph theory [17, 18]. The benefit of graph models can also be demonstrated by its flexibility and wide varieties of possible applications.

The exergy topological method is based on the combination of exergy flow graph, exergy losses graph and thermoeconomical graphs. In this article will be used the exergy flow graph.

1. The exergy flow graph and its properties

The exergy flow graph of a system with arbitrary structure can be expressed as a graph, $E = (A, \Gamma) = (A, U)$, where A is nodes multitude corresponds to systems elements $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m\}$, U is the arcs multitude corresponds to the exergy flows distribution in the system $U = \{a_i, a_l; i \neq l; i = 1, 2, \dots, m; l = 1, 2, \dots, m\}$, and Γ represents a multivalued display of multitude A into itself. The main properties of the exergy flow graph $E = (A, \Gamma)$ are as following:

Property 1. Exergy flow $E(A, \Gamma)$ is linked.

Proof. Assume that property 1 is wrong and $\exists a_k \in A$, that $\Gamma a_k = 0$ and $\Gamma^{-1} a_k = 0$. Then the changing of parameters in the a_k -element will not influence at behaviour of the system as a whole. In these case based on the definition of the system [2], $a_k \notin A$. But since it is assumed that $a_k \in A$. This contradiction proves that Property 1 is true.

When applying the graph to a real system, linking of exergy flow graph means that every element of the system has flows tied with at least one another element.

Property 2 Exergy flow graph is directed:

$$(\forall a_k \in A, \forall a_1 \in A) \Rightarrow (a_k, a_1) \neq (a_1, a_k).$$

Proof. Assume that property 2 is wrong and

$$(\exists a_k \in A, \exists a_1 \in A) \Rightarrow (a_k, a_1) = (a_1, a_k).$$

Then the order of follows of such elements in the system (which determine the technology of process) can be arbitrary. That is impossible.

Property 3 Exergy flow graph of system with arbitrary structure $E = (A, U)$ is antisymmetric in general case:

$$(\exists a_k \in A, \exists a_1 \in A), (a_k, a_1) \in U \Rightarrow (a_1, a_k) \notin U.$$

Proof. Assume that property 3 is wrong and

$$(\forall a_k \in A, \forall a_1 \in A), (a_k, a_1) \in U \Rightarrow (a_1, a_k) \in U.$$

Then every pair of elements is tied with recycle flows. It is in general case not true.

Property 4 Exergy flow graph $E = (A, \Gamma)$ is not strictly tied in general case: $(\exists a_k \in A) \tilde{\Gamma} a_k \neq A$, where $\tilde{\Gamma}$ is the transitive close, $\tilde{\Gamma} = \Gamma a_k U \Gamma^2 a_k U \dots U \Gamma^n a_k$.

Proof. The proof is the same as that of property 3.

Property 5 Exergy losses in any a node of the exergy flow graph $E = (A, \Gamma)$ are determined by algebraic sum of arcs positively and negatively incidental to this node

$$\Pi_k = U^+ - U^-.$$

Proof. Assume that property 5 is wrong $\Pi_k \neq U^+ - U^-$.

Then the sum of exergy losses will not be equal to the differ between exergies inlet and outlet flows from the element. It is in contradiction with results of the exergy balances of system. This contradiction proves property 5 is true.

Property 6 Exergy flow graph $E = (A, \Gamma)$ is generalised for existing types of flow graphs.

Proof. Assume that property 6 is wrong.

Then exists some flow graphs $\tilde{E} = (\tilde{A}, \tilde{\Gamma})$ which include itself as a single case graph $E = (A, \Gamma)$ (let us remind that in this article only thermodynamic characteristics is discussed, the economic one will be considered later). Then flows on arcs of graphs $E = (A, \Gamma)$ and $\tilde{E} = (\tilde{A}, \tilde{\Gamma})$ will be different. At least the varies of one thermodynamic parameter will not influence the exergy of flows (in opposite case this parameter was accounted by graph $E = (A, \Gamma)$). But there is no such thermodynamic parameter because exergy takes into account all the thermodynamic parameters. This contradiction proves property 6 is true.

Existing types of flow graphs include material heat and parametric flow graphs. Nodes on these flow graphs represents single element which change the corresponding characteristic of the system (such as material or heat flow, etc.). Arcs on these graphs correspond to the distribution of flows (heat, material, parametric etc.). For fully description of the system, it is necessary to build and consider all these flow graphs together.

Building of these graphs is a tedious and difficult process for large systems. It is necessary to consider these graphs together, because the result of describing only one feature of multi-factors process in the system does not provide the general information about the system in general.

The generalisation of characteristic and exergy flow graph gives the possibility to avoid multi-types of graph models in analysis of power intensive systems. Also it provides a common exergy-topological approach in the systems investigation.

In this article, is given the use of exergy flow graph for receiving main exergetic characteristic for system with arbitrary structure particularly for seeking exergy losses in any element of the system and the system as a whole.

From the point of thermodynamics, the value of exergy losses in any element shows the importance of the element and provides possible ways to the improvement of the system. Sum of all element exergy losses of the system provides an objective function for optimisation.

Besides that, the exergy losses can also be used as a part of thermoeconomical criteria in technical economical analysis of the system.

The structure of the exergy flow graph and hence the structure of a modelling system are uniquely described by matrix of incidence [17]. Elements of the matrix may have one of three meanings: 0 – means that j-

flow and i-element are not tied, 1 – means that j-flow enters i-element, -1 – means that j-flow leaves i-element.

2. Outline of model for determination of the exergy losses (EXL model).

A model EXL for the determination of exergy losses for a system of arbitrary structure is given in Fig. 1.

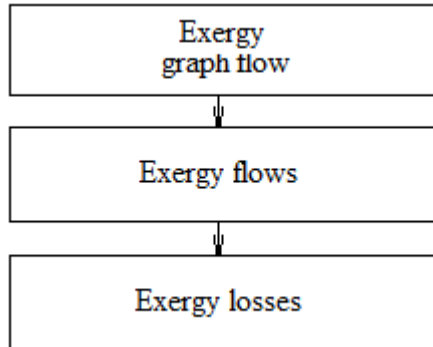


Fig.1. Model EXL

Using the rules mentioned above, exergy flow graph $E = (A, U)$ and its matrix of incidence corresponding to the system under consideration are built in the first block.

The recognising procedure for the types of flows on arcs on graph $E = (A, U)$ and for calculation of their exergies are made in the second block. While considering the thermal power systems, the exergy flows of four types [2]: exergy of mass-flow, exergy of heat-flow, exergy of work and exergy of fuel are illustrated.

Specific mass exergies of these four types are calculated by the equations given in [2].

Then, $E_i^{en} E_i^{ex}$ – the sum of exergy flows corresponding to those at the inlet and outlet from i-element are formed. After that in the third block it is easy to show: exergy losses in i-element of the system

$$\Pi_i = E_i^{en} - E_i^{ex}; \quad (1)$$

degree of thermodynamic perfection

$$v_i = \frac{E_i^{ex}}{E_i^{en}} = 1 - \frac{\Pi_i}{E_i^{en}}; \quad (2)$$

and exergy losses of the system as a whole

$$\Pi_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Pi_i \quad (3)$$

From the result of the calculation, the meanings of exergy losses Π_i and degrees of thermodynamic perfection v_i for every element of the system as well as the summary exergy losses for the system as a whole Π_{Σ} can be obtained.

3. Thermodynamic analysis of gas turbine installation

The algorithm EXL described above was applied for thermodynamic analysis of a gas-turbine installation. In Fig. 2: I- filter, II- turbo-compressor, III- intermediate refrigerator, IV- high pressure turbocompressor, V- high pressure turbine, VI- combustion chamber, VII- regenerative heat exchanger, VIII- average pressure turbine, IX- low pressure turbine, X- generator.

The exergy flow graph for this flowsheet is given in Fig. 3, the matrix of incidence in Fig. 4.

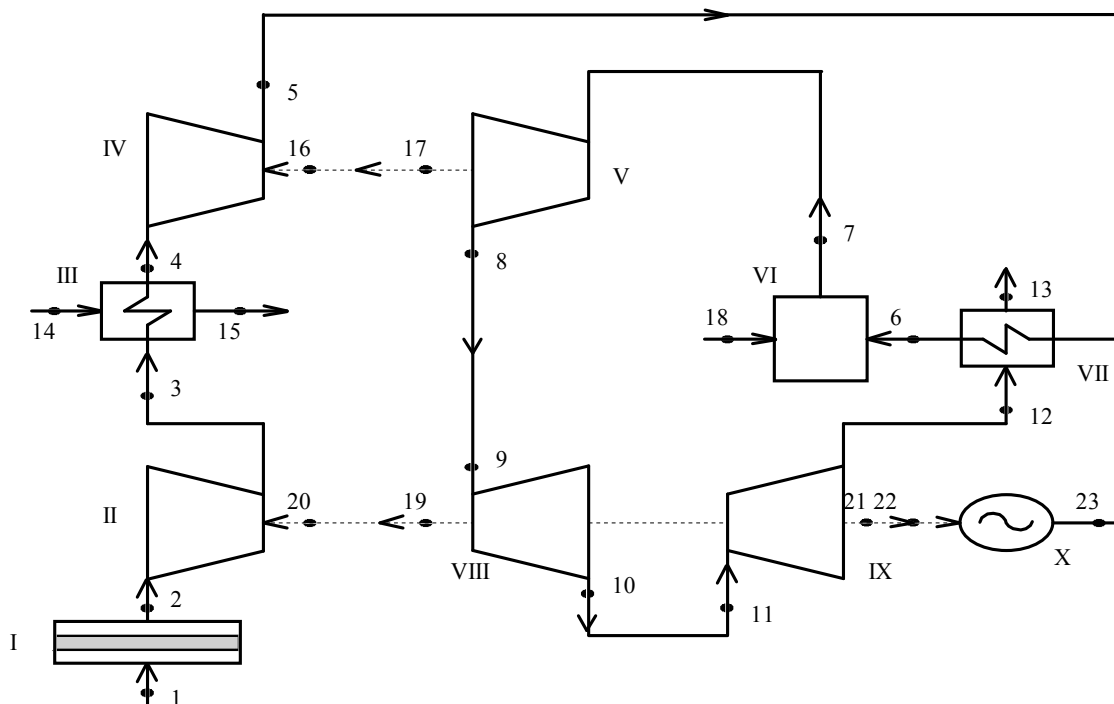


Fig.2. Flowsheet of gas-turbine installation

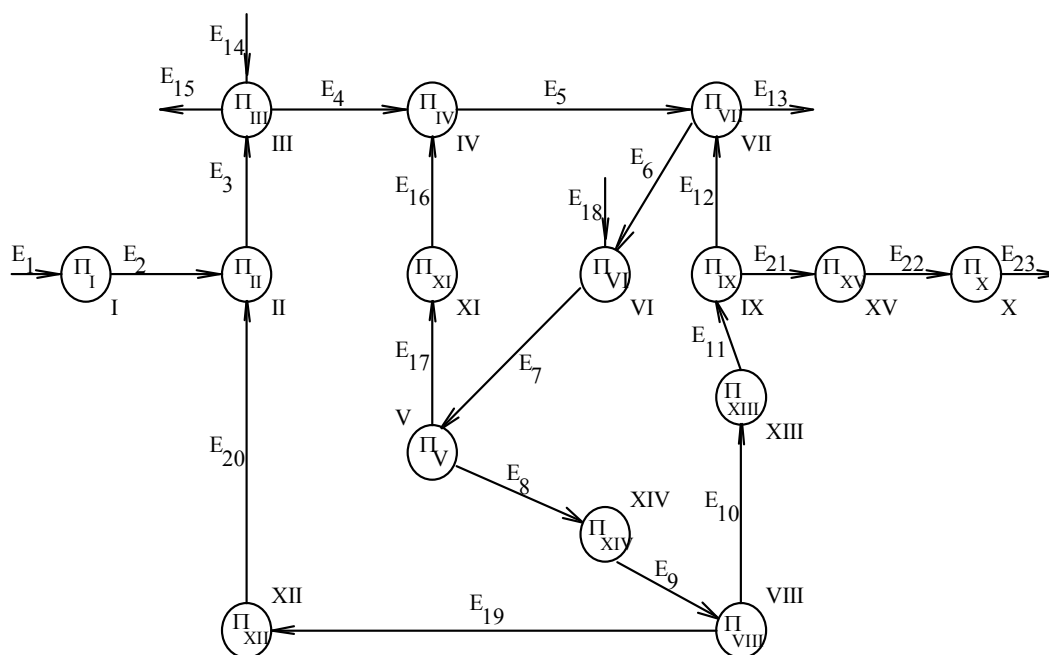


Fig. 3. Exergy flow graph corresponding to the flowsheet in Fig.2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	21	22	23	
										0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0			
I	1	-1																					
II		1	-1																1				
III			1	-1									1	-1									
IV				1	-1											1							
V						1	-1										-1						
VI						1	-1										1						
VII				1	-1							1	-1										
VIII								1	-1										-1				
IX										1	-1									-1			
X																					1	-1	
XI																-1	1						
XII																				-1			
XIII									1	-1													
XIV							1	-1															
XV																					1	-1	

Fig. 4. Matrix of incidence of the exergy flow graph shown in Fig.3

Parameters of the flows were calculated in [18] and given in Table 1.

Exergy of flows was calculated by formulas given in [3] with such approximations: exergy of fuel equal heat value Q_c^w , exergies of mass flows $e_j = (h_j - h_0) - T_0(s_j - s_0)$, where $P_0 = 0.1 \text{ MPa}$, $T_0 = 273.15 \text{ K}$. The reason for such approximation is to simplify the procedure of calculation. The chemical exergy of flows in gas-turbine installation ($e_j^{ch} = 0$) is ignored in the illustrated example, because even for combustion gases the amount of chemical exergy in full exergy of flow is usually less than 1% [3]. Besides, e_j^{ch} is not used in any element of the system and become a loss outside of the installation.

In the installation as shown in Fig.2, air with mass flow rate M_1 and parameters P_1 , t_1 enters filter I, where its pressure is throttled down from P_1 to P_2 . After that, air is compressed in turbocompressor II with a consumption of capacity $N_{II} = M_2(h_3 - h_2) = 2.72 \text{ MW}$ to parameters P_3 and t_3 (the driver for turbocompressor II is a turbine of average pressure VIII which sets on the same shaft with the compressor).

Air then enters to intermediate refrigerator III. In refrigerator III air is chilled by water (water is heated from t_{14} to t_{15}) to parameters P_4 and t_4 . Air is then compressed by the high pressure compressor IV with a consumption of capacity $N_{IV} = M_4(h_5 - h_4) = 2.26 \text{ MW}$ to parameters P_5 and t_5 (the driver for turbocompressor IV is a turbine of high pressure which sets on the same shaft as a turbocompressor is). Air enters a regenerative heater VII

and is heated to parameters P_6 and t_6 . The products of combustion are chilled from t_{12} to t_{13} .

Then the heated air passes to the combustion chamber where a full combustion (flow 18, $Q_c^w = 11.56 \text{ MJ/m}^3$) occurs. The products of combustion are formed (mass flow rate M_7 , temperature t_7 , pressure P_7). It enters the turbines of high (V), average (VIII), and low pressures (IX) successively, and expands with the removal of capacity

$$N_V = M_5(h_7 - h_8) = 2.54 \text{ MW} \quad (4)$$

$$N_{VII} = M_9(h_{10} - h_9) = 2.94 \text{ MW} \quad (5)$$

$$N_{IX} = M_{11}(h_{11} - h_{12}) = 3.05 \text{ MW} \quad (6)$$

The difference of parameters in points 8, 9 and 10, 11 are due to throttling in the pipe-lines.

Exergy losses in the turbines and in the turbocompressor are the result of dissipation of expansion (pressure) processes in a real installation. Degree of thermodynamic perfection of turbines and turbocompressors are sufficiently high. Usually, the bigger the difference between average parameters of the working fluid and the environment, the smaller the exergy losses.

The same situation is also true for heat exchangers. Higher temperature level in regenerative refrigerator VII (as compared with intermediate refrigerator III) gives a higher degree of thermodynamic perfection of the heat exchanger $v_{II} = 0.855$ as compared with $v_{III} = 0.699$.

Table1 Parameters of flows in the flowsheet of gas-turbine installation in Fig.2

Number of flow	Temperature $t, ^\circ\text{C}$	Pressure P, MPa	Enthalpy $h, \text{kJ/kg}$	Entropy $S, \text{kJ/kgK}$	Mass flow rate $M, \text{kg/s}$	Specific exergy $e, \text{kJ/kg}$	Exergy E, MW
1	15	1.01	15.1	0.216	27.00	-43.9	-1.18
2	15	0.98	15.1	0.225	27.00	-46.3	-1.25
3	115	2.42	115.9	0.257	27.00	45.9	1.24
4	25	2.38	25.2	0.009	27.00	22.8	0.62
5	108	4.96	108.9	0.045	27.00	96.7	2.60
6	314	4.84	329.8	0.522	27.00	137.3	5.05
7	684	4.64	738.2	1.066	27.95	446.9	12.49
8	606	3.24	647.4	1.079	27.95	353.3	9.87
9	606	3.13	647.4	1.091	27.95	349.9	9.78
10	511	1.94	542.1	1.102	27.95	241.5	6.75
11	511	1.92	542.1	1.107	27.95	240.2	6.72
12	412	1.09	432.9	1.126	27.95	124.9	3.49
13	212	1.02	218.8	0.768	27.95	5.7	0.16
14	15	0.30	63.2	0.224	19.50	2.1	0.04
15	45	0.30	188.5	0.638	19.50	14.2	0.28
16	-	-	-	-	-	-	2.26
17	-	-	-	-	-	-	2.54
18	20	0.59	34.7	0.580	0.95	12600	11.93
19	-	-	-	-	-	-	2.94
20	-	-	-	-	-	-	2.72
21	-	-	-	-	-	-	3.05
22	-	-	-	-	-	-	2.90
23	-	-	-	-	-	-	2.81

Table2. Thermodynamic characteristics of gas-turbine installation in Fig.2

No	Name of element	Number of corresponding node of graph	Sum of exergies flows		Exergy losses in element Π_i, MW	Degree of thermodynamic perfection η_i
			at inlet to element E_i^{en}, MW	at outlet from element E_i^{ex}, MW		
1	2	3	4	5	6	7
1	Filter	I	-1.18	-1.25	0.07	0.940
2	Turbo-compressor	II	1.47	1.24	0.23	0.843
3	Intermediate refrigerator	III	1.28	0.90	0.39	0.699
4	High pressure turbo-compressor	IV	2.88	2.60	0.28	0.902
5	High pressure turbine	V	12.49	12.41	0.08	0.933
6	Combustion chamber	VI	16.98	12.49	4.49	0.733
7	Regenerative heat exchanger	VII	6.09	5.21	0.88	0.855
8	Average pressure turbine	VIII	9.78	9.69	0.09	0.990
9	Low pressure turbine	IX	6.72	6.54	0.18	0.973
10	Generator	X	2.90	2.81	0.09	0.968
11	Drive of high pressure turbo-compressor IV	XI	2.54	2.26	0.28	0.889
12	Drive of turbo-compressor II	XII	2.94	2.72	0.22	0.925
13	Pipe-line tying turbines VIII and IX	XIII	6.75	6.72	0.03	0.995
14	Pipe-line tying turbines V and VIII	XIV	9.87	9.78	0.09	0.990
15	Generator drive	XV	3.05	2.90	0.15	0.950

Exergy losses in other elements of the system are caused by dissipation of the flow transport in the pipe-lines (elements XIII, XIV) or by mechanical losses (elements XI, XII, XV). For the system as a whole

$$E_F^{en} = E_1 + E_{14} + E_{15} = 10.841 \text{ MW} \quad (7)$$

$$E_F^{ex} = E_{15} + E_{12} + E_{23} = 3.246 \text{ MW} \quad (8)$$

$$\Pi_F = 7.595 \text{ MW} \quad (9)$$

The degree of thermodynamic perfection $\eta_F = E_F^{ex} / E_F^{en} = 0.299$ is less than the same characteristics for any element of the system in result of the mutual influence of one element on the other in the system.

4. Conclusion

A special model for advanced thermodynamic is presented. This general approach for thermodynamic system analysis is based on special properties of exergy flow graph. The model can be constructed for any energy-intensive system and is invariant for technological aim and structure of the system. For this reason, the model can be applied for the investigation of various energy intensive systems in different branches of industry. As illustrative example the thermodynamic analysis of gas-turbine installation is given.

References

1. Michael J. Moran and Howard N. Shapiro, Fundamentals of Engineering thermodynamics, John Wiley & Sons Inc., New York, 2004, 847 p.
2. Tutns S., Thermodynamics Concepts and Applications, Cambridge University Press, New York, 2006, 725 p.
3. E.B.Betouche, A.Fellah, A.B. Brachim, F.Aloui and M. Feidt Thermodynamic analysis of irreversibility in solar absorption refrigerators, Entropy, 2016, No.18(4), 107, pp. 1–9.
4. Hui Liu, Qing He and Bin Saeed, Thermodynamic analysis of compressed air energy storage system through advanced exergetic analysis, Journal of renewable and sustainable energy, 2016, No. 8, pp. 126–132.
5. Hanfui Wong, Sustainable engineering in the global energy sector, Journal of energy resources technology, 2015, No. 138(2), pp. 39–46.
6. F. Marias, P. Neveu, G. Tanguy, and P.Pappillon, Thermodynamic analysis and experimental study of solid/gas reactor operating in open mode, Energy, 2014, No. 162(3), pp. 757–765.
7. Ertac Hurdogan, Thermodynamic analysis of diesel engine fueled with diesel and peanut biodiesel, Environmental progress and sustainable energy, 2016, vol. 35(3), pp. 891–897.
8. Abdollah Doost and Reza Majlessi. Heat transfer analysis in cooling systems of hydropower's generator, Open journal of applied science, 2015, No.5, pp. 98–107.
9. J.C. Torchia-Nunez, J.C Servantes-de-Gortari and M.A.Porta-Gandara, Thermodynamics of a shallow solar still, Energy and Power Engineering, 2014, No.6, pp.246–265.
10. S Okanoto, Energy saving and economical evolution of ceramic gas turbine cogeneration, Open Journal of Energy efficiency, 2013, No.2, pp. 89–96.
11. V. Nikulshin, and V. von Zedtwitz, Optimization of heating systems with renewable energy sources, Proc. of the 18-th International Conference on Efficiency, ECOS-05, Trondheim, Norway, 2005, pp. 439–446.
12. C. Wu and V. Nikulshin, Method of thermoeconomical optimization of energy intensive systems with linear structure on graphs, International Journal of Energy Research, 2000, vol. 24(7), pp. 615–623.
13. V.Nikulshin, M.Bailey, and V.Nikulshina, Thermodynamic analysis of air refrigerator on exergy graph, Thermal Science, 2006, vol. 10, No.1, pp. 99–110.
14. V. Nikulshin and V. von Zedtwitz, The "entropy-cycle" method for thermodynamic analysis of energy intensive system, International Journal of Exergy, 2007, vol. 4, No. 1, pp.74–86.

15. Vladimir Nikulshin, Optimisation of system for thermal treatment of chlorine water, Desalination and water treatment, 2013, vol. 51 (7–9), pp. 1549–1553
16. Frank Harary, Graph Theory. Narosa Publishing House Pvt.Ltd., New Delhi, 2001, 298 p.
17. V.K. Balakrishnan, Graph Theory, Shaumm's Outline Service, New York, 1997, 312 p.
18. L.P. Andreev and V.R. Nikulshin, *Thermodynamic Analysis of Power-Technological Systems on Computer*, Kiev, The Center of Higher Education and Methods of Ukraine, 1992, 64 p. (in Russian).

Поступила (received) 23.05.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Розширений термодинамічний аналіз ексергетичних поточкових графів / В. Р. Нікульшин, А. Є. Денисова, А. С. Денисова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 10–16. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2220-4784.

Advanced thermodynamic analysis on exergy flow grafs / Vladimir Nikulshin, Alla Denysova, Anastasiia Denysova // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 41(1263). – p. 10–16. Bibliog.:18 titles. – ISSN 2220-4784.

Расширенный термодинамический анализ эксергетических потоковых графов / В. Р. Никульшин, А. Е. Денисова, А. С. Денисова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 10–16. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2220-4784.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Нікульшин Володимир Русланович – доктор технічних наук, професор, зав. кафедри теоретичної, загальної і нетрадиційної енергетики, Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса;
E-mail: ynikul@paco.odessa.ua

Nikulshin Volodimir Ruslanovich – doctor of science, professor of Department theoretical, general and non-conventional energy, Odessa National Polytechnic University, Odessa, E-mail: ynikul@paco.odessa.ua

Никульшин Владимир Русланович – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой теоретической, общей и нетрадиционной энергетики Одесского национального политехнического университета, г. Одесса
E-mail: ynikul@paco.odessa.ua

Денисова Алла Євсївна – доктор технічних наук, професор кафедри ТЕСтЕ, Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса; тел.: (048) 705-85-91; e-mail: alladenysova@gmail.com.

Alla Evseevna Denysova – doctor of science, professor of Department HPPandEST, Odessa National Polytechnic University, Odessa, tel.: (048)705-403; alladenysova@gmail.com

Денисова Алла Евсеевна – доктор технических наук, профессор, зав. кафедры тепловых электрических станций и энергосберегающих технологий Одесского национального политехнического университета, г. Одесса, тел.: (048) 705-85-91; e-mail: alladenysova@gmail.com.

Денисова Анастасія Сергїївна – Одеський національний політехнічний університет, студентка м. Одеса; тел.: (048) 705-85-91; e-mail: anastasiadenysova@gmail.com

Denysova Anastasiia Sergiivna – Odessa National Polytechnic University, student, Odessa, tel.: (048)705-403; anastasiadenysova@gmail.com

Денисова Анастасия Сергеевна – Одесский национальный политехнический университет, студентка, г. Одесса, тел.: (048) 705-85-91; e mail: anastasiadenysova@gmail.com.

УДК 378.17:665.347

С. І. БУХКАЛО

**СИНЕРГЕТИЧНІ ПРОЦЕСИ УТИЛІЗАЦІЇ-МОДИФІКАЦІЇ ПОЛІМЕРНОЇ ЧАСТКИ
ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

В статті наведені можливості постановки та вирішення сучасних високоефективних науково-обґрунтованих задач теорії для процесів утилізації-модифікації поліолефінів як полімерної частки твердих побутових відходів. Дослідження спрямовані на вивчення таких питань, як виявлення механізмів ідентифікації синергетичних процесів, їх наукового обґрунтування та розробка синергетичних моделей утилізації-модифікації значної полімерної частки твердих побутових відходів. При цьому враховувалися фактори зміни фізико-хімічних, фізико-механічних, молекулярних та інших властивостей поліолефінів у процесі їх первинної експлуатації. Розроблені методи ідентифікації-класифікації сировини – полімерної частки твердих побутових відходів, а також методи контролю властивостей вторинних полімерів з метою вибору науково-обґрунтованих методів переробки та утилізації-модифікації вторинних полімерів; розробки необхідних технологічних схем для різновидів вторинних полімерів і устаткування для переробки полімерних відходів у виробі нового асортименту; вибору підприємств для реалізації утилізації полімерів і виду енергетичних ресурсів для втілення цих проектних рішень.

Ключові слова: комплексні енерготехнології, поліолефінова частка, моделі синергетичних процесів, екологічна безпека, науково-обґрунтовані методи, переробка та утилізація.

В статье приведены возможности разработки и решения современных высокоэффективных научно-обоснованных задач теории для процессов утилизации-модификации полиолефинов как полимерной части твердых бытовых отходов. Исследования направлены на изучение таких вопросов, как выявления механизмов идентификации синергетических процессов, их научного обоснования и разработки синергетических моделей утилизации-модификации значительной полимерной части твердых бытовых отходов. При этом учитывались факторы изменения физико-химических, физико-механических, молекулярных и других свойств полиолефинов в процессе их первичной эксплуатации с целью выбора научно-обоснованных методов переработки и утилизации полимеров; разработки необходимых технологических схем и оборудования для переработки полимерных отходов; выбора предприятий для реализации утилизации полимеров и видов энергетических ресурсов для внедрения этих проектных решений.

Ключевые слова: комплексные энерготехнологии, полимерная часть ТБО, модели синергетических процессов, таря и упаковка, экологическая безопасность, научно-обоснованные методы, переработка и утилизация.

The materials presented the possibilities development of solving modern highly effective science-based problems of improving the use of wastes of different industries on a complex enterprise that can provide all its energy needs alone. Some features of the possibilities of solving evidence-based problems of development of mechanisms for identifying synergistic processes, their scientific justification improving the use of wastes of different industries on a complex enterprise. The problem of wastes utilization and recycling is present as complex synergetic processes research and analysis of energy- and resource saving processes for treatment of polymer wastes of various origin. The research focused on the study of issues such as the development of models of waste-modifying polymer. The investigation are focused in researching such problems as selection of scientific based methods of wastes to be utilized or recycled; the development of appropriated process flow sheets and choice of modifications additives and equipment for polymers waste recycling. The choice of appropriate plants with selected energy resources is very important for projects realization.

Keywords: integrated energy technologies, synergetic processes, polymer waste, packaging, evidence-based methods, ecological safety, wastes conversion and recycling.

Вступ.

Відомі авторам даної роботи дослідження з утилізації-модифікації полімерної частки твердих побутових відходів (ТПВ) на цей час, в основному, мають напрямок переробки якісних полімерних відходів, які не входять до складу ТПВ. Разом з тим, найбільш імовірними великотоннажними джерелами вторинної полімерної сировини є відходи зі зниженими до критичного мінімуму фізико-механічними, фізико-хімічними, реологічними, молекулярними, структурними та іншими характеристиками, тобто полімерні відходи, що втратили деякі свої якості з різних причин експлуатації: жорсткі умови, закінчення терміну споживання або сумішеві композиції з іншими полімерами та матеріалами.

Зрозуміло, що такі відходи вимагають застосування спеціальних науково-обґрунтованих методів переробки, конкретних в кожному випадку з

урахуванням зацікавленості суспільства в переробці полімерних відходів, як фактора поліпшення ресурсо- та енергозбереження, а також подальшого розвитку стану екологічної безпеки [1–6]. Необхідно також виробляти позицію суспільства й держави по зниженню техногенного навантаження на навколишнє середовище.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Дослідження спрямовані на вивчення таких питань, як розробка сучасних високоефективних моделей синергетичної утилізації-модифікації поліолефінової полімерної частки ТПВ з метою виробництва інноваційних вторинних полімерів [7–13]. При цьому враховувалися фактори вибору:

1) наукове обґрунтування методів ідентифікації-класифікації, переробки або утилізації полімерів;

2) розробки необхідних технологічних схем і устаткування для переробки полімерних відходів;

3) вибір підприємств для різновидів утилізації-модифікації і виду енергетичних ресурсів для реалізації цих проектних рішень.

Кожен із циклів переробки полімерної частки ТПВ вимагає науково-обґрунтованого інноваційного підходу, тому рішення задачі утилізації-модифікації ТПВ в загальному випадку ми розглядаємо як єдиний комплекс інноваційних проектів, що вимагає адекватних методів управління комплексним виробництвом [3, 6–12] з урахуванням властивостей сировини на кожному етапі.

Поліолефіни досить термостабільні матеріали, і їх повторна переробка шляхом екструзії або лиття під тиском не викликає утруднень, але має деякі особливості. Так, наприклад, при виборі співвідношення сировини вихідного й вторинного матеріалу для переробки треба враховувати дослідження з накопичення змін фізико-хімічних, фізико-механічних, молекулярних властивостей та характеристик у процесі реальної експлуатації [3, 4, 13]. Вироби з поліолефінів, що вийшли із вживання, у свою чергу, варто ідентифікувати-класифікувати та розділити на підгрупи за принципом можливості здійснення організованого збору та розробки сучасних процесів ресурсо- й енергозбереження.

Для розробки науково-обґрунтованої технології одержання вторинної сировини або проведення стадії утилізації-модифікації на її основі необхідно вивчити ті зміни в складі й будові, наприклад, поліетилену, які відбуваються в процесі первинної переробки й застосуванні за призначенням, особливо в результаті тривалої експлуатації плівки. Тільки на основі отриманих даних може бути запропонована технологія одержання вторинної сировини з відходів, що забезпечує підвищення експлуатаційних і технологічних властивостей матеріалу, а також розширення областей його застосування.

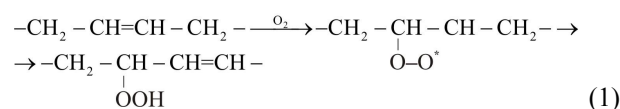
Перш за все треба розглянути структурно-хімічні зміни поліетилену при окислюванні у процесах експлуатації виробів з нього (основна мета дослідження), де можна чекати три типи реакцій взаємодії полімерів з киснем: окислювання як процес молекулярних реакцій, що окремо протікають, окислювання по ланцюговому механізмі, термічний розпад полімеру й окислювання продуктів розпаду. Всі вказані типи реакцій спостерігаються в реальних умовах, однак, найчастіше взаємодія полімерів з киснем відбувається по ланцюговому механізмі. За аналогією із процесами взаємодії кисню з низькомолекулярними вуглеводнями ряд авторів [78, 79] цей процес називають автоокисленням, він ініціюється світлом і тепловим впливом.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

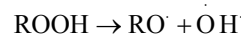
Дослідження з процесу автоокислення поліолефінів у процесі експлуатації [1, 2] характеризується трьома стадіями: періодом індукції,

який супроводжує стадія зародження ланцюгів; періодом прискорення, якому відповідають стадії росту ланцюгів; періодом сповільнення, що відповідає стадії обриву ланцюгів. Відповідно до зміни властивостей поліолефінів у період експлуатації, для них нами виділені агрегативні процеси, пов'язані із процесами зшивки, і деструктивні, пов'язані з розпадом макромолекул на більше дрібні фрагменти [3, 4]. Процеси зародження ланцюгів пов'язані з виникненням радикалів, тут є наступні можливості за стадіями:

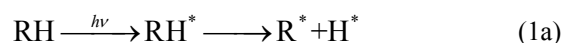
1. Приєднання молекул кисню в місці подвійного зв'язку та наступний розклад з утворенням гідроперекису:



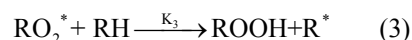
гідроперекис розщеплюючись, утворює:



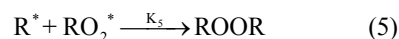
2. Фотоініціювання або поглинання кванта світла атомом водню у третинного вуглецевого атома, з наступним відщипленням атома водню:



3. Термічне ініціювання, пов'язане з термічним розривом зв'язку C–C або C–H. Наявність ненасичених груп у молекулах поліетилену значно прискорює утворення первинних радикалів. Термічне ініціювання вимагає значного розігріву. Утворення радикалів R, або RO₂ відбувається з константою швидкості K₁, а далі відбувається ріст ланцюга відповідно з константою швидкості K₂ та K₃:

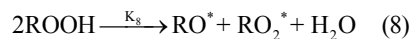
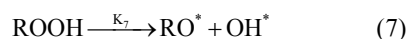


обрив ланцюга відбувається по одній з наступних реакцій відповідно з константою швидкості K₄, K₅ та K₆:



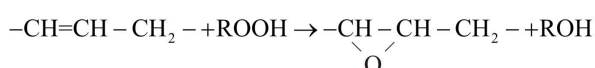
Приєднання кисню до радикала R відбувається надзвичайно швидко, майже з нульовою енергією активації. Радикал RO₂ значно менш активний, про це можна судити за часом напівперетворення цих радикалів для R^{*} – 10⁻⁸с і для RO₂^{*} – 10⁻²с [84]. Тому при надлишку кисню [RO₂^{*}] ≫ [R^{*}] обрив ланцюга відбувається майже винятково по реакції (6).

У результаті мономолекулярного або бімолекулярного розкладу гідроперекису далі відбувається вторинне утворення радикалів:

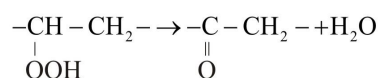


Ці вторинні радикали вступають у реакції росту ланцюга, що приводить до прискорення процесу.

При дослідженні враховано, що у реакціях граничних вуглеводнів імовірність атаки однаково проходить для всіх метиленових груп, тоді як в олефінах окисляються переважно метиленові групи, що перебувають в α -положенні до подвійного зв'язку [85, 86]. Гідроперекиси термічно нестійкі й при нагріванні можуть розкладатися не по ланцюговому, а по звичайному молекулярному механізму з утворенням стабільних кисневих з'єднань. Прикладом може служити взаємодія гідроперекису з подвійним зв'язком [79, 87]:

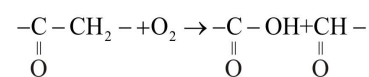


Утворення карбонільних груп можливо в реакціях:



при подальшому окислюванні карбонільні з'єднання

можуть переходити в карбоксильні:



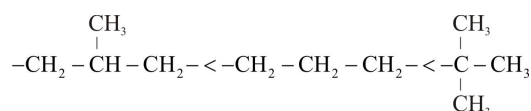
Всі ці реакції пов'язані з розривом ланцюгів і відносяться до деструктивних процесів, але поряд з ними відбуваються агрегативні процеси, у них приймають участь подвійні зв'язки паралельних ланцюгів, а також імовірні ланцюгові реакції одночасно у двох і більше точках макромолекули.

У результаті процесу зшивки утворюються просторовозшиті структури. Можна припустити, що в процесах старіння при дії кисню й світла зшивка відбувається переважно шляхом утворення кисневих містків між розгалуженими ланцюгами. Ці містки можуть бути перекисними, ефірними й складноефірними. Розвиток всіх окисних процесів відбувається з поверхні, впровадження кисню вглиб матеріалу визначається швидкістю дифузії кисню в полімери. Тому плівкові матеріали за нашими дослідженнями найбільшою мірою схильні до фотоокислювальної деструкції [88]. Потрібно зазначити, що поліетилен у процесі експлуатації набуває нових властивостей (табл. 1, визначена нами кількість киснеутримуючих груп: 1 – складноефірні, 2 – карбоксильні, 3 – гідроксильні; 4 – кількість гел-фракції; δ_p – руйнівне напруження при розтяганні; ε – відносне подовження при розриві, які далі у процесах повторної переробки, наприклад поліетилену, надають неізотермічність його розплаву.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика зміни властивостей поліетиленової плівки у процесі експлуатації

Місце експлуатації	Час експлуатації, діб	Визначена кількість, %				ММх10 ³	δ_p , МПа	ε , %
		1	2	3	4			
Харків	60	1,53	0,31	0,19	35,3	43	9,6	221
	120	0,19	1,15	0,44	34,8	18	9,4	182
Сочі	60	2,10	0,72	0,91	29,4	18,4	9,4	130
	120	–	1,28	1,21	40,8	14,2	9,3	212
Олайн	60	1,10	0,57	0,30	28,5	26,6	9,7	134
	120	0,04	0,90	0,61	39,4	18,1	9,5	151
Лівни	60	1,20	0,20	0,28	22,8	22,4	9,8	340
	120	0,03	1,10	1,26	29,7	18,3	9,5	300

Залежність кінетики фотоокислювання від строку експлуатації й молекулярних властивостей поліетилену можна описати наступними положеннями. Якщо вважати, що стійкість полімерів до термо- і фотоокислювальної деструкції близькі, то становлять інтерес дані Мадорського С. про те, що енергія активації деструкції лінійного поліетилену-поліметилу – вища, ніж розгалуженого. Показано, що третинний атом водню легше всього реагує з радикалом. Тому відносна стійкість полімерів поліетиленового ряду може бути оцінена в такий спосіб [3, 4, 13, 14]:



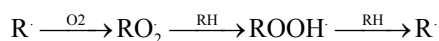
тобто найменш стійкий третинний водень.

Аналіз ряду наших досліджень (табл. 1) показав, що адсорбція кисню відбувається в неупорядкованих областях поверхневого шару, а дифузія кисню відбувається також через неупорядковані області [13, 14]. Це підтверджується порівнянням поглинання кисню зразками поліетилену з різним ступенем кристалічності.

Так, підвищення кристалічності з 90 до 98 % знижує поглинання кисню при температурі 100 °C за 1000 годин з 35 до 18 мл/г. Однак, при температурі 140 °C швидкість окислювання й ефективність стабілізуючої дії фенолів і ароматичних амінів не залежить від морфологічних особливостей зразків. На думку авторів, це пов'язане з тим, що поблизу цієї температури відбувається повне руйнування надмолекулярної організації – перехід до повністю аморфної структури поліетилену.

Теорію синергетичного механізму утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ розглядали з умов спільної дії сукупності факторів для обраних науково-обґрунтованих моделей виробництва вторинних полімерних матеріалів. Для досягнення загальних цілей процесів утилізації-модифікації, використовували принципи, що ціле (вторинний полімер) представляє за властивостями щось більше, ніж сума його частин. Синергетика – це інноваційний науковий напрямок технології полімерних матеріалів, він сприяє дослідженню зв'язків між елементами структури (підсистеми), що утворюються в відкритих системах, завдяки інтенсивному (потоківому) обміну властивостями сировини, обраними речовини з синергетичними можливостями та механізмами взаємодії з навколишнім середовищем в нерівноважних умовах. Загальний еволюційний процес як процес самоорганізації, незважаючи на його можливу стихійність, має певну спрямованість: проходить зростання цільових різновидів механізмів різноманітних форм, складності структур та властивостей. Тобто, одна з задач синергетики у даному випадку – з'ясування законів побудови організації, виникнення упорядкованості. Тут акцент робиться на принципах побудови організації, її виникнення, розвитку та самоускладнення. Суттєвою відмінністю стратегій технологічної діяльності синергетичної утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ є освоєння принципово нових типів об'єктів та процесів, що представляють досить складні макросистеми. В таких відкритих системах виникають кооперативні явища, що базуються на енергетичних, інформаційних, матеріальних потоках. Таким чином, синергетика передбачає наявність у собі усі значимих для дослідження процесів самоорганізації, теоретичних та методологічних висновків з системних досліджень.

Синергізм інгібіторів для окиснення поліолефінів у наших дослідженнях зв'язували з ланцюговими вільнорадикальними процесами окиснення жирів (можливі кінцеві продукти) схематично виражається послідовністю реакції [1]:



Для сповільнення процесу окиснення можливе застосування декількох механізмів. Наприклад ввести речовину, що буде швидко реагувати з R'-

радикалом. Це зменшує кількість ланцюгів та знижує швидкість окиснення. Також можна ввести речовину, що швидко реагує з пероксидними радикалами. Або ввести речовину, що руйнує гідропероксид без утворення вільних радикалів. За описаними механізмами дії, інгібітори окиснення поділяють на групи. Є інгібітори комплексної дії, які здатні реагувати з речовинами, що окислюються, за різними напрямками. Їх дія комбінована за рахунок того, що одна і та ж функціональна група може реагувати як з R'-радикалом, так і з RO₂'-радикалами. Або різні групи молекули можуть реагувати за різними напрямками. Також за різними напрямками можуть реагувати вихідні молекули та продукти перетворення. В деяких системах що окислюються, є можливість багаторазового обриву ланцюгів макромолекул – за рахунок хімічних реакцій регенерації в актах обриву ланцюгів.

Якщо у складі речовин обраних за різновидами міркувань для стадії утилізації-модифікації, що за принципом своєї дії відносяться до різних груп, то часто можна спостерігати явище синергізму. При синергізмі такі речовини посилюють антиоксидантну силу один одного [21].

Для досягнення синергетичних ефектів використовують відомості про типи взаємодій компонентів. Одним із найбільш поширених способів досягнення синергетичних взаємодій в полімерних системах утилізації-модифікації є так званий «відновний синергізм» – окиснена форма відновлюється менш активним, а тому й більш стабільним так званим «антиоксидантом».

Цікавим способом досягнення синергетичних ефектів є випадок, коли в результаті взаємодії двох компонентів з'являється антиоксидант, сила якого перевищує антиоксидантну силу початкових компонентів. Незважаючи на те, що даний вид синергетичних взаємодій антиоксидантів надає значний вплив на загальну антиоксидантну активність системи, що окислюється, інформації про ефективний комбінування різних речовин полімерної частки ТПВ, практично, надано мало.

Дослідження синергізму є актуальним та доцільним з тих причин, що при наявності синергізму можливе: застосування речовин для модифікації за обраним алгоритмом (рис. 1) в менших оптимальних кількостях; збільшення строку експлуатації вторинних полімерів; зменшення собівартості нового асортименту продукції.

Синергізм для утворення вторинної полімерної сировини у процесі утилізації-модифікації можна розглядати як використання особливостей хімічних перетворень у полімері з урахуванням того, що основні сегментальні рухи, дифузійні процеси й хімічні взаємодії відбуваються в аморфній фазі полімеру. При дослідженні виявилось, що плівки з більше високим ступенем кристалічності окислялися з більш високою швидкістю, ніж з меншим ступенем кристалічності. Можна припустити, що причиною цього є сповільнення реакцій обриву ланцюга в кристалічних областях внаслідок малої сегментальної

рухливості впорядкованих ланцюгів. Можна відмітити також, що антиоксиданти розподіляються головним чином в аморфних областях. Вивчення впливу молекулярної маси й ступеня розгалуженості поліетилену на накопичення в зразках у процесі природного старіння карбонільних груп і оцінка властивостей зразків показала, що найбільше накопичення карбонільних груп відбувається для розгалуженого полімеру, що корелює з результатами, отриманими при фотоокислюванні полімеру. Однак механічні властивості розгалуженого поліетилену після старіння зберігаються на більш високому рівні, що можна пояснити особливостями мікроструктури матеріалу. При цьому істотного зниження молекулярної маси досліджених зразків не виявлено.

Тут слід зазначити розходження механізмів фото- і термоокислювальної деструкції. При термоокислювальній деструкції розходження в ступені кристалічності після 140 °C не істотні. Фотоокислювальна деструкція розвивається при значно більш низьких температурах і тут вплив будови полімеру позначається значніше. Варто

пам'ятати, що хоча дифузія розвивається помітніше в аморфній частині, рекомбінація вільних радикалів відбувається в ній легше внаслідок більшої сегментальної рухливості саме в аморфному шарі. Тому цілком можливо, що фотодеструкція лінійних висококристалічних зразків поліетилену розвивається швидше, ніж менш кристалічних розгалужених зразків, у яких сегменти є більш рухомі й реакції обриву кінетичних ланцюгів імовірніше. Ці дані погоджуються з [89], де відзначено, що термодеструкція поліметилпентену супроводжується різким зниженням ступеня кристалічності, що пояснюється авторами руйнуванням, у першу чергу, кристалічної частини.

На відміну від термоокислювальної деструкції, при фотоокислювальних процесах [2] молекулярна маса поліетилену мало змінюється. Спостерігається просторова зшивка й зміна характеру монокулярно-масового розподілу – замість унімодального розподілу з'являється бімодальне [2], тобто необхідними є дії за іншим алгоритмом (рис. 1 та 2).

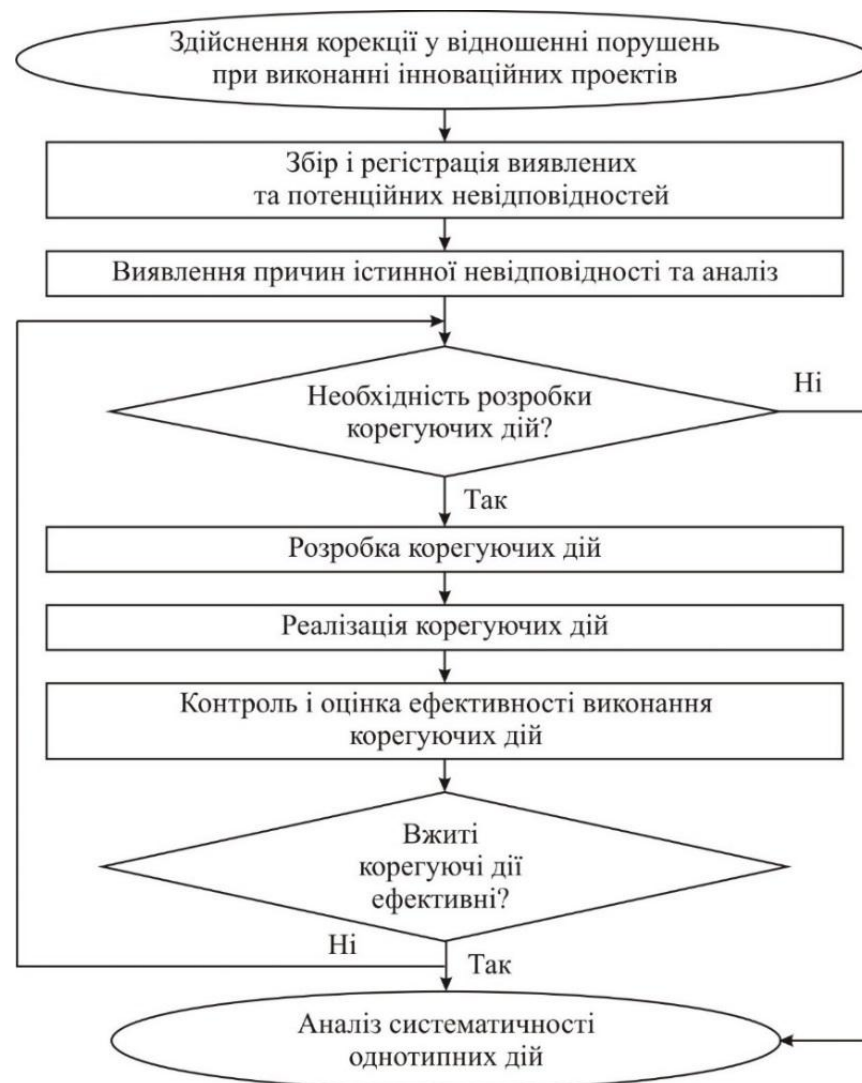


Рис. 1. Алгоритм контролю порушень при утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ



Рис. 2. Загальний алгоритм процесів ідентифікації-класифікації або утилізації-модифікації ТПВ

Таблиця 2. Зміна кількості ненасичених груп та молекулярної маси в поліетиленовій плівці

Час експлуатації, дб	Вміст ненасичених груп на 100 атомів вуглецю					Молекулярна маса $\times 10^{-3}$
	Вінільна	Вініліденова	Трансвініленова	Підсумок	Метильна	
0	0,0142	0,0974	0,0113	0,1230	5,6720	46
30 літо	0,0192	0,0620	0,0125	0,0940	5,0910	44
62 літо	0,0583	0,0558	0,0290	0,1430	4,5210	43
128 літо	0,1385	0,0400	0,0300	0,2085	3,6980	18
30 осінь	0,0164	0,0769	0,0154	0,1087	4,9520	45
90 осінь	0,0111	0,0636	0,0145	0,0892	4,9630	43

Природно припустити, що при окисленні обрив ланцюга відбувається переважно при переході ланцюга з кристалічної в аморфну частину, що і надає синергетичні властивості вторинній полімерній сировині. Деформація виступаючої з кристалічною частини ланцюга велика і ділянка ланцюга в цій зоні подібна консольно-закріпленій балці. Обрив ланцюга може бути підтверджений помітним зниженням молекулярної маси розчинної частини поліетилену в процесі експлуатації (табл. 2). Нами визначено, що

кисень дифундує переважно в аморфні області [4, 8], де вільний об'єм більший, ніж у кристалічних областях. Аморфні області займають від 40 до 50% об'єму зразка, вони можуть бути розподілені у всій масі, пронизуючи плівку на всю товщину. У якості прикладу з розробки моделей синергетичних процесів утилізації-модифікації поліетиленової плівки тривалої експлуатації нами рекомендований метод хімічного спінювання вторинного поліетилену, отриманого на основі об'єкта дослідження (табл. 3).

Таблиця 3. Вплив параметрів контролю властивостей хімічного спінювання вторинного поліетилену (СВПЕ) на функції відгуку Y

Параметри	Функція відгуку Y
Y_1	$Y_1 = 2987,50 + 237,50x_1 + 362,50x_2 + 337,50x_3 + 12,50x_1x_2 + 37,50x_1x_3 - 187,50x_2x_3 + 12,50x_1x_2x_3$
Y_2	$Y_2 = 44,91 + 6,58x_1 + 7,27x_2 + 9,45x_3 - 0,28x_1x_2 + 1,82x_1x_3 - 5,12x_2x_3 - 5,22x_1x_2x_3$
Y_3	$Y_3 = 0,17 + 0,0004x_1 + 0,0007x_2 + 0,0009x_3 + 0,0001x_1x_2 + 0,00013x_1x_3 - 0,0004x_2x_3 - 0,0009x_1x_2x_3$
Y_4	$Y_4 = 0,280 - 0,083x_1 - 0,120x_2 - 0,130x_3 - 0,002x_1x_2 - 0,007x_1x_3 + 0,050x_2x_3 + 0,073x_1x_2x_3$

Дослідження проводили за допомогою методу повного факторного експерименту (табл. 3). Показники процесів спінювання: кількість утворених комірок на 1 см² перетину зрізу СВПЕ, прийняте в якості вихідного параметра Y_1 (%); об'єм газової фази у процесі отримання СВПЕ – Y_2 (%); середній діаметр комірок – Y_3 (%), уявна густина СВПЕ – Y_4 (%) та інші. Факторами (табл. 3) були обрані параметри проведення процесу спінювання: X_1 – кількість комплексу для активації, %; X_2 – температура спінювання, °C; X_3 – час витримки при температурі спінювання, хв. Вихідні дані: $X_{10}=3$; $X_{20}=170$; $X_{30}=15$; $\Delta X_1=1$; $\Delta X_2=10$; $\Delta X_3=5$.

Вторинний поліетилен (ОСТ 63–786–72), для синергетичних процесів спінювання отриманий з поліетиленової плівки тривалої експлуатації додатково контролювали за кількістю геліфракції, карбонільних, карбоксильних і складноэфірних груп. До складу комплексу з активації процесу спінювання ППТ входить азодикарбонамід, оксид цинку, стеаринова кислота та стеарат кальцію. Розмір комірок спінених полімерів досить суттєво впливає на їх властивості: зі зменшенням розміру бульбашок газової фази (тобто з збільшення їх кількості в одиниці об'єму) міцність помітно підвищується і зростає величина граничної деформації при розриві.

Характерною ознакою комплексних підприємств енергетичного міксу може бути інтегрований показник енергоефективності, що означає ефективне (раціональне) використання усіх енергетичних ресурсів – з урахуванням твердих побутових відходів (ТПВ) у якості вторинних енергетичних ресурсів. Таким чином, можна переходити до використання меншої кількості первинних енергетичних ресурсів для того ж рівня енергетичного забезпечення будівель або технологічних процесів на виробництві. Ця галузь знань перебуває на стику технології та інженерії. На відміну від енергозбереження (заощадження, збереження енергії), головним чином спрямованого на зменшення енергоспоживання, енергоефективність (корисність енергоспоживання) – корисне (ефективне) витрачання енергії.

Об'єктом дослідження є концепції синергетичних процесів на основі аналізу пріоритетів утилізації ТПВ конкретно в кожному регіоні України, вивчення основних напрямків утворення ТПВ та процесу поділу на складові, з метою вибору науково-обґрунтованих методів їх використання як вторинної сировини.

Предмет дослідження – технології, методи і способи, що застосовуються різними компаніями з утилізації ТПВ; розробка методів контролю

властивостей та ідентифікації ТПВ з метою забезпечення якості отриманої з них вторинної сировини; вибір і розробка технологічних схем і технічних механізмів реалізації комплексних проектів утилізації ТПВ для розширення процесів ресурсозбереження та енергоефективності.

Розроблена синергетична модель з метою вивчення впливу концентрації технологічних добавок на можливості і параметри переробки відходів у вторинний матеріал. У число факторів, що впливають були включені температура екструзії T (X_1), навантаження G (X_2) і концентрація стеарату барію C (X_3). З результатів попередніх експериментів визначено, що модифікацію вторинного поліетилену технологічними добавками в процесі екструзії необхідно проводити в температурному інтервалі

190–210 °C при навантаженні 49,8–74,7 Н, концентрації стеарату барію (СБ) 0,3–1,5%.

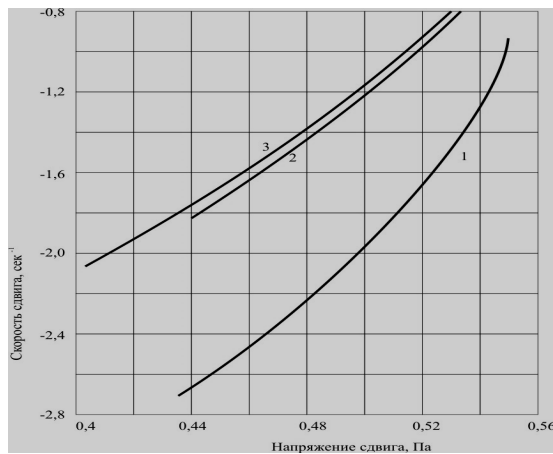
Проведені експерименти і виведено рівняння регресії для процесу модифікації вторинного поліетилену стеаратом барію при екструзії вказує на його велику чутливість до концентрації стеарату барію, тиску при переробці в екструдері і в меншій мірі від температури переробки, для даних умов досвіду. Введення «мастил» дозволяє усунути нерівномірність і деформацію струменя розплаву при переробці вторинного поліетилену в вироби. Загальне підвищення технологічних властивостей при введенні модифікаторів призводить до збільшення продуктивності в процесі гранулювання, а також до підвищення якості виробів, отримали розкороване рівняння регресії Y_5 (табл. 4).

Таблиця 4. Вплив параметрів контролю властивостей вторинного поліетилену на функції відгуку Y

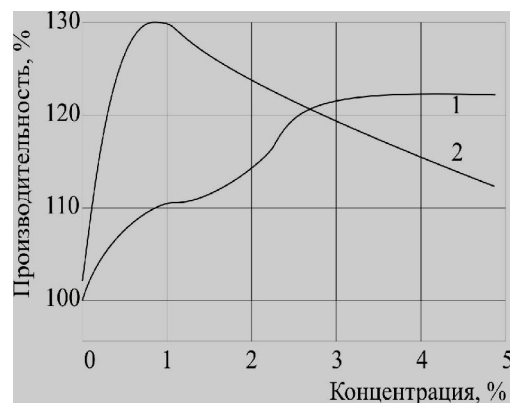
Параметри	Функція відгуку Y
Y_5	$Y_5 = 17,40 - 0,09T - 0,38G + 6,07C + 0,002T \cdot G - 0,03T \cdot C - 0,16G \cdot C + 0,0008T \cdot G \cdot C$
Y_6	$Y_6 = -15,21 - 0,23T - 0,58\tau - 173,85C + 0,003T \cdot \tau + 0,91T \cdot C + 2,32\tau \cdot C - 0,012T \cdot \tau \cdot C$

Синергетичні процеси утилізації-модифікації композиції вторинного поліетилену (ВПЕ) зі СБ досліджені за реологічними кривими (рис. 1а). Характерною ознакою визначена практично прямопропорційна залежність напруги від швидкості зсуву, що свідчить про можливість полегшення

переробки матеріалу і дозволяє її проводити в більш широкому інтервалі технологічних параметрів. Загальне підвищення технологічних властивостей при введенні модифікатору призводить до збільшення продуктивності в процесі гранулювання (рис. 1б), а також до підвищення якості виробів.



а



б

Рис. 1. Криві течії композицій (а): 1 – ВПЕ; 2 – ВПЕ + 1 % СБ; 3 – ВПЕ + 2 % СБ; продуктивність процесу гранулювання композицій (б): 1 – ВПЕ + СБ; 2 – ВПЕ + поліетилгідросилоксан

При розробці процесу модифікації властивостей вторинного поліетилену перекисом дикумила методом лиття під тиском досліджувалася міцність при розриві зразків, прийнята в якості вихідного параметра Y_6 (%). Факторами обрано такі показники: X_1 – температура лиття під тиском в останній зоні, °C; X_2 – тривалість циклу лиття, с; X_3 – кількість перекису дикумила,%. Вихідні дані для проведеного експерименту обрано такі: $X_{10} = 190$;

$X_{20} = 75$; $X_{30} = 0,25$; $\Delta X_1 = 20$; $\Delta X_2 = 10$; $\Delta X_3 = 0,15$ отримали розкороване рівняння регресії (табл. 4).

Аналіз технологій синергетичних процесів і їх застосування представляє не лише наукову, а й практичну проблему, безпосередньо пов'язану з національними інтересами нашої країни, що в свою чергу визначає важливість та актуальність обраної теми дослідження. Але найголовніше – Україні необхідно мати свій власний стратегічний план.

Проведені дослідження, їх аналіз та використання отриманих результатів, наприклад, впливу процесів окиснення при експлуатації виробів з полімерів надають можливості застосування декількох синергетичних механізмів. Наприклад ввести речовину, що буде швидко реагувати з $R^{\cdot}$ -радикалом, зменшує кількість ланцюгів та знижує швидкість окиснення. Також можна ввести речовину, що швидко реагує з пероксидними радикалами. Або ввести речовину, що руйнує гідропероксид без утворення вільних радикалів. За описаними механізмами дії, такі речовини-інгібітори окиснення поділяють на групи:

1) це інгібітори, що обривають ланцюги по реакції з пероксидними радикалами, наприклад, феноли, ароматичні аміни, нафтоли, амінофеноли;

2) це інгібітори, що обривають ланцюги по реакції з алкільними радикалами;

3) це інгібітори, що руйнують гідропероксид без генерування вільних радикалів, наприклад, сульфіді, дисульфіді, тіофосфати, арсеніти, ефіри фосфорної кислоти. Такі речовини-інгібітори не можуть зупинити процес окиснення, але можуть, знижуючи швидкість виродженого розгалуження ланцюгів, знизити швидкість окиснення.

Найбільш корисними є речовини-інгібітори комплексної дії, що окислюються, за різними напрямками. Їх дія комбінована за рахунок того, що одна і та ж функціональна група може реагувати як з $R^{\cdot}$ -радикалом, так і з $RO_2^{\cdot}$ -радикалами. Або різні групи молекули можуть реагувати за різними напрямками. Також за різними напрямками можуть реагувати вихідні молекули та продукти перетворення інгібітору. Якщо у складі антиоксиданту є речовини-інгібітори, що за принципом своєї дії відносяться до різних груп, то часто можна спостерігати явище синергізму – посилення антиоксидантної сили один одного.

Для досягнення синергетичних ефектів використовували відомості про типи взаємодій компонентів. Одним із найбільш поширених способів досягнення синергетичних взаємодій в полімерних системах є так званий «відновний синергізм» – окиснена форма полімеру відновлюється менш активним, а тому й більш стабільним речовинами. Інший спосіб досягнення синергетичних взаємодій – поєднання речовин, що обривають ланцюги окиснення. Такі речовини-інгібітори здатні інгібувати вільні радикали, що приводить до збільшення антиокислювальної активності системи.

Цікавим способом досягнення синергетичних ефектів є випадок, коли в результаті взаємодії двох компонентів з'являється вторинний полімер, властивості якого подібні первинному полімеру або є новими для нього. Незважаючи на те, що даний вид синергетичних взаємодій надає значний вплив на загальну антиоксидантну активність системи, що окислюється, у літературі інформації про ефективні комбінування різних речовин надано мало. Ефективне комбінування різних типів утилізації-

модифікації можливе за умови розуміння механізму їх дії та умов використання у різних системах.

Внаслідок наявності великого числа факторів для системи у процесі окиснення, що впливають на ініціювання окиснення, не існує речовин-інгібіторів, універсальних для всіх окиснювальних систем.

Дослідження синергізму є актуальним та доцільним з тих причин, що при наявності синергізму, наприклад, можливе: застосування антиоксидантів в менших кількостях; підвищення фізико-механічних властивостей при утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ; збільшення строку експлуатації виробів з вторинних полімерів, розробка принципово нового асортименту виробів та зменшення їх собівартості.

Виявлено, що розвитку процесів старіння запобігають з'єднання, що реагують із активними центрами старіння й з порівняно стабільними проміжними продуктами, здатними генерувати при умовах, що змінилися, активні центри. Відзначається новий принцип стабілізації полімерів, заснований на тому, що речовини, які додаються до полімеру, тільки в процесі фотодеструкції утворюють інгібітори старіння – активні фрагменти власної деструкції.

Таким чином, можна зробити висновок, що менеджери комплексних інноваційних проектів поряд зі спеціалістами інших професій повинні використовувати різні способи і методи при прийнятті управлінських рішень, які дозволяють досягти поставленої мети. Класифіковані види й методи переробки великотоннажних відходів, наприклад поліолефінів. Встановлена необхідність дослідження основних структурно-хімічних змін поліолефінів при окисненні. Розроблені методи вивчення фізико-хімічних властивостей у процесі експлуатації виробів з поліетилену та виявлені закономірності зміни експлуатаційних його характеристик. Так, наприклад, запропоновані й досліджені, методи синергетичної утилізації-модифікації фізико-механічних і механічних властивостей вторинного поліетилену отриманого з поліетиленових відходів різного строку експлуатації. Це зв'язано також з умовами підвищення економічної ефективності використання твердих побутових відходів (ТПВ) та відходів різних галузей промисловості на комплексному підприємстві, яке може забезпечувати усі свої енергетичні потреби самостійно. Відображена еволюція термінів синергізм, синергічний ефект, синергетична система як алгоритм технології. Проведено аналіз літературних джерел, в яких представлені результати вивчення ефектів синергізму в технології переробки полімерів. Розглянуто наукове обґрунтування сучасних підходів до оцінки ефектів синергізму: ідентифікація зміни властивостей у процесі експлуатації виробів з полімерних матеріалів, проведено аналіз за розробленими нами методиками показників оцінки їх властивостей, розроблені механізми формування синергетичних систем, що дозволяє вирішувати комплексні інноваційні проблеми для полімерної частки ТПВ.

Оптимізовані практичні завдання складання рецептур для стадій утилізації-модифікації з урахуванням інноваційних синергетичних властивостей нових вторинних полімерних матеріалів і вибору параметрів технологічних процесів їх переробки.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Традиційна технологія поводження з полімерними відходами у вигляді тари та пакування, як частини ТПВ вже на стадії їх збирання не залишає можливості для їх екологічно безпечної переробки у вторинні матеріали, перш за все вона не відповідає навіть санітарно-гігієнічним нормам, а про переробку у якісні товари мова зовсім не йде. Основою екологічної безпеки у технологіях поводження з полімерними відходами такого типу є створення нової ефективної науково-обґрунтованої, маловідходної або безвідходної технології утилізації, котра дозволяє одержувати цільові продукти для хімічної промисловості та енергоносії, а з системи мають виводитися тільки продукти, що складають біосферу.

Створення таких технологій дозволяє вирішувати два взаємозалежні завдання: 1) екологічна безпека утилізації частини ТПВ з урахуванням ресурсо- і енергозбереження, і 2) економічна доцільність, з

урахуванням соціальної ефективності, що дозволяє інтенсивно розвивати галузі промисловості.

Викладені напрямки наукового обґрунтування комплексного екологічно-безпечного сталого розвитку хімічної та харчової технології, а також з використання полімерної частки твердих побутових відходів (ТПВ) [1–14]. Результати досягнень реалізовані в ієрархії ідентифікації-класифікації – визначення зміни властивостей, хімічного складу та побудови поліолефінів у процесах їх експлуатації при натурних умовах для різновидів поліолефінів. Виконані фундаментальні та прикладні дослідження з науково-обґрунтованими оригінальними результатами:

Визначені синергетичні моделі процесів утилізації-модифікації вторинних поліолефінів (ВПО) з метою отримання вторинних полімерних нового призначення. Розробка та реалізація нових методів контролю ієрархії ідентифікації-класифікації полімерної частки ТПВ та її властивостей. Результати досягнень частково реалізовані в технологіях сучасних високоефективних методів переробки полімерної частки ТПВ у вироби в модульних установках промисловості ВПО.

Список літератури

1. Бухкало С.І. Технології ресурсо- та енергозбереження для полімерної тари та пакування / Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентноздатності. Матеріали V міжн. спеціалізованої науково-практичної конференції. 14 вересня 2016 р., – Київ. – К. НУХТ, 2016. – с. 21–23.
2. Бухкало С.І. Регулирование эффективности ресурсо- и энергосбережения на комплексных предприятиях по переработке отходов / Бухкало С.І., Гардер С.Е., Ольховская О.И. и др. // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2011. – № 21. – с. 72–80.
3. Бухкало С.І. Моделі енергетичного міксу для утилізації полімерної частки ТПВ // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2016. – № 19 (1191). – с. 23–32.
4. Бухкало С.І. Ресурсосберегающие технологии использования полимерных отходов. Интегрированные технологии та энергосбережения. Х.: НТУ «ХП», 2001, № 2, с. 106–112.
5. Бухкало С.І. К вопросу энергосбережения процесса агломерирования полимерной упаковки. Интегрированные технологии та энергосбережения. Х.: НТУ «ХП», 2005, № 2, с. 29–33.
6. Бухкало С.І. Деякі властивості полімерних відходів у якості сировини для енерго- і ресурсозберігаючих процесів // Інтегровані технології та енергозбереження. – Х.: НТУ «ХП». 2014. – № 4. – с. 29–33.
7. Бухкало С.І. Структура потоків комплексного підприємства / Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXV міжн. н/практ. конф. MicroCAD-2017, 17-19 травня 2017. // За ред. проф. Сокола С.І. Ч.ІІІ, – Х.: НТУ «ХП», с. 14.
8. Бухкало С.І. Комплексна екологічно-інформаційна безпека проектів підприємства / Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXV міжн. н/практ. конф. MicroCAD-2017, 17-19 травня 2017 // Ред. проф. Сокола С.І. Ч.ІІІ, – Х.: НТУ «ХП», с. 15.
9. Бухкало С.І. Математическое моделирование процессов ресурсо- и энергосбережения для полиэтиленовых отходов / Бухкало С.І., Кукленко Д.В., Борхович А.А. и др. // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2010. – № 32. – с. 117–122.
10. Бухкало С.І. Деякі властивості полімерних відходів у якості сировини для енерго- і ресурсозберігаючих процесів // Інтегровані технології та енергозбереження. – Х.: НТУ «ХП». 2014. – № 4. – с. 29–33.
11. Бухкало С.І. Моделі енергетичного міксу для утилізації полімерної частки ТПВ // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2016. – № 19 (1191). – с. 23–32.
12. Бухкало С.І. Об утилизации полимерных отходов как комплексе инновационных проектов / Бухкало С.І., Сериков А.В., Ольховская О.И. и др. // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2012. – № 10. – с. 160–166.
13. Бухкало С.І. Деякі моделі процесів хімічного спінювання вторинного поліетилену // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2017. – № 18 (1240). – с. 35–45.
14. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості: тестові завдання (підручник з грифом МОНУ), Київ: Центр учбової літератури, 2014. – 412 с.

Bibliography (transliterated)

1. *Buhkalo S.I.* Tehnologii resurso- ta energozberezhenija dlja polimernoї tari ta pakuvannja / Resurso- ta energooshadni tehnologii virobnictva i pakuvannja harchovoї produkciї – osnovni zasady її konkurentnozdatnosti. Materiali V mizhn. specializovanoї naukovo-praktichnoї konferenciї. 14 veresnja 2016 r., – Kiїв. – K. NUHT, 2016. – p. 21-23.
2. *Buhkalo S.I.* Regulirovanie jeffektivnosti resurso- i jenergosberezhenija na kompleksnyh predprijatjah po pererabotke othodov / Buhkalo S.I., Garder S.E., Ol'hovskaja O.I. i dr. // Visnik NTU «HPI». – H.: NTU «HPI». 2011. – № 21. – p. 72–80.
3. *Buhkalo S.I.* Modeli energetichnogo miksu dlja utilizaciї polimernoї chastki TPV // Visnik NTU «HPI». – H.: NTU «HPI». 2016. – № 19 (1191). – p. 23–32.
4. *Buhkalo S.I.* Resursozberegajushhie tehnologii ispol'zovanija polimernyh othodov. Integrovani te-hnologii ta energozberezhenija. H.: NTU «HPI», 2001, № 2, p. 106–112.
5. *Buhkalo S.I.* K vo-prosu jenergosberezhenija processa aglomerirovaniya polimernoї upakovki. Integrovani tehnologii ta energozberezhenija. H.: NTU «HPI», 2005, № 2, p. 29–33.
6. *Buhkalo S.I.* Dejaki vlastivosti polimernih vidhodiv u yakosti sirovini dlja energo- i resursozberigajuchih procesiv // Integrovani tehnologii ta energozberezhenija. – H.: NTU «HPI». 2014. – № 4. – p. 29–33.
7. *Buhkalo S.I.* Struktura potokiv kompleksnogo pidpriemstva / Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHV mizhn. n/prakt. konf. MicroCAD-2017, 17-19 travnja 2017. // Za red. prof. Sokola Є.I. Ch.III, – H.: NTU «HPI», p. 14.
8. *Buhkalo S.I.* Kompleksna ekologichno-informacijna bezpeka proektiv pidpriemstva / Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHV mizhn. n/prakt. konf. MicroCAD-2017, 17-19 travnja 2017 // Red. prof. Sokola Є.I. Ch.III, – H.: NTU «HPI», p. 15.
9. *Buhkalo S.I.* Matematicheskoe modelirovanie processov resurso- i jenergosberezhenija dlja polijetilenovyh othodov / Buhkalo S.I., Kuklenko D.V., Borhovich A.A. i dr. // Visnik NTU «HPI». – H.: NTU «HPI». 2010. – № 32. – p. 117–122.
10. *Buhkalo S.I.* Dejaki vlastivosti polimernih vidhodiv u yakosti sirovini dlja energo- i resursozberigajuchih procesiv // Integrovani tehnologii ta energozberezhenija. – H.: NTU «HPI». 2014. – № 4. – p. 29–33.
11. *Buhkalo S.I.* Modeli energetichnogo miksu dlja utilizaciї polimernoї chastki TPV // Visnik NTU «HPI». – H.: NTU «HPI». 2016. – № 19 (1191). – p. 23–32.
12. *Buhkalo S.I.* Ob utilizaciї polimernyh othodov kak komplekse innovacionnyh proektiv / Buhkalo S.I., Serikov A.V., Ol'hovskaja O.I. i dr. // Visnik NTU «HPI». – H.: NTU «HPI». 2012. – № 10. – p. 160–166.
13. *Buhkalo S.I.* Dejaki modeli procesiv himichnogo spinjuvannja vtorinnogo polietilenu // Visnik NTU «HPI». – H.: NTU «HPI». 2017. – № 18 (1240). – p. 35–45.
14. *Buhkalo S.I.* Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti: testovi zavdannja (pidruchnik z grifom MONU), Kiїв: Centr uchbovoї literaturi, 2014. – 456 p.

Поступила (received) 23.10.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Синергетичні процеси утилізації-модифікації полімерної частки твердих побутових відходів / С. І. Бухкало // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 17–27. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2220-4784.

Синергетические процессы утилизации-модификации полимерной части твердых бытовых отходов / С. И. Бухкало // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 17–27. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2220-4784.

Synergetic processes of utilization-modification polymeric part municipal solid waste / S. I. Buhkalo // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 41(1263). – p. 17–27. Bibliogr.: 14 titles. – ISSN 2220-4784.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бухкало Світлана Іванівна – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», тел.: +380673010613; e-mail: bis.khr@gmail.com

Buhkalo Svetlana Ivanovna – Phd, candidate of technical sciences, Professor, Department of Integrated technologies, processes and apparatus National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel. : +380673010613; e-mail: bis.khr@gmail.com

Бухкало Светлана Ивановна – кандидат технических наук, профессор кафедры интегрированных технологий, процессов и аппаратов, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», тел.: +380673010613, e-mail: bis.khr@gmail.com

УДК 697.34, 536.7

В. Д. ПЕТРАШ, Ю. Н. ПОЛУНИН, А. А. ПОЛОМАННЫЙ**ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТРАНСФОРМАЦИИ УТИЛИЗИРУЕМОЙ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ
ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ**

Для раніше запропонованої системи контактної-рекуперативної відбору з пароконденсійною трансформацією утилізованої теплоти відпрацьованих газів обертових печей встановлена залежність дійсного коефіцієнта перетворення у вигляді модифікованого критерію комплексної оцінки енергетичної ефективності. Метою експериментального дослідження є порівняння аналітично встановленої та реальної ефективності перетворення енергетичних потоків в теплонасосному контурі при відборі теплоти з відпрацьованих низькотемпературних газів в характерних режимах роботи печі. Експериментальне дослідження, яке проведено для співвідношення греючої середовища та води, що нагрівається при $j = (0,1; 0,2 \dots 0,5)$ і $\beta = (3 \dots 0,3)$, зі зміною G_i / G_k в межах $(0,5 \dots 0,3 \div 3)$, дозволило визначити дійсні коефіцієнти перетворення та відповідні температури нагрівання води після конденсатора. Зіставленням розрахунків за встановленою аналітичною залежністю та результатів експериментального дослідження підтверджено відповідність температур води після конденсатора в умовах високої ефективності перетворення енергетичних потоків, які задовільно узгоджуються з дев'ятивідсотковою розбіжністю.

Ключові слова: пароконденсійна утилізація теплоти, відпрацьовані гази обертових печей, дійсний коефіцієнт перетворення.

Для ранее предложенной системы контакт-рекуперативного отбора с пароконденсией трансформации утилизируемой теплоты отработанных газов вращающихся печей установлена зависимость действительного коэффициента преобразования в виде модифицированного критерия комплексной оценки энергетической эффективности. Целью экспериментального исследования явилось сопоставление аналитически установленной и действительной эффективности преобразования энергетических потоков в теплонасосном контуре при отборе теплоты из отработанных низкотемпературных газов в характерных режимах работы печи. Экспериментальное исследование, которое проведено для соотношения греющей среды и нагреваемой воды при $j=(0,1; 0,2 \dots 0,5)$ и $\beta=(3 \dots 0,3)$, с изменением G_w/G_k в пределах $(0,5 \dots 0,3 \div 3)$, позволило определить действительные коэффициенты преобразования и сравнить соответствующие температуры нагрева воды после конденсатора. Сопоставлением расчетов по установленной аналитической зависимости и результатов экспериментального исследования подтверждено соответствие температур нагреваемой воды после конденсатора, которые удовлетворительно согласуются с девятипроцентным расхождением при высокой эффективности преобразования энергетических потоков.

Ключевые слова: пароконденсционная утилизация теплоты, отработанные газы вращающихся печей, действительный коэффициент преобразования.

For the proposed system of contact-recuperative selection with transformation of the recovered heat of the exhaust gases of rotary kilns established the dependence of the actual conversion coefficient as a modified criterion for a complex assessment of energy efficiency. The purpose of the experimental study was to compare the analytically established and actual efficiency of conversion of energy flows in the heat pump circuit during the selection of heat from waste low-temperature gases in certain operating modes of the furnace. The experimental study, which was carried out for the ratio of the heating medium to the heated water at $j=(0,1; 0,2 \dots 0,5)$ and $\beta=(3 \dots 0,3)$, with a change in G_w/G_k $(0,5 \dots 0,3 \div 3)$, it was possible to determine the actual conversion coefficients and compare the corresponding water heating temperatures after the condenser. Comparison of the calculations for the established analytical dependence and the results of the experimental study confirmed the correspondence of the temperatures of the heated water after the condenser, which are in satisfactory agreement with the 9% divergence at high conversion efficiency of energy flows.

Keywords: steam compression heat recovery, waste gases from rotary kilns, actual conversion factor.

Введение.

Существенным недостатком вращающихся печей в технологии производства цемента и керамзита является крайне низкая эффективность использования энергии первичного топлива (до 45%), потери теплоты с отработанными газами составляют 30-35%, [1, 2, 3], при этом в стоимости конечной продукции топливная составляющая достигает 60%. Отработанные газы обладают мощным теплоэнергетическим потенциалом, который в настоящее время практически не используется для теплотехнологического и коммунально-бытового теплоснабжения.

Для предложенной системы контакт-рекуперативного отбора с пароконденсией трансформацией утилизируемой теплоты отработанных газов вращающихся печей [4], установлена зависимость действительного коэффициента преобразования в виде модифицированного критерия комплексной оценки энергетической эффективности [5]. Система обеспечивает высокие значения коэффициента преобразования (до 10÷15) при соответствующих

соотношениях расходов греющей и нагреваемой среды, параметров абонентских систем [6], а также соотношения расходов технологического и коммунально-бытового назначения [7].

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

Заданием экспериментального исследования разрабатываемых контакт-рекуперативных систем теплоснабжения с трансформацией утилизируемой теплоты явилось сопоставление аналитически установленной и действительной эффективности преобразования энергетических потоков в теплонасосном контуре при отборе теплоты из отработанных низкотемпературных газов в характерных режимах работы печи. Действительную эффективность преобразования энергии в пароконденсционном контуре системы целесообразно оценить на основе сопоставления экспериментальных результатов с установленными аналитическими значениями. Исследования по теплогидравлическим условиям проводились на лабораторной теплонасосной установке, база которой была создана в лаборатории «Теплонасосных техно-

логий» в ИИЭС ОГАСА в 2010 г. с ее реальными возможностями после соответствующих дополнений.

Изложение основного материала исследования. Для этого стало необходимым воспроизвести температурные и гидравлические условия работы предложенной системы [4] путем соответствующей адаптации лабораторной установки мощностью 1,5 кВт. При этом создавались адекватно-близкие условия для характерных теплогидравлических режимов работы системы, которые отражали температуру воды в поддоне после контактного взаимодействия ее с отработанными газами с начальной температурой в интервале при $t_i = (50 \div 100)$, °C. Для этого в лабораторной установке необходимо обеспечить соответствующие соотношения расходов охлаждаемой в испарителе и нагреваемой в конденсаторе воды G_u/G_k , которое базируется на основе установленных зависимостей [5]. С учетом ранее принятой взаимосвязи в системе расход поступающей воды из поддона в конденсатор приобретает вид

$$G_{\Pi} = \frac{G_{\text{хв}} - G_{\text{гв}}}{\Theta} = \frac{G_{\text{ов}}}{x} = \frac{1+\beta}{\beta} G_{\text{ов}} = (1+\beta) G_{\text{гв}}, \quad (1)$$

где β - соотношение расходов воды на отопительно-вентиляционные процессы и горячее водоснабжение; Θ - соотношение расходов воды для теплотехнологических и отопительно-вентиляционных процессов.

После учета части поступающего расхода теплоносителя «х» в теплообменник отопительно-вентиляционной системы относительно общего расхода в безразмерном виде

$$x = \frac{G_{\text{ов}}}{G_{\text{ов}} + G_{\text{гв}}} = \frac{\beta}{(1+\beta)}, \quad \text{что согласуется с данными}$$

[5], а также учитывая, что

$$G_{\text{тех}} = G_{\text{хв}} - G_{\text{гв}} = \Theta(1+\beta) G_{\text{гв}}, \quad (2)$$

и принимая во внимание

$$G_{\Pi} = (1+\beta) G_{\text{гв}}, \text{ а } G_{\text{хв}} = [1 + \Theta(1+\beta)] G_{\text{гв}}, \quad (3)$$

искомое соотношение расходов принимает окончательный вид

$$\frac{G_{\Pi}}{G_{\text{к}}} = \frac{G_{\text{гв}}(1+j)}{G_{\text{гв}}(1+\beta)} = \frac{1+j}{1+\beta}. \quad (4)$$

Учитывая, что в работе системы действительные пределы возможного изменения $j=0,05 \div 0,2$, $\beta=1 \dots 0$, приходим к выводу, что реальный диапазон соотношения анализируемых расходов может находиться в пределах $1/3 \div 1/4$, согласующийся с техническими возможностями экспериментальной теплонасосной установки. Лабораторная установка с габаритными размерами $(0,5 \times 0,7 \times 1,2)$ м, рис. 1, содержит основные элементы теплового насоса с магнитным пускателем, которая оснащена необходимыми контрольно-измерительными приборами. Парокомпрессионный контур содержит компрессор, кожухомеевиковый конденсатор и форконденсатор (отключен), а также параллельно соединенные кожухомеевиковые и трубчатые испарители, ресиверную ёмкость для сбора рабочего тела, запорный вентиль, фильтр-осушитель, соленоидный вентиль, предохраняющий испаритель от переполнения хладагентом во время стоянки установки, а также терморегулирующий вентиль, в котором происходит процесс дросселирования, и термобаллон. Для контроля давления рабочего тела в испарителе установлен мановакуумметр, давление в конденсаторе контролировалось показаниями манометра.

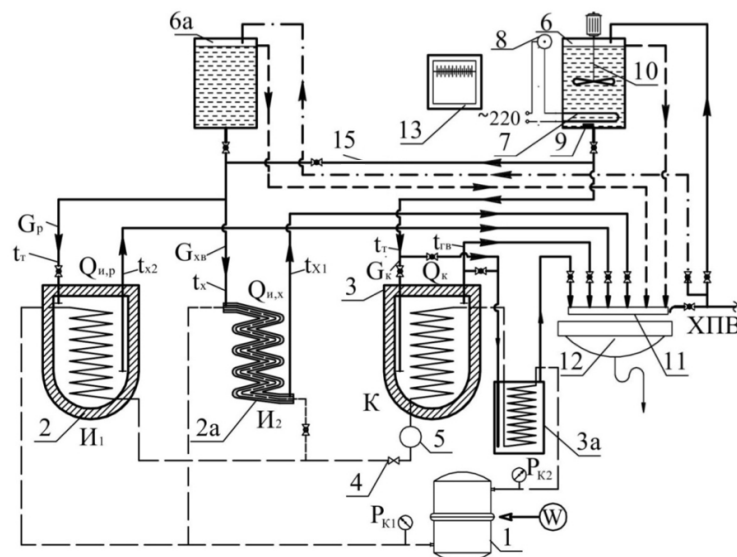


Рис. 1. Схема лабораторной установки термотрансформаторной системы теплоснабжения: ■■■■ – парокомпрессионный контур; ———— – контур охлаждаемой и нагреваемой воды; 1 – компрессор; 2 и 2а – испарители; 3 – конденсатор; 3а – форконденсатор; 4 – автоматический регулирующий вентиль (ТРВ); 5 – ресивер; 6 – бак постоянного уровня со стабилизирующим нагревом воды; 6а – бак холодной воды; 7 – трубчатый электронагреватель (ТЭН); 8 – регулятор стабилизирующего нагрева; 9 – термобаллон регулятора; 10 – турбулизатор жидкости с электроприводом; 11 – система измерения расхода воды; 12 – раковина; 13 – электронный измеритель температур (ЭПИ-0.9) 12-ти точечный с термопарами ХК; $P_{к1}$, $P_{к2}$ – манометры; ХПВ – линия хозяйственно-питьевого водопровода; 15 – соединительный трубопровод догрева.

По шкалам этих манометров определялись соответствующие значения давления рабочего тела, а косвенно и соответствующих температур.

Для защиты установки от превышения давления нагнетания и низкого давления на всасывании компрессора относительно предельных значений служит двоянное реле давления Д-220, которое содержит прессостат (защита от высокого давления) и маноконтроллер (защита от низкого давления). Для заправки системы и контроля давления при настройке реле давления на всасывающей линии установлен клапан Шредера.

В качестве предварительно подогретой воды, поступающей из поддона, использовалась подогреваемая вода в баке 6 с автоматическим поддержанием необходимой температуры. Для этого в напорном баке постоянного уровня 6 предусмотрен стабилизирующий нагрев воды посредством трубчатого автоматизированного электрического нагревателя 7 с регулятором 8. Уровень размещения баков 6 и 6а обеспечивает регулируемое прохождение необходимого расхода охлаждаемой воды через испарители И1 и И2. Автоматическое поддержание заданной температуры в напорном баке 6 со стабилизацией необходимой температуры рециркуляционного потока обеспечивается электронагревателем мощностью до 1,5 кВт с турбулизатором для исключения температурной стратификации жидкости в баке. Система обеспечивала стабилизацию установленной температуры рециркуляционного потока теплой воды в пределах 20-35 °С с отклонением $\pm 0,5^\circ\text{C}$. В системе предусмотрен пароконденсационный нагрев воды только в конденсаторе без прохождения её через форконденсатор.

Из анализа схемы лабораторной установки, рис. 1, следует, что указанное соотношение расходов необходимо поддерживать при поступлении нагретой и холодной воды через испаритель, как низкопотенциальной среды, соответственно из двух баков-аккумуляторов. Одновременно следует обеспечить расход нагреваемой воды на входе в конденсатор с равнозначной температурой в поддоне контактной камеры t_m , поступающей из соответствующего бака-аккумулятора. При этом по температурному уровню следует обеспечивать соответствующую температуру воды на входе в испаритель, после подогрева исходной воды в теплообменнике 15. Ее охлаждение после испарителя логично поддерживать с предельно низкой положительной температурой в диапазоне (0÷5°C).

Вода в поддоне подогревается в процессе взаимодействия с отработанными газами в контактной камере, в связи с чем она должна поступать в конденсатор с начальной температурой t_m для последующего нагрева. Ее значение было предварительно установлено аналитическим расчетом с анализом тепломассообменных процессов по диаграмме отработанных дымовых газов. Вода в поддоне для газа с начальной температурой (50÷100), °С находится в пределах (27÷37)°С. В

экспериментальном исследовании эта температура поддерживалась автоматизированным процессом предварительного нагрева воды в баке №6 лабораторной установки.

Предельная температура нагрева воды в конденсаторе является искомой перед поступлением в теплообменник 12 для последующего догрева в процессе предварительного охлаждения отработанного газа. Отметим имеющиеся технические ограничения возможностей лабораторной теплонасосной установки по предельной температуре рабочего тела (R-134) при развиваемом компрессионном давлении 12-13 ати. поршневым компрессором, в результате чего вода могла быть реально догрета до температуры $t_k=(50\div 65)^\circ\text{C}$.

Замер температур и расходов воды в теплонасосной установке производился после стабилизации установившегося теплогидравлического режима, который реально достигался через 2,5-3 часа после ее непрерывной работы

В процессе эксперимента расход охлаждаемой и нагреваемой среды после теплообменников соответствующего назначения (в испарителе и конденсаторе) измерялся весовым способом. Замер их температур проводился непрерывно на входе и выходе из соответствующих теплообменников, а также на соединительных участках трубопроводов с использованием электронного потенциометра ЭПП-0,9, который прошёл Государственную метрологическую аттестацию с предварительно проградуированными хромель-копелевыми термопарами ХК. Одновременно измерение всех температур контролировалось ртутными лабораторными термометрами с ценой деления 0,1°C, в том числе в процессе открытого излива жидкости. Температура рабочего тела в характерных точках пароконденсационного контура также определялась с помощью соответствующих термпар, а его давление измерялось до и после компрессора сертифицированными и поверенными мановакууметром и манометром. Измерения выполнялись стандартными лабораторными приборами, общая погрешность которых в определении основных расходных и температурных данных не превышала 2-5%.

Вначале устанавливался необходимый расход водных потоков, затем определялись пусковые и рабочие характеристики теплового насоса, а также исследовалась устойчивость работы всей установки в заданном режиме. Моделировались процессы отбора теплоты в каждом испарителе с передачей её рабочим телом нагреваемому теплоносителю, проходящему через конденсатор. Одновременно автоматически регистрировались соответствующие температуры при установленных соотношениях потоков охлаждаемой воды в испарителях и нагреваемой в конденсаторе. Было проведено три серии экспериментов, которые моделировали соответствующие теплогидравлические режимы догрева нагретой воды в конденсаторе.

В процессе исследования температура исходной холодной воды в баке находилась в пределах $(10 \div 23)^\circ\text{C}$, а имитируемая температура воды в поддоне при необходимости догревалась до 35°C . Температура рабочего тела теплового насоса после компрессора при соответствующем давлении находилась в диапазоне $(65 \div 85)^\circ\text{C}$. Температура охлаждаемой воды после испарителей в зависимости от исходного температурного уровня находилась в пределах $(10 \div 17)^\circ\text{C}$.

Энергетический поток нагрева либо охлаждения жидкости определялся по соответствующим зависимостям:

-в конденсаторе:

$$Q_k = c \cdot G_k \cdot (t_{\text{кон}}^k - t_n), \text{ Вт}; \quad (5)$$

-для первого испарителя:

$$Q_{и,1} = c \cdot G_{и,1} \cdot (t_{и,1}^{и1} - t_{и,1}^{и2}), \text{ Вт}; \quad (6)$$

-для второго испарителя:

$$Q_{и,2} = c \cdot G_{и,2} \cdot (t_{и,2}^{и2} - t_{и,2}^{и1}), \text{ Вт}; \quad (7)$$

где: G_k , $G_{и,1}$ и $G_{и,2}$ – соответствующие расходы воды, проходящие через конденсатор, а также испарители 1 и 2, кг/с;

$t_{\text{кон}}^k$, t_n , $t_{и,1}^{и1}$, $t_{и,1}^{и2}$, $t_{и,2}^{и2}$, $t_{и,2}^{и1}$ – температуры жидкости на соответствующих участках: горячей воды после конденсатора, в поддоне (t_m), до и после испарителя 1, до и после испарителя 2, $^\circ\text{C}$.

Результаты измеряемых параметров были основой для определения тепловых потоков в соответствующих теплообменниках и установления общей мощности теплонасосной установки. На их основе расчётно-аналитическим путём определялось значение действительного коэффициента преобразования.

Ввиду того, что в лабораторной установке использовались 2 испарителя с одинаковой эффективностью теплообмена, в дальнейших расчетах значения тепловых потоков определялись по их сумме

$$\sum Q_{и} = Q_{и,1} + Q_{и,2}, \text{ Вт}. \quad (8)$$

Тепловой поток нагрева воды в конденсаторе определяется суммарным значением отбираемой теплоты в испарителе и тепловым эквивалентом приводной мощности W компрессора $Q_k = (Q_{и,1} + Q_{и,2}) + W$. Для анализируемой системы $W = [Q_k - (Q_{и,1} + Q_{и,2})]$, на этой основе для теплонасосной установки коэффициент преобразования представляется в виде

$$\phi = \frac{Q_k}{W} = \frac{Q_k}{Q_k - (Q_{и,1} + Q_{и,2})} = \frac{Q_k}{Q_k - \sum Q_{и}} = \left(1 - \frac{\sum Q_{и}}{Q_k}\right)^{-1}. \quad (9)$$

С учетом зависимостей соответствующих энергетических потоков (5), (6) и (7) действительный коэффициент преобразования окончательно представляется соотношением

$$\phi = \left(1 - \frac{[c \cdot G_{и,1} \cdot (t_{и,1}^{и1} - t_{и,1}^{и2})] + [c \cdot G_{и,2} \cdot (t_{и,2}^{и2} - t_{и,2}^{и1})]}{c \cdot G_k \cdot (t_{\text{кон}}^k - t_n)}\right)^{-1}. \quad (10)$$

Для определения достоверности результатов аналитических исследований стало необходимым

подтвердить зависимость конечной температуры на выходе из конденсатора $t_{\text{конд}}$ от исходной температуры воды, поступающей в поддон, то есть t_m , в диапазоне предварительно установленных экспериментально значений коэффициента преобразования ($\phi = 1,64; 4,2; 9,01$).

Ввиду ограниченных технических возможностей лабораторной установки по изменению соотношения энергетических потоков и расходов поступающей воды в испарители и конденсатор, логичным явилось сопоставление конечной температуры нагрева воды после конденсатора t_k^k с ее расчётно-аналитическим значением в диапазоне реально возможных значений коэффициентов преобразования $\phi = (2; 6 \text{ и } 8)$ [5, 8, 9].

Зависимость отбираемого теплового потока в испарителе $Q_{и}$ после соответствующих преобразований приобретает следующий вид

$$Q_{и} = (1 + j) \cdot \left[\left((1 + j) \cdot \frac{1 + \Theta \cdot (1 + \beta)}{(1 + j)} \right)^j \cdot t_{и}^{и1} - t_{и}^{и2} \right]. \quad (11)$$

Соотношение тепловых потоков $Q_{и}/Q_k$ базируется на основе отношении соответствующих расходов $\frac{G_{и}}{G_k} = \frac{1 + j}{1 + \beta}$. Тепловой поток, генерируемый

в конденсаторе, определяется зависимостью, учитывающей относительный расход нагреваемой среды. Аналитическое определение температуры нагрева воды после конденсатора производится для соответствующего коэффициента преобразования на основе зависимости $\phi = \left(1 - \frac{Q_{и}}{Q_k}\right)^{-1}$ в следующем

виде:

$$t_k = t_m + G \cdot \left[\left((1 + j) \cdot \frac{1 + \Theta \cdot (1 + \beta)}{1 + j} \right)^j \cdot t_{и}^{и1} - t_{и}^{и2} \right] \cdot \left(1 - \frac{1}{\phi}\right)^{-1}, \quad (12)$$

где $t_{и}^{и1}$ и $t_{и}^{и2}$ – температура воды соответственно до и после испарителя, $^\circ\text{C}$.

Конечная температура воды после испарителя в компьютерных расчетах принималась равной 5°C . В экспериментальном исследовании ее значение определялось техническими возможностями лабораторной установки, при этом значение $t_{и}^k$ находились в пределах $(4 \div 8)^\circ\text{C}$.

Начальная температура нагретой воды на входе в конденсатор определяется интенсивностью тепломассообменного процесса при взаимодействии газов после теплообменника 12 с поступающей водой из теплообменника 15 в контактной камере.

Температура нагреваемой воды после конденсатора определяется установленной многофакторной взаимосвязью [5, 6, 7]. В связи с изложенным в экспериментальном исследовании указанная температура t_k являлась искомой.

Адекватность сопоставления результатов экспериментального и аналитического исследования температуры воды после конденсатора в зависимости

от температуры ее предварительного нагрева в поддоне, иллюстрируется графически на рис 2. Представленные графики были рассчитаны по аналитической зависимости (12) при следующих

данных: $\theta=0,3$; $\beta=0,2$; $j=0,2$; $\frac{G_{\text{и}}}{G_{\text{к}}} = \frac{3}{1}$, согласующиеся с данными экспериментального исследования.

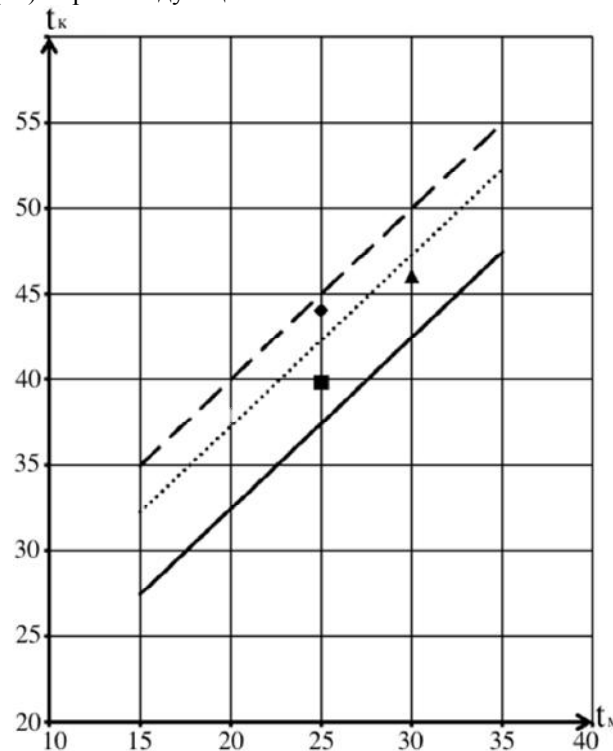


Рис 2. Зависимость температуры нагретой воды после конденсатора t_k от температуры поступающей воды из поддона t_m (при $\theta=0,3$; $\beta=0,2$): аналитические расчеты при: — $\varphi=2$; ----- $\varphi=6$; $\varphi=8$.

экспериментальные значения при: ■ $\varphi=1,62$; ◆ $\varphi=5,34$; ▲ $\varphi=8,73$

Выводы и перспективы дальнейшего развития данного направления.

Экспериментальное исследование, которое проведено для соотношения греющей среды и нагреваемой воды при $j=(0,1; 0,2 \dots 0,5)$ и $\beta=(3 \dots 0,3)$, с изменением $G_{\text{и}}/G_{\text{к}}$ в пределах $(0,5 \dots 0,3 \div 3)$, позволило определить действительные коэффициенты преобразования и соответствующие температуры нагрева воды после конденсатора. Сопоставлением расчетов по установленной аналитической зависимости и результатов экспериментального

исследования подтверждена высокая эффективность преобразования энергетических потоков и соответствующих температур нагреваемой воды после конденсатора, которые удовлетворительно согласуются с девятипроцентным расхождением. Перспективы дальнейших исследований по анализируемой тематике предполагают расширение функциональных возможностей и повышение энергетической эффективности разрабатываемой системы теплоснабжения.

Список литературы:

1. Ходоров Е.И. Печи цементной промышленности. - Л.: Стройиздат 1968. - 456с.
2. Древицкий Е.Г., Добровольский А. Г., Коробок А.А. Повышение эффективности работы вращающихся печей. - М.: Стройиздат, 1990. - 225с.
3. Онацкий С.П. Производство керамзита - М.: Стройиздат, 1987г. - 333с.
4. Пат. 100923, Укр., МПК (2013.01) F27B 9/00. Термотрансформаторна система відбору теплоти з відпрацьованих газів для промислового теплопостачання / Ю.Н. Полунін, В.Д. Петраш. - Опубл. 11.02.2013. Бюл. №3.
5. Петраш В.Д., Полунин Ю.Н. Отбор и трансформация энергии отработанных газов вращающихся печей для промышленного теплоснабжения / Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2013. - №6. - С. 59-66.
6. Петраш В.Д., Полунин Ю.Н. Термотрансформаторная система теплоснабжения на основе контактно-рекуперативного охлаждения отработанных газов вращающихся печей производства строительных материалов // Вестник «ОГАСА». 2013. - №53. - С. 59-66.
7. Петраш В.Д., Полунин Ю.Н. Влияние соотношения расходов воды технологического и коммунально-бытового назначения на эффективность термотрансформаторного охлаждения низкотемпературных газов // Вестник «ДонНАСА». 2014. - №109. - С. 78-85.
8. Мартыновский В.С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов / - М.: Энергия, 1977. - 280 с.
9. Петраш В.Д. Теплонасосные системы теплоснабжения / В МВ, Одесса, 2014. - 556 с.

Bibliography (transliterated):

1. Hodorov E.I. Pechi cementnoj promyshlennosti. - L. : Strojizdat 1968. - 456s.
2. Drevickij E.G., Dobrovol'skij A. G., Korobok A.A. Povyshenie jeffektivnosti raboty vrashhajushhihsja pechej. - M. : Strojizdat, 1990. - 225c.
3. Onackij S.P. Proizvodstvo keramzita - M.: Strojizdat, 1987g. - 333s.
4. Pat. 100923, Ukr., MPK (2013.01) F27B 9/00. Termotransformatorna sistema vidboru teploti z vidprac'ovanih gaziv dlja promisl'ovogo teplopостачання / Ju. N. Polunin, V.D. Petrash. - Opubl. 11.02.2013. Bjul. №3.
5. Petrash V.D., Polunin Ju. N. Otbor i transformacija jenerгии otrabotannyh gazov vrashhajushhihsja pechej dlja promyshlennogo teplosnabzhenija / Jenergotekhnologii i resursosbezpečenie. - 2013. - №6. - S. 59-66.
6. Petrash V.D., Polunin Ju. N. Termotransformatornaja sistema teplosnabzhenija na osnove kontaktno-rekuperativnogo ohlazhdenija otrabotannyh gazov vrashhajushhihsja pechej proizvodstva stroitel'nyh materialov // Vestnik «OGASA» - 2013. - №53. - S. 59-66.
7. Petrash V.D., Polunin Ju. N. Vlijanie sootnoshenija rashodov vody tehnologicheskogo i kommunal'no-bytovogo naznachenija na jeffektivnost' termotransformatornogo ohlazhdenija nizkotemperaturnyh gazov // Vestnik «DonNASA» - 2014. - №109. - S. 78-85.
8. Martynovskij V.S. Cikly, shemy i harakteristiki termotransformatorov / - M.: Jenergija, 1977. - 280 s.
9. Petrash V.D. Teplonasosnye sistemy teplosnabzhenija / - V MV, Odessa, 2014. - 556 s.

Поступила (received) 22.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Опитно-експериментальне дослідження ефективності трансформації утилізованої теплоти відпрацьованих газів обертових печей / В. Д. Петраш, Ю. М. Полунін, О. А. Поломанний // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. - X. : НТУ «ХПІ», 2017. - № 41(1263). - С. 28-33. - Бібліогр.: 9 назв. - ISSN 2220-4784.

Опытнo-экспериментальное исследование эффективности трансформации утилизируемой теплоты отработанных газов вращающихся печей / В. Д. Петраш, Ю. Н. Полунин, А. А. Поломанний // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. - X. : НТУ «ХПІ», 2017. - № 41(1263). - С. 28-33. - Бібліогр.: 9 назв. - ISSN 2220-4784.

Experimental study of the efficiency of transformation of the recovered heat of waste gases from rotary kilns / V. D. Petrash, Y. N. Polunin, A. A. Polomanniy // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. - Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. - № 41(1263). - С. 28-33. - Bibliogr.: 9 titles. - ISSN 2220-4784.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Петраш Віталій Дем'янович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри опалення, вентиляції та охорони повітряного басейну, Одеська державна академія будівництва та архітектури, тел. : +380 (67) 262 13 52; e-mail: petrash@ukr.net

Petrash Vitaliy Demjanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Heating, Ventilation and Air Protection, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, tel. : +380 (67) 262 13 52; e-mail: petrash@ukr.net

Петраш Віталій Дем'янович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Отопления, вентиляции и охраны воздушного бассейна, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, тел.: +380 (67) 262 13 52; e-mail: petrash@ukr.net

Полунін Юрій Миколайович – кандидат технічних наук, ст. викладач, кафедри опалення, вентиляції та охорони повітряного басейну, Одеська державна академія будівництва та архітектури, тел. : +380 (96) 901 14 58; e-mail: yuri.polunin@ogasa.org.ua

Polunin Yuri Nikolaevich – PhD, senior lecturer, Department of Heating, Ventilation and Air Protection, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, tel. : +380 (96) 901 14 58; e-mail: yuri.polunin@ogasa.org.ua

Полунин Юрий Николаевич – кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры Отопления, вентиляции и охраны воздушного бассейна, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, тел.: +380 (96) 901 14 58; e-mail: yuri.polunin@ogasa.org.ua

Поломанний Олександр Анатолійович – аспірант кафедри опалення, вентиляції та охорони повітряного басейну, Одеська державна академія будівництва та архітектури, тел. : +380 (97) 046 16 75; e-mail: sashaasper@gmail.com

Polomaniy Aleksandr Anatolyevich – postgraduate student of the Department of Heating, Ventilation and Air Protection, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, tel. : +380 (97) 046 16 75; e-mail: sashaasper@gmail.com

Поломанний Александр Анатольевич – аспирант кафедры Отопления, вентиляции и охраны воздушного бассейна, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, тел.: +380 (97) 046 16 75; e-mail: sashaasper@gmail.com

УДК 536.248.2:532.529.5

А. Е. ДЕНИСОВА, Л. В. ИВАНОВА, А. В. ДОРОШЕНКО, А. С. ГОНЧАРЕНКО**НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИСПАРИТЕЛЬНЫЕ ВОДООХЛАДИТЕЛИ.
РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ**

Розроблені принципи рішення випарних водо- і повітроохолоджувачів непрямого типу з пониженою межею охолодження. Нові рішення дозволяють понизити межу випарного охолодження середовищ в охолоджувачах-чилерах від температури мокрого термометра повітря, що поступає в охолоджувач, до температури точки роси. Насадка тепло-масообмінних апаратів плівкового типу виконана на основі багатоканальних композицій з полімерних матеріалів. Запропонована модель, що описує ефективність процесів спільного тепло-масообміну у випарних водоохолоджувачах – градирнях і низкотемпературних чилерах. Виконаний, на підставі отриманих експериментальних даних по ефективності процесів тепло-масообміну, порівняльний аналіз можливостей розроблених водоохолоджувачів, що підтвердив високу ефективність нових рішень.

Ключові слова: непряме випарне охолодження, охолоджувач повітря-чилер, низкотемпературний водоохолоджувач чилер, тепло-масообмінна апаратура, плівкові течії

Разработаны принципиальные решения испарительных водо- и воздухоохладителей непрямого типа со сниженным пределом охлаждения. Новые решения позволяют снизить предел испарительного охлаждения сред в охладителях-чиллерах от температуры мокрого термометра поступающего в охладитель воздуха до температуры точки росы. Насадка тепло-массообменных аппаратов пленочного типа выполнена на основе моноблочных многоканальных композиций из полимерных материалов. Предложена модель, описывающая эффективность процессов совместного тепло-массообмена в испарительных водоохладителях, – градирнях и низкотемпературных чиллерах. Выполнен, на основании полученных экспериментальных данных по эффективности процессов тепло-массообмена, сравнительный анализ возможностей разработанных водоохладителей, подтвердивший высокую эффективность новых решений

Ключевые слова: не прямое испарительное охлаждение, воздухоохладитель-чиллер, водоохладитель-чиллер, тепло-массообменная апаратура, пленочные течения

The fundamental decisions of the evaporated coolers of water and air of indirect type are worked out with the limit of cooling below of temperature of entering vehicle air on a wet bulb thermometer. New decisions allow to bring down the limit of the evaporated cooling in the evaporated coolers (chillers) from the temperature of wet bulb thermometer of entering cooler air to the temperature of dew point. Attachment of heat-mass-transfer apparatus of film-type is executed on the basis of multichannel compositions from polymeric materials. A model is offered, describing efficiency of processes of heat-mass-transfer in cooling towers and low temperature chillers. Executed, on the basis of the obtained experimental data on efficiency of processes of the evaporated cooling comparative analysis of possibilities of the worked out coolers, confirming high efficiency of new decisions

Keywords: the indirect evaporated cooling, indirect evaporative cooler of air, cooler of water of indirect type, heat-mass-transfer apparatus of film-type

Введение. Интерес к возможностям испарительного охлаждения сред в последние годы неуклонно возрастает, что обусловлено их малым энергопотреблением и экологической чистотой [1, 3–12]. Широкое практическое применение находят испарительные охладители ИО прямого типа (воздухоохладители и водоохладители-градирни ГРД, cooling tower, CTW) и непрямого типов (воздухо- и водоохладители НИО, indirect evaporative cooling, ИЕС). Возможности таких охладителей по достигаемому температурному уровню охлаждения ограничены температурой наружного воздуха по мокрому термометру t_m , являющейся естественным пределом охлаждения, их эффективность существенно зависит от местных климатических условий. Значительный интерес в последние годы вызывают ИО со сниженным пределом испарительного охлаждения сред [9–11]. Снижение температурного уровня охлаждения обеспечивает и общее уменьшение количества воды, используемой в ИО, что для современных энергетических систем означает реальное уменьшение количества воды, требуемое для компенсации потерь на испарение.

Цель. Целью работы является расширение практической области использования испарительных охладителей, разработка соответствующих новых

решений и конкретизация условий реализации низкотемпературного охлаждения сред, в первую очередь режимных параметров: оптимальных соотношений расходов контактирующих газожидкостных потоков.

1. Низкотемпературные испарительные водо- и воздухоохладители непрямого типа со сниженным пределом охлаждения, построенные по совмещенной схеме. В испарительном воздухоохладителе непрямого типа НИОг (рис. 1А), получившем наибольшее распространение в последние годы [3–11], воздушный поток, поступающий на охлаждение (П) делится на две части. Вспомогательный поток воздуха (В) поступает в «мокрую» часть охладителя (канал 6), где контактирует с водяной пленкой, стекающей по поверхностям канала (вода рециркулирует через насадку аппарата) и обеспечивает испарительное охлаждение воды, которая, в свою очередь, охлаждает бесконтактно, через разделяющую каналы стенку, основной воздушный поток (О). Этот поток воздуха охлаждается при неизменном влагосодержании, что обеспечивает преимущества при создании на основе НИОг систем кондиционирования воздуха СКВ.

© А. Е. Денисова, Л. В. Иванова, А. В. Дорошенко, А. С. Гончаренко, 2017

Вспомогательный воздушный поток выносит все тепло из аппарата в «связанном» виде, его температура также понижается и влагосодержание возрастает. Температура воды в цикле сохраняет неизменное значение и оказывается несколько выше температуры мокрого термометра, поступающего в НИОг наружного воздуха. Эта температура зависит от соотношения воздушных потоков в НИОг и

является пределом охлаждения для обоих воздушных потоков. Предел охлаждения здесь определяется комплексом:

$$t^0 = f(t_m^1, l = G_O/G_B, l' = G_B/G_{Ж}),$$

и одновременно характеризует возможности обоих воздушных потоков, основного «О» и вспомогательного «В».

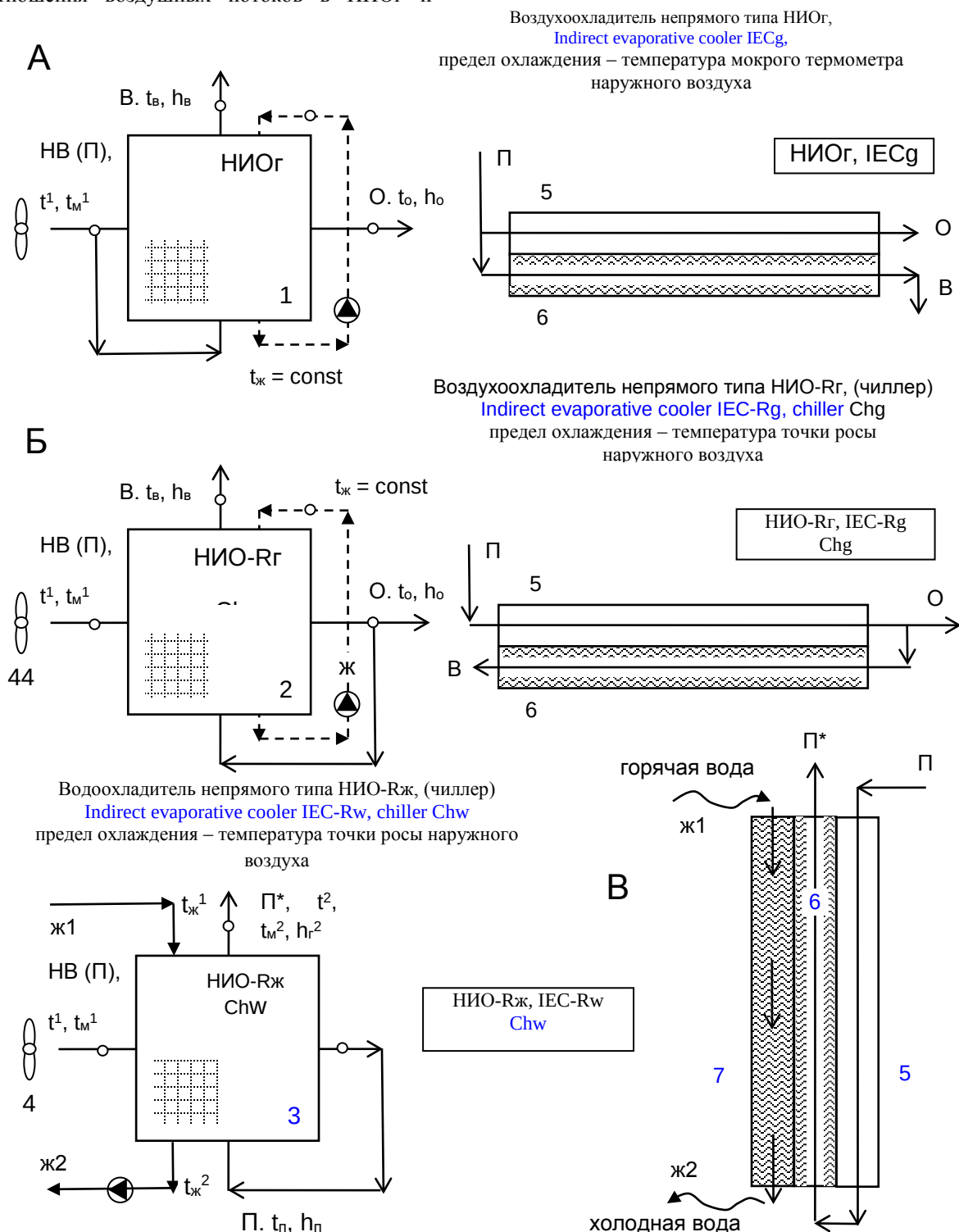


Рис. 1. Воздухоохладители непрямого типа НИОг (А) и НИО-Рг (чиллер Chg) (Б); водоохладитель непрямого типа НИО-Рж (чиллер Chw) (В), построенные по совмещенной схеме Обозначения: 1 – НИОг; 2 – НИО-Рг; 3 – НИО-Рж; 4 – вентилятор; 5 и 6 – «сухой» и «мокрый» каналы испарительного охладителя; – «продуктовый» жидкостной канал

Испарительные воздухоохладители НИОг могут быть обычного и регенеративного типов [1, 9-12]. В последнем (рис. 1Б) разделение воздушных потоков осуществляется на выходе из «сухой» зоны аппарата, - внутреннего теплообменника. Нами эта схема маркирована как НИО-Рг (воздушный чиллер Chg). Поскольку вспомогательный воздушный поток здесь поступает в испарительную часть охладителя уже охлажденным при неизменном влагосодержании, его потенциал охлаждения существенно возрастает и предел охлаждения здесь теоретически снижается до температуры точки росы наружного воздуха t_p^1 . Отметим, что если в НИОг оптимальное соотношение воздушных потоков $l = G_o / G_b$ составляет примерно 1,0 [1, 2], то здесь уже сам принцип, при равном отношении G_o и G_b на выходе из аппарата, приводит к двукратному снижению соотношения расходов контактирующих потоков ($l = G_{п} / G_b$) в соседних «мокрых» и «сухих» каналах насадочной части аппарата: - $G_{п}$ (охлаждаемого в «сухой» части) и G_b (отводящего тепло в соседних «мокрых» каналах). Это естественно повышает удельные энергозатраты на реализацию процесса, сравнительно с НИОг. Интерес к возможностям решения по схеме НИО-Рг (Chg) в мировой периодике очень велик [9-11], но результаты не учитывают сопутствующих проблем, на которых мы ниже остановимся. Вспомогательный поток «В» здесь охлаждается до низкой температуры и есть возможность использовать его для предварительного охлаждения полного воздушного потока на входе в НИО-Рг.

В политропическом процессе испарительного охлаждения воды в водоохладителе-градирне (ГРД) (рис. 2А) пределом испарительного охлаждения является также температура мокрого термометра поступающего в ИО воздушного потока. На рис. 1В и 2Б приведены решения для водоохладителя непрямого типа НИО-Рж (водоохладитель-чиллер Chw). Охладитель НИОж аналогичен воздухоохладителю НИОг, с тем отличием, что «основным» продуктовым потоком здесь является охлаждаемая вода. Это двухконтурная градирня, в которой «продуктовая» вода охлаждается бесконтактно (в каналах 7, рис. 1В), что важно для особо чистых технологий. В «мокрых» каналах процесс полностью аналогичен НИОг; предел охлаждения здесь определяется комплексом:

$$t^0 = f(t_m^1, l = G_{Г}/G_{Ж\text{ пр}}, l' = G_{Г}/G_{Ж\text{ рец}}),$$

где $G_{Ж\text{ рец}}$ - расход рециркулирующей через аппарат воды, а $G_{Ж\text{ пр}}$ - «продуктовый» поток охлажденной воды. В водяном чиллере Chw, предел охлаждения также теоретически снижается до температуры точки росы наружного воздуха t_p^1 .

Схемы НИО-Р предпочтительны для глубокого охлаждения сред, но характеризуются и более высоким уровнем энергозатрат. Разработке и изучению возможностей охладителя НИО-Р

посвящен ряд патентов США [9] и исследований Maisotsenko V. и Lelland Gillan [10-11].

На основании ранее выполненных работ [1, 2] установлено, что для создания пленочных ТМА оптимальны упорядоченные симметричные насадки с вертикальным либо косым каналами замкнутого либо частично замкнутого типа. Основными проблемами являются: - насадочный слой должен быть унифицирован, т.е. в равной мере применим для противоточной и поперечноточной схем контактирования газа и жидкости, что особенно важно для испарительных охладителей непрямого типа НИО, где взаимодействуют несколько воздушных и водяных потоков; - при малом сопротивлении газовому потоку, насадка должна обладать большой удельной поверхностью; - плотность слоя выбирается с учетом явлений устойчивости в системе («захлебывания» для противотока и продольного сноса жидкости при поперечноточном контакте сред), а также возможных отложений на рабочих поверхностях; - насадка должна обладать коррозионной стойкостью в рабочих средах, отличаться простотой конструктивного исполнения и технологичностью, а также низкими массогабаритными показателями; - насадочный слой должен способствовать равномерному вводу жидкости и благоприятному ее перераспределению между соседними каналами (проблема смоченности поверхностей многоканальных насадок), что обусловлено правильным выбором материала насадки (возможность перехода на полимерные материалы).

Перспективы использования полимерных материалов ПМ в конструкции пленочных ТМА. В зарубежной практике в последнее десятилетие материалом насадок ТМА пленочного типа чаще всего являются пластмассы: полиэтилен высокой плотности, ударопрочный полистирол, поливинилхлорид, полипропилен [1, 2, 8-9]. Плохая смачиваемость пластмасс компенсируется приданием поверхности листов сложной формы, нанесением микрошероховатостей на поверхности насадочных элементов, применением различных перераспределителей потоков газа и жидкости. Из выпускаемых в Украине пластмасс можно рекомендовать листовую винипласт, ударопрочный полистирол, полиэтилентерефталатную пленку, ударопрочный полистирол. Биологическая коррозия пластмасс может представлять серьезную опасность, особенно при эксплуатации в среде с высокой относительной влажностью при $t = 35-40^\circ\text{C}$. Авторами был проведен анализ ПМ, которые могут быть использованы в конструкции ТМА [14]. Одним из перспективных материалов является поликарбонат, выпускаемый в виде многоканальных плит. Температурный диапазон эксплуатации для поликарбоната составляет от - 40 до + 120 $^\circ\text{C}$, что позволяет использовать его в «открытых» системах, к которым относятся испарительные охладители. Максимальное термическое расширение (при $\Delta T = 80^\circ\text{C}$) составляет 2,5 мм/м. ПК устойчив ко многим

химическим веществам, включая минеральные кислоты высокой концентрации, многим органическим кислотам, нейтральным и кислым растворам солей, многим жирам, парафинам, насыщенным алифатам и циклоалифатам, кроме метилового спирта. Сотовые панели из ПК отличаются высокими механическими характеристиками, такими, как твердость и стойкость к ударным воздействиям при длительном содержании на открытом воздухе.

II. Эффективность процесса испарительного охлаждения в водоохладителях ГРД и Сжж. Определение величин коэффициентов обмена зачастую не может быть признано удовлетворительным из-за наличия трудностей, связанных с определением действительной поверхности тепло-массообмена в аппаратах пленочного типа с высокой плотностью насадного слоя. С этим связана и проблема масштабирования, основанная на теории подобия [1]. Это привело к развитию эмпирических методов, основанных на использовании коэффициентов эффективности процесса. Они позволяют провести анализ и представить опытные данные в виде простом и удобной для проектирования испарительных охладителей.

III. Степень охлаждения воды и степень использования воздуха в градирнях ГРД. В качестве естественного предела охлаждения воды в градирне принято рассматривать температуру воздуха по мокрому термометру на входе в аппарат t_m^1 (рис. 3, точка А на Н/Т диаграмме влажного воздуха). На выходе из аппарата, в качестве предельного рассматривают состояние насыщенного воздуха, имеющего температуру поступающей на охлаждение воды $t_{ж}^1$ (воздух с энтальпией h_r^0). Эффективность охлаждения воды $E_{ж}$ (степень охлаждения воды) и эффективность изменения состояния воздуха в градирне $E_{г}$ (степень использования воздуха, равная отношению тепла, вынесенного из аппарата потоком воздуха к предельному его количеству, определяемому равенством $h_r^2 = h_r^0$, где h_r^0 значение энтальпии воздушного потока, покидающего аппарат при условии $\phi_r = 100\%$ и $t_r^2 = t_{ж}^1$, точка В на диаграмме) можно охарактеризовать величинами:

$$E_{ж} = \frac{(t_{ж}^1 - t_{ж}^2)}{(t_{ж}^1 - t_m^1)}, \quad E_{г} = \frac{(h_r^2 - h_r^1)}{(h_r^{2*} - h_r^1)} \quad (1),$$

Очевидно, чем выше, при данном $E_{ж}$, степень использования воздуха, тем ниже расход энергии на привод вентилятора водоохладителя и ниже удельные энергозатраты.

$$E_{ж} = f(l = G_r/G_{ж}, t_{ж}^1, t_m^1) \text{ и } E_{г} = f(l = G_r/G_{ж}, t_{ж}^1, t_m^1) \quad (2)$$

$$G_r dh_r = G_{ж} c_{ж} dt_{ж} \quad (3),$$

В работе [1] было показано: – рост относительного расхода воздуха $l = G_r / G_{ж}$ приводит к увеличению $E_{ж}$ и уменьшению $E_{г}$ (большим значениям степени охлаждения воды соответствуют малые значения степени использования воздуха); – величины $E_{ж}$ и $E_{г}$ оказываются независимыми от характера изменения величины $l = G_r / G_{ж}$ (путем изменения расход воздуха, или путем изменения расхода воды); – линии зависимостей $E_{ж} = f(l)$ и $E_{г} = f(l)$ пересекаются в точке с примерно равными значениями степени охлаждения воды и использования воздуха; – отмечается существование приближенного равенства: $\Sigma E = E_{ж} + E_{г} \cong 1.0$.

Реальные значения пределов охлаждения воды и использования воздуха определяются, помимо значений t_m^1 и $t_{ж}^1$, величиной соотношением потоков $l = G_r / G_{ж}$. Рабочая линия процесса АВ (рис. 3) определяется уравнением теплового баланса (3). Положение, при котором рабочая линия касается кривой насыщения (A^*B^*) есть предельное ее положение. Разность $(h_r^* - h_r)$ в точке касания также обращается в нуль. В работе [1] были рассмотрены характерные положения рабочей линии в поле диаграммы влажного воздуха:

1. На рис. 2Б показан случай, когда соотношение потоков $l = G_r / G_{ж}$ велико. Увеличение поверхности обмена приводит к параллельному смещению рабочей линии АВ в направлении к кривой насыщения. Положение AB''' ($F = \infty$) – предельное (в нижнем сечении аппарата движущая сила процесса обращается в ноль). При этом вода может быть охлаждена до t_m^1 ($t_{ж}^2 = t_m^1$) и в нижнем сечении аппарата выполняются условия равновесия; предел нагревания воздуха выражаемый значением энтальпии h_r^{0*} ниже величины h_r^0 (точка B'''), определяемой температурой горячей воды на входе в испарительный охладитель.

2. Когда значение $l = G_r / G_{ж}$ мало (рис. 2В), точка касания предельного положения рабочей линии и кривой насыщения расположена в верхнем сечении аппарата (точка В). При этом вода может быть охлаждена до температуры, определяемой положением предельной линии $A'''B$ ($t_m^0 > t_m^1$) и в верхнем сечении выполняется условие равновесия. 3. На рис. 2А показан случай, когда точка касания С предельного положения рабочей линии к кривой насыщения ($F = \infty$) расположена между точками А и В. Здесь, на обоих концах аппарата, устанавливаются состояния, несколько отличные от равновесных.

В зависимости от величины $l = G_r/G_{ж}$ состояние равновесия может иметь место на верхнем либо нижнем концах охладителя. Одновременно на обоих концах равновесие не наступает, что объясняется кривизной линии насыщения. В общем случае:

$$t_m^0 = f(t_{ж}^1, t_m^1, l = G_r/G_{ж}); \quad h_r^0 = f(t_{ж}^1, t_m^1, l = G_r/G_{ж}) \quad (4)$$

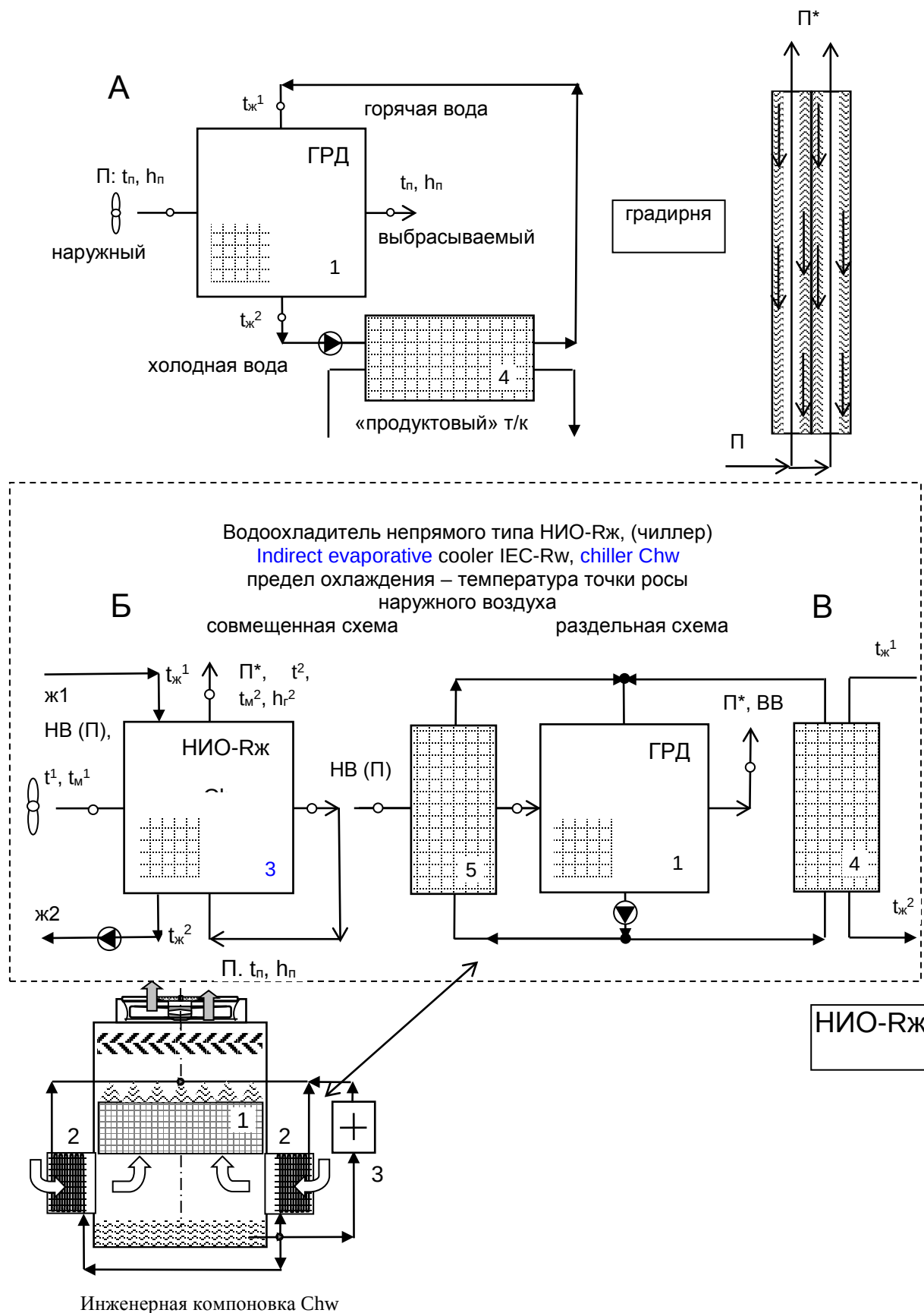


Рис. 2. Переход к раздельным схемам испарительных водоохладителей. Принципиальные схемные решения испарительных водоохладителей непрямого типа, построенные по совмещенной и раздельной схемам: НИОж (Б) и НИО-Рж (В). Обозначения: 1 – ГРД; 3 – НИО-Рж (Chw); 4, 5 – теплообменники.

В работах [1, 5–6] предложена модель «идеальной» противоточной градирни ($F = \infty$), которой соответствует термодинамическое равновесие на обоих концах аппарата. Сущность модели: «в качестве оптимального процесса в градирне рассмотрим такой, при котором выходящая холодная вода с поступающим в градирню свежим воздухом, также как отработанный воздух с поступающей теплой водой, достигают при стационарном тепло- и массообмене термодинамического равновесия». Граничные условия модели: низ аппарата $t_{ж}^2 = t_{м}^1$ (точка А); верх аппарата $t_{г}^2 = t_{ж}^1$; $\varphi_{г}^2 = 100\%$ ($h_{г}^2 = h_{г}^{2*}$, точка В). При адиабатическом протекании процесса в условиях противотока:

$$G_{г} h_{г}^1 + G_{ж}^1 c_{ж} t_{ж}^1 = G_{г} h_{г}^2 + G_{ж}^2 c_{ж} t_{ж}^2, \\ G_{г} (x_{г}^2 - x_{г}^1) = (G_{ж}^1 - G_{ж}^2), \text{ откуда:}$$

$$l^1 = G_{г}/G_{ж}^1 = \frac{c_{ж}(t_{ж}^1 - t_{ж}^2)}{(h_{г}^2 - h_{г}^1) - c_{ж}t_{ж}^2(x_{г}^2 - x_{г}^1)}, \quad (5)$$

где $l^1 = G_{г}/G_{ж}^1$ – относительный расход воздуха. Для этой модели:

$$l_{ид} = (G_{г}/G_{ж}^1)_{ид} = \frac{c_{ж}(t_{ж}^1 - t_{ж}^2)}{(h_{г}^{2*} - h_{г}^1) - c_{ж}t_{ж}^2(x_{г}^{0*} - x_{г}^1)} \quad (6)$$

где $l_{ид}$ – относительный минимальный расход воздуха. Когда $l = l_{ид}$ и $F = \infty$, на обоих концах градирни устанавливаются состояния равновесия. Из уравнения (6) следует: $l_{ид} = f(t_{ж}^1, t_{г}^1, x_{г}^1)$, т.е. величина $l_{ид}$ определяется тремя независимыми друг от друга параметрами. Условия эксплуатации градирни характеризуются *характеристическим числом* Λ : $\Lambda = l/l_{ид}$. (7)

На рис. 3 равновесие на нижнем и верхнем концах аппарата соответствует точкам А и В. Линия АВ – рабочая линия рассматриваемой модели, наклон ее равен $1/l_{ид}$ ($\Lambda = 1.0$) [интерпретация дана при условиях: $\Delta G_{ж} = G_{ж}^1 - G_{ж}^2 = 0$]. Для реального аппарата ($F \neq \infty$) рабочая линия сместится в область, расположенную под кривой равновесия (A^*B^*). Работа градирни характеризуется зависимостью $E_{ж} = f(\Lambda)$. Метод нашел широкое распространение [1, 4–8]. Предельные значения $E_{ж}$ соответствуют условию $F = \infty$:

$$l^2 = G_{г}/G_{ж}^2 = \frac{c_{ж}(t_{ж}^1 - t_{ж}^2)}{(h_{г}^2 - h_{г}^1) - c_{ж}t_{ж}^1(x_{г}^2 - x_{г}^1)}; \\ l_{ид}^2 = (G_{г}/G_{ж}^2)_{ид} = \frac{c_{ж}(t_{ж}^1 - t_{ж}^2)}{(h_{г}^{2*} - h_{г}^1) - c_{ж}t_{ж}^1(x_{г}^{0*} - x_{г}^1)};$$

$$E_{ж} = \frac{t_{ж}^1 - t_{ж}^2}{t_{ж}^1 - t_{м}^1} = \frac{(h_{г}^2 - h_{г}^1) - c_{ж}t_{ж}^1(x_{г}^2 - x_{г}^1)}{(h_{г}^{2*} - h_{г}^1) - c_{ж}t_{ж}^1(x_{г}^{0*} - x_{г}^1)}.$$

$$E_{ж \text{ пред}} \cong \Lambda, \text{ при } \Lambda \leq 1; \quad E_{ж \text{ пред}} = 1, \text{ при } \Lambda \geq 1 \quad (8)$$

При $\Lambda > 1$ и $F = \infty$, $E_{ж \text{ пред}} = 1$, но расход воздуха становится больше минимального, соответствующего рассматриваемой модели, при $F \neq \infty$, $E_{ж} < E_{ж \text{ пред}}$. Можно предположить наличие зависимости $E_{г} = f(\Lambda)$.

$$\Delta t_{ж} = (t_{ж}^1 - t_{ж}^2) = (h_{г}^1 - h_{г}^2) l = (h_{г}^{1*} - h_{г}^{2*}) l_{ид};$$

$$\frac{h_{г}^{1*} - h_{г}^{2*}}{h_{г}^2 - h_{г}^1} \cong \Lambda;$$

$$\frac{E_{ж}}{E_{г}} = \frac{h_{г}^{1*} - h_{г}^{2*}}{h_{г}^{1*} - h_{г}^1} * \frac{h_{г}^{1*} - h_{г}^1}{h_{г}^2 - h_{г}^1} = \frac{h_{г}^{1*} - h_{г}^{2*}}{h_{г}^2 - h_{г}^1}; \quad E_{ж}/E_{г} \cong \Lambda \quad (9)$$

Последнее выражение является приближенным. Полученное соотношение позволяет установить предельные значения степени охлаждения воды и использования воздуха в испарительном охладителе:

$$E_{г \text{ пред}} = \lim_{F \rightarrow \infty} E_{г} = 1.0, \text{ при } \Lambda \leq 1.0;$$

$$E_{г \text{ пред}} = \lim_{F \rightarrow \infty} E_{г} \cong 1/\Lambda, \text{ при } \Lambda \geq 1.0 \quad (10)$$

$$E_{ж \text{ пред}} = \lim_{F \rightarrow \infty} E_{ж} \cong \Lambda, \text{ при } \Lambda \leq 1.0;$$

$$E_{ж \text{ пред}} = \lim_{F \rightarrow \infty} E_{ж} = 1.0, \text{ при } \Lambda \geq 1.0 \quad (11)$$

В предположении линейности равновесной линии можно получить следующие выражения для определения рассматриваемых величин:

$$E_{ж} = \frac{\left[\Lambda - \Lambda e^{N(\Lambda-1)} \right]}{\left[1 - \Lambda e^{N(\Lambda-1)} \right]}, \quad E_{г} = \frac{\left[1 - e^{N(\Lambda-1)} \right]}{\left[1 - \Lambda e^{N(\Lambda-1)} \right]} \quad (12),$$

где N – число единиц переноса суммарного тепла в системе.

$$N_{\Sigma} = \frac{\beta_h F}{G_{г}} = \int_{h_{г}^1}^{h_{г}^2} \frac{dh_{г}}{(h_{г}'' - h_{г})} \quad (13)$$

Полученные выражения все же затруднительны в практическом использовании. Для зависимости $E = f(\Lambda)$ можно предложить эмпирические выражения для расчета всех требуемых величин:

$$E_{ж} = c(1 - e^{-1.1 \Lambda}), \quad E_{г} = c(1 - e^{-1.1 \Lambda}) \Lambda^{-1} \quad (14)$$

Эта форма удобна для представления опытных данных для нужд расчетной практики при изучении процессов в испарительных охладителях как прямого, так и непрямого типов.

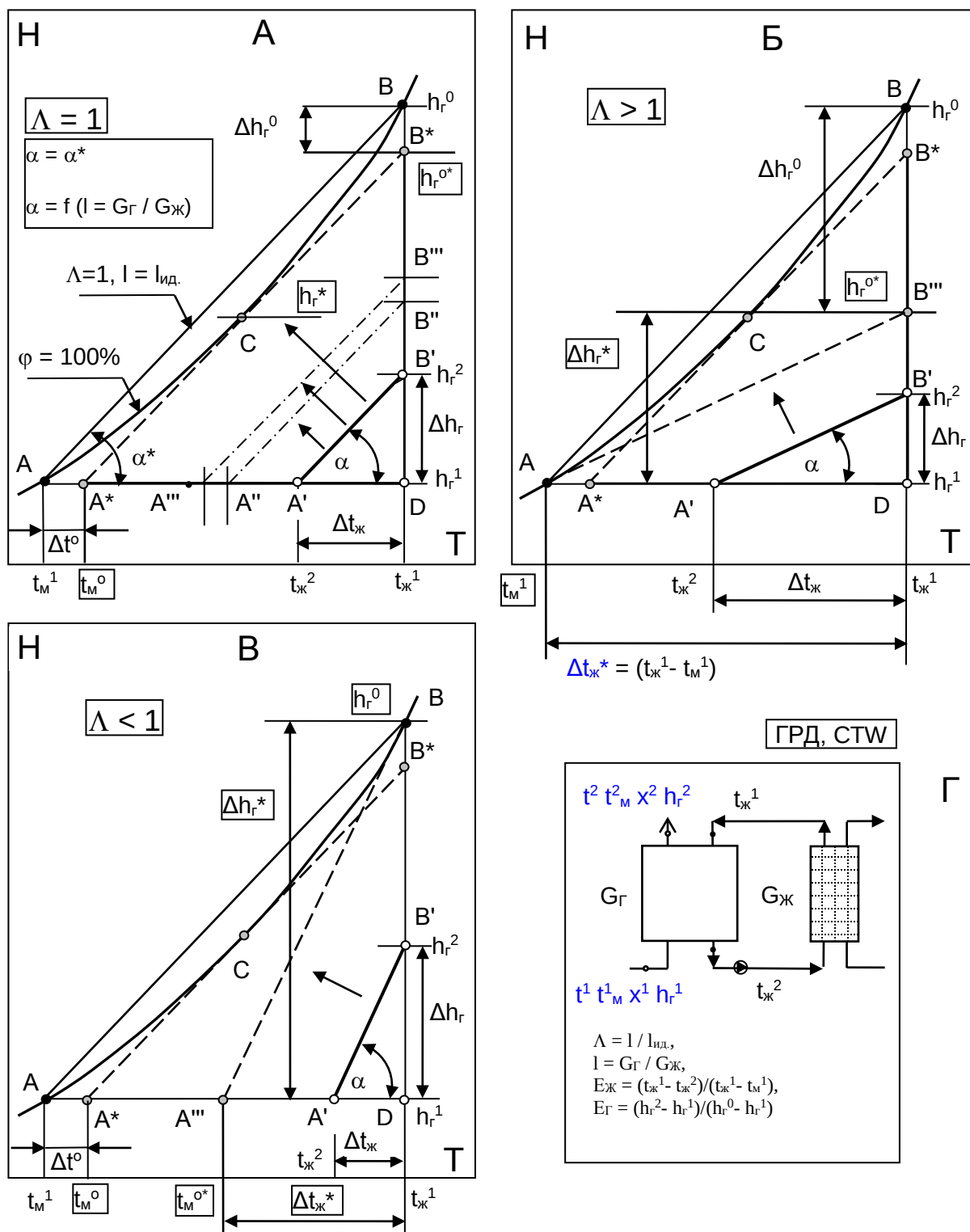


Рис. 3. К определению реальных пределов испарительного охлаждения и степени эффективности процесса в водоохладителе-градирне ГРД [1]

Эффективность процесса испарительного охлаждения в водоохладителях-чиллерах Chж. На рис. 4А на диаграмме Н-Т влажного воздуха показаны процессы в водоохладителе-чиллере Chw (для характеристического числа $\Lambda > 1$). Показано последовательное смещение рабочей линии процесса АВ (А'В') при сохранении влагосодержания поступающего в испарительный водоохладитель

воздуха ($x = \text{const}$) и снижении его температуры после водо-воздушного теплообменника. Пределом испарительного охлаждения воды здесь является температура точки росы поступающего в Chw воздушного потока ($\Delta t_{ж}^{**} = (t_{ж}^1 - t_p)$). Следует обратить внимание на характер изменения состояния воздушного потока в охладителе: линия C-D для градирни и линия C-D*-D** в Chw, где участок C-D*

это охлаждение воздушного потока в водо-воздушном теплообменнике 5, а D^*-D^{**} это собственно результат процесса тепломасообмена в испарительном охладителе Chw, частично протекающий непосредственно вдоль равновесной линии ($\varphi = 100\%$). Это обстоятельство может сказываться на эффективности суммарного процесса

охлаждения в водяном чиллере. То есть повышение предела испарительного охлаждения в водоохладителе может быть обусловлено несколькими причинами: реальным соотношением контактирующих потоков газа и жидкости и проблемой «реконденсации» при низкотемпературном охлаждении.

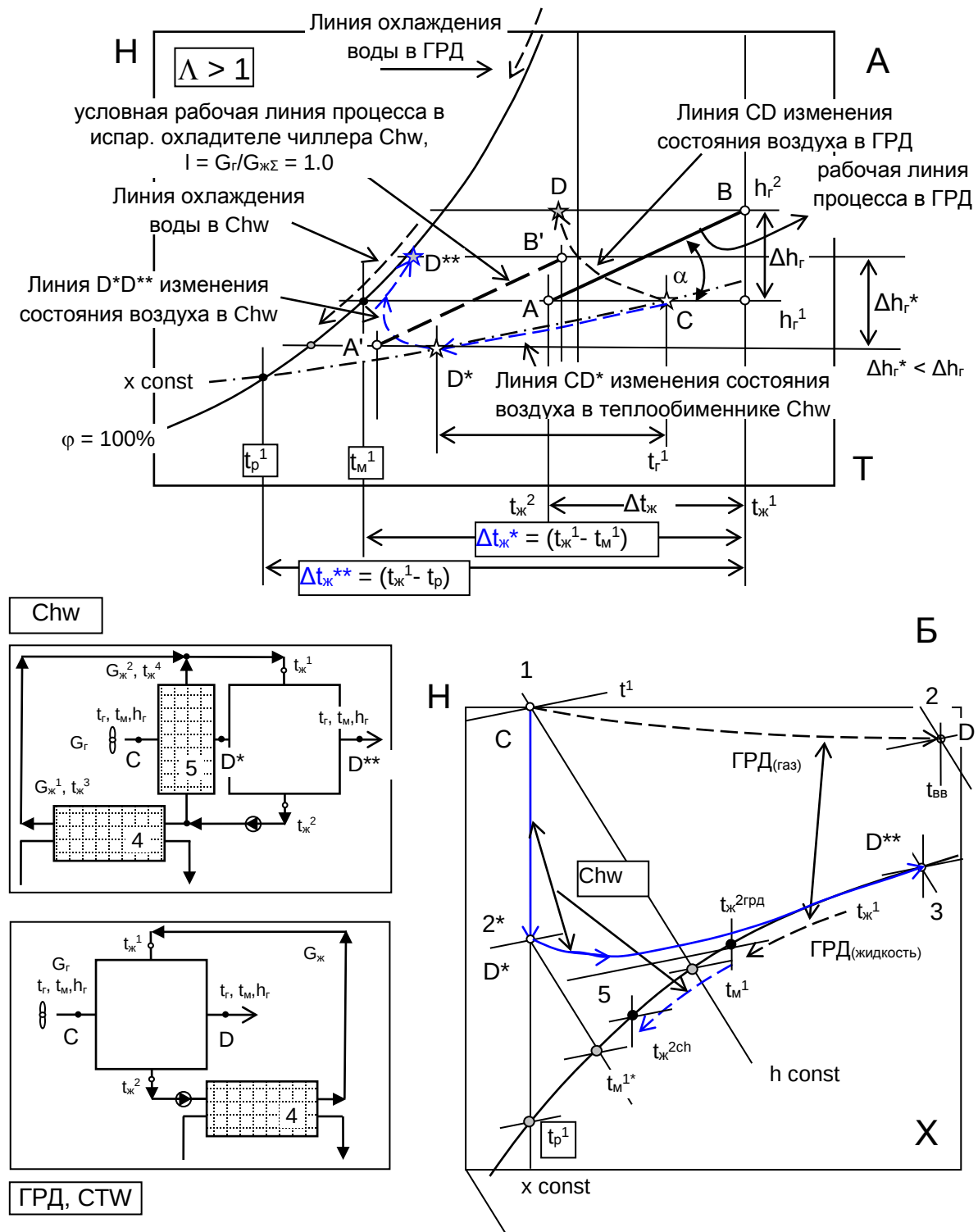


Рис. 4. К определению реальных пределов испарительного охлаждения в водоохладителе-чиллере Chw при характеристическом числе $\Lambda > 1$ [на H-T (А) и H-X (Б) диаграммах влажного воздуха] Обозначения: 4, 5 – теплообменники

IV. Анализ процессов испарительного охлаждения в водоохладителе Chw. Изучались сравнительные возможности испарительных водоохладителей, градирни ГРД и чиллера Ch-Rw (рис. 5–7). Основой для сравнительного анализа послужили опытные данные, как ранее полученные в OGAX [1–2], так и полученные в ходе экспериментального исследования авторов.

Приведенные здесь результаты носят предварительный характер, в первую очередь сравнительный, и будут в дальнейшем уточнены. В качестве теплообменных аппаратов – градилен ГРД и чиллеров Ch-Rw использовались насадочные многоканальные структуры из полимерных материалов ПМ.

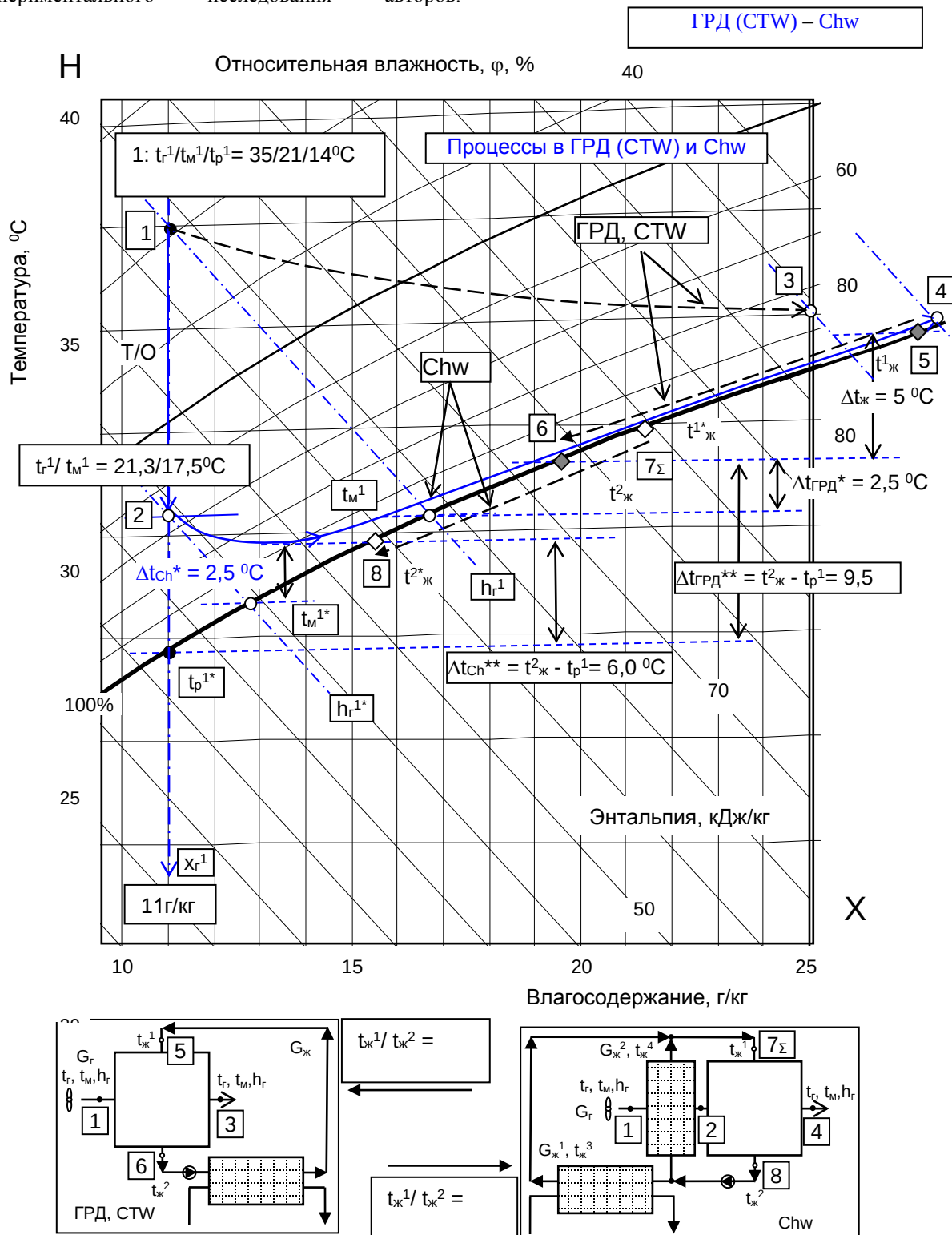


Рис. 5. Сравнительный анализ возможностей испарительных водоохладителей: градирни ГРД (СТW) и водоохладителя-чиллера Chw. Условия сравнения; $l = G_{\Gamma}/G_{ж\Sigma} = 1.0$ для обеих схем охладителей ($l^* = G_{\Gamma}^1/G_{ж}^2 = 1,0$; $G_{ж\Sigma} = G_{ж}^1 + G_{ж}^2$). Обозначения: 1–3, 5–6 – процессы в ГРД; 1–2–4 и 7–8 процессы в Chw (изменения состояния воздуха и воды). Состояния воды показано условно точками на кривой насыщения

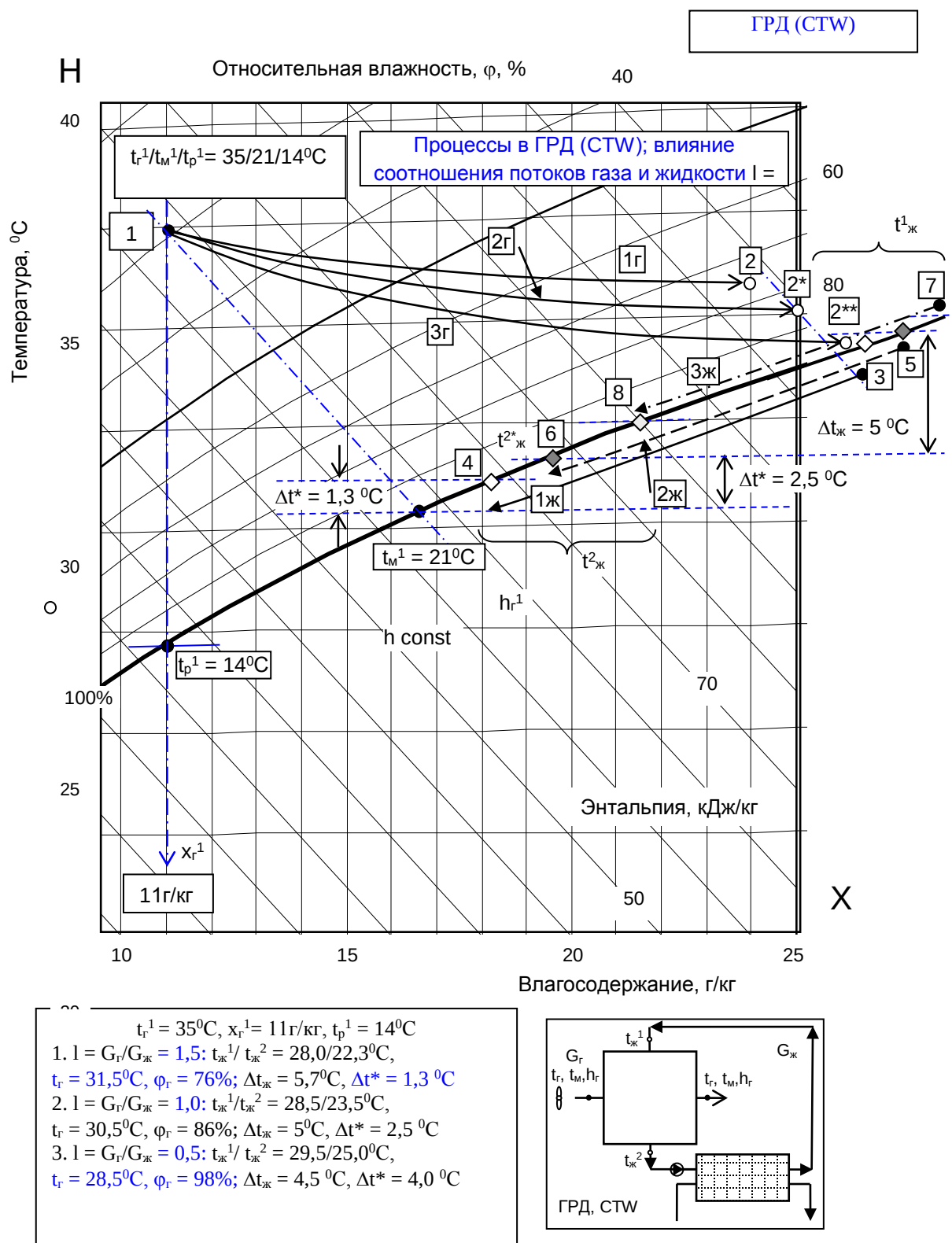


Рис. 6. Влияние соотношения расходов газа и жидкости $l = G_g/G_j$ на характеристики процесса испарительного охлаждения воды в градирне ГРД. Обозначения: 1-2 (2^* , 2^{**}) – изменение состояния воздушного потока; 3-4, 5-6 и 7-8 – процессы охлаждения воды в градирне (показан условно точками на кривой насыщения)

На рис. 5 приведен сравнительный анализ возможностей испарительных водоохладителей: градирни ГРД (СТВ) и разработанного водоохладителя-чиллера Chw при условии $l = G_g/G_j = 1.0$ для обеих схем охладителей (для чиллера

дополнительно принято соотношение расходов жидкости в основных контурах охлаждения, в водяном и водо-воздушном теплообменниках, $l^* = G_{ж}^1/G_{ж}^2 = 1,0$). Процессы в градирне: 1-3 (по воздуху), 5-6 – по охлаждаемой воде. Процессы в Ch-

Rw: 1-2-4 и 7-8, соответственно. Состояния воды условно показано точками на кривой насыщения. Степень приближения к пределу t_m^1 составляет для ГРД 2,5⁰C и для чиллера 3,0, возрастаая со снижением

предела охлаждения. Видно, что степень приближения к пределу t_p^1 составляет в сравниваемых случаях 9,5 и 5,5⁰С.

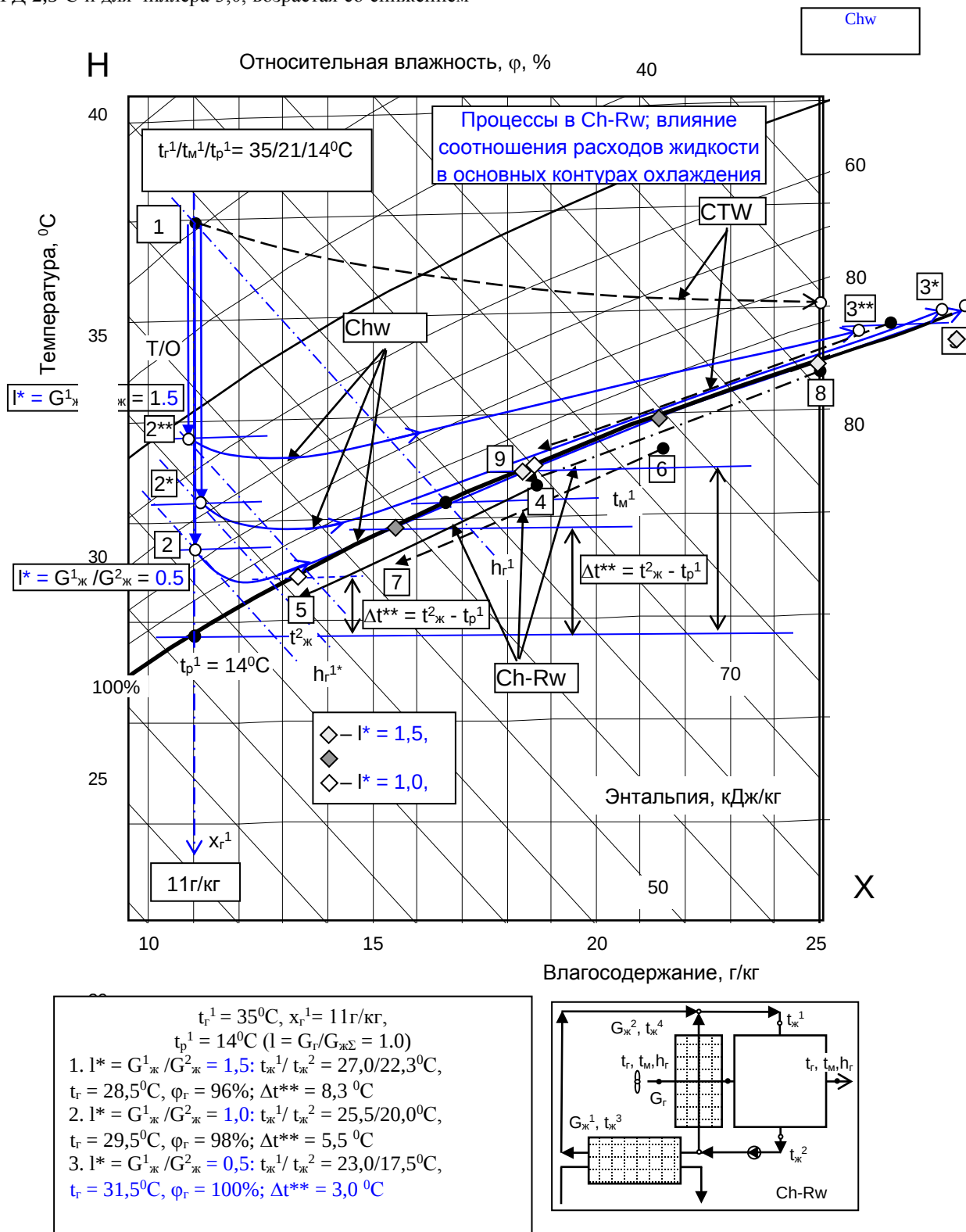


Рис. 7. Анализ возможностей водоохладителя-чиллера Chw в зависимости от соотношения расходов воды в основных контурах охлаждения $l^* = G_{1ж}^1 / G_{ж\Sigma}^2$. Условия сравнения: $l = G_1 / G_{ж\Sigma} = 1.0$ для всех анализируемых вариантов работы Chw ($G_{ж\Sigma} = G_{1ж}^1 + G_{2ж}^2$). Обозначения: 1-3, 5-6 – процессы в ГРД; 1-2-4 и 7-8 процессы в Chw (изменения состояния воздуха и воды). Состояния воды показано условно точками на кривой насыщения.

Аналогичный анализ на рис. 7 выполнен применительно к охладителю Chw, в зависимости от соотношения расходов воды в основных контурах охлаждения $l^* = G_{\text{ж}}^1 / G_{\text{ж}}^2$ (условия сравнения: $l = G_{\text{г}} / G_{\text{ж}} = 1.0$ для всех анализируемых вариантов работы Chw ($G_{\text{ж}} = G_{\text{ж}}^1 + G_{\text{ж}}^2$)). Хорошо видно, как рост доли холодной воды, поступающей в теплообменник предварительного охлаждения воздуха ($G_{\text{ж}}^1$) приводит к снижению температуры охлажденной воды $t_{\text{ж}}^2$, так что величина $\Delta t^{**} = (t_{\text{ж}}^2 - t_{\text{р}}^1)$, составляет 3°C для $l^* = 0,5$.

Здесь отметим два важных момента:

– предел охлаждения зависит от соотношения расходов в ИО (ГРД) и при больших значениях $l = G_{\text{г}} / G_{\text{ж}}$ практически совпадает с естественным пределом, в данном случае с величиной $t_{\text{р}}^1$;

– для Chw с минимальным значением $l^* = G_{\text{ж}}^1 / G_{\text{ж}}^2$ (0,5) линия изменения состояния воздушного потока в ИО практически совпадает с $\phi = 100\%$; варьирование соотношений потоков $l^* = G_{\text{ж}}^1 / G_{\text{ж}}^2$ может быть использовано для Chw как путь к решению задачи «реконденсации».

Выводы:

1. Сравнительно с прямым испарительным охлаждением воды в градирне ГРД, охлаждение в охладителе-чиллере Chw обеспечивает возможность значительно понижения температуры; пределом охлаждения здесь является температура точки росы наружного воздуха, что существенно расширяет границы практического использования таких водоохладителей.

2. Дальнейшее приближение к пределу охлаждения в Chw обеспечивает варьирование соотношения расходов жидкости в основных контурах охлаждения $l^* = G_{\text{ж}}^1 / G_{\text{ж}}^2$, и может быть снижена при росте величины $l = G_{\text{г}} / G_{\text{ж}}^{\Sigma}$.

3. Для чиллера-водоохладителя Chw линия изменения состояния воздушного потока вплотную приближается и в дальнейшем следует линии полного насыщения $\phi = 100\%$, что может привести к реконденсации водяных паров и резкому снижению эффективности процесса охлаждения; этот вопрос нуждается в отдельном изучении и в настоящее время в научной литературе практически не рассмотрен.

4. Переход на «глубокое охлаждение» воды в Chw, сравнительно с градирней, неизбежно приводит к росту удельных энергозатрат; с этой точки зрения интерес представляет изучение оптимальных условий работы такого водоохладителя, в частности, изучение влияния соотношений контактирующих потоков газа и жидкости $l = G_{\text{г}} / G_{\text{ж}}$ на эффективность процесса, а также влияния величины $l^* = G_{\text{ж}}^1 / G_{\text{ж}}^2$, расходов жидкости в основных контурах охлаждения чиллера Chw.

Список литературы:

1. Doroshenko A.V., Glaubergerman M.A. Alternative energy [Alternative energy]. Refrigerating and Heating Systems, [Odessa I.I. Mechnicow National University Press], 2012.
2. Guangming Chen, Kostyantyn Shestopalov, Alexander Doroshenko, Paul Koltun, Polymeric materials for solar energy utilization: a comparative experimental study and environmental aspects, Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2015, vol. 54, pp. 796–805.
3. Foster R.E., Dijkstra E. Evaporative Air-Conditioning Fundamentals: Environmental and Economic Benefits World Wide. [Proc. Int. Conf. “Applications for Natural Refrigerants”, Aarhus, Denmark, IIF/IIR, 1996, pp. 101–109 (In English).
4. John L., McNab, Paul McGregor. Dual Indirect Cycle Air-Conditioner Uses Heat Concentrated Dessicant and Energy Recovery in a polymer Plate Heat Exchanger. [Proc. 21 International Congress of Refrigeration IIR/IIF], 2003, Washington, D.C, ICR0646.
5. Stoitchkov N. J., Dimirov G.J. Effectiveness of Crossflow Plate Heat Exchanger for Indirect Evaporative Cooling. Int. J. Refrig., vol. 21, no. 6, 1998, pp. 463–471.
6. Zhao, X., Liu, S., Riffat, S.B. Comparative study of heat and mass exchanging materials for indirect evaporative cooling systems. [Proc 43th Int Conf. “Building and Environment”], 2008, pp. 1902–1911.
7. Gomes E.V., Martinez F.J., Diez, F.V., Leyva, M.J., Martin, R.H., Description and experimental results of a semi-indirect ceramic evaporative cooler. Int. Journal of Refrigeration, 2005, vol. 28, pp. 654–662.
8. Martínez F.J., Gómez E.V., García C.M., Requena J.F., Gracia L.M., Navarro S.H, Guimaraes A.C., Gil J.M. Life cycle assessment of a semi-indirect ceramic evaporative cooler vs a heat pump in two climate areas of Spain. Applied Energy. 2011, vol. 88, pp. 914–921.
9. Metod and Apparatus of Indirect-Evaporative Cooling, Patent RF, no. US 6,497,107 B2, 2002.
10. Maisotsenko V., Lelland Gillan, M. 2003, The Maisotsenko Cycle for Air Desiccant Cooling. [Proc. 21st Int. Cong of Refrigeration IIR/IIF], 2003, Washington, D.C, ICR0646.
11. Denis Pandelidis, Sergey Anisimov, William M. Worec. Performance study of the Maisotsenko Cycle heat exchangers in different air-conditioning applications. Intern. Journal of Heat and Mass Transfer, 2015, vol.81, pp. 207–221.
12. Pascal Stabat, Dominique Marchio. Simplified model for undirect-contact evaporative cooling tower behaviour. France. Applied Energy. 78. 9 2004, 433–451.

Поступила (received) 23.10.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Низькотемпературні випарні охолоджувачі середовищ. Розробка і аналіз можливостей / А. Е. Денисова, Л. В. Иванова, А. В. Дорошенко, А. С. Гончаренко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 34–46. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2220-4784.

Низкотемпературные испарительные водоохладители. Разработка и анализ возможностей / А. Е. Денисова, Л. В. Иванова, А. В. Дорошенко, А. С. Гончаренко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 34–46. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2220-4784.

Low temperature evaporated coolers of water. Development and analysis of possibilities of coolers / A. E. Denysova, L. V. Ivanova, O. V. Doroshenko, O. S. Goncharenko // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 41(1263). – p. 34–46. Bibliog.:12 titles. – ISSN 2220-4784.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Денисова Алла Євсївна – доктор технічних наук, професор кафедри ТЕСтАЕ, Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса; тел.: (048) 705-85-91;
e-mail: alladenysova@gmail.com.

Денисова Алла Евсеевна – доктор технических наук, профессор кафедры ТЭСиЭТ, Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, тел.: (048) 705-85-91;
e-mail: alladenysova@gmail.com.

Alla Evseevna Denysova – doctor of science, professor of Department HPPandEST, Odessa National Polytechnic University, Odessa, tel.: (048)705-403;
e-mail: alladenysova@gmail.com

Иванова Лидия Володимирівна – магістр, асистент кафедри ТЕСтАЕ, Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса; тел.: (048) 705-84-03;
e-mail: leesoul18@gmail.com

Иванова Лидия Владимировна – магистр, ассистент кафедры ТЭСиЭТ, Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, тел.: (048) 705-84-03;
e-mail:leesoul18@gmail.com

Lidiia Volodymyrivna Ivanova – magistr, assistant of Department HPPandEST, Odessa National Polytechnic University, Odessa, tel.: (048) 705-84-03;
e-mail: leesoul18@gmail.com

Дорошенко Олександр Вікторович – доктор технічних наук, професор кафедри TiBE (термодинаміки і відновлювальної енергетики), Одеська національна академія харчових технологій, тел.: (048) 720-91-82;
e-mail: dor_av@i.ua

Дорошенко Александр Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры ТиВЕ (термодинамики и возобновляемой энергетики), Одесская национальная академия пищевых технологий, тел.: (048) 720-91-82;
e-mail: dor_av@i.ua

Oleksandr Viktorovych Doroshenko, doctor of science, professor of Department TandRE (Thermodynamics and Renewable Energy), Odessa National Academy of Food Technologies, tel .: (048) 720-91-82;
e-mail: dor_av@i.ua

Гончаренко Олександр Сергійович – магістр, аспірант кафедри TiBE (термодинаміки і відновлювальної енергетики), Одеська національна академія харчових технологій, тел.: (048) 720-91-82;
e-mail: dor_av@i.ua

Гончаренко Александр Сергеевич – магистр, аспирант кафедры ТиВЕ (термодинамики и возобновляемой энергетики), Одесская национальная академия пищевых технологий, тел.: (048) 720-91-82;
email: tre.irce@gmail.com

Oleksandr Sergiyovych Goncharenko, magistr, postgraduate of Department TandRE (Thermodynamics and Renewable Energy), Odessa National Academy of Food Technologies, tel .: (048) 720-91-82;
e-mail: tre.irce@gmail.com

УДК 664 :679.9

*N. V. KONDRATJUK, S. I. OKOVYTY, Y. P. PYVOVAROV, M. O. BILICHENKO, Y. A. POLYVANOV***QUANTUM-CHEMICAL MODELING OF URONATE POLYSACCHARIDES DIMERS
IN THE STRATEGY OF CREATING FOOD BIODEGRADATED COATINGS**

В статті розглянуті важливі аспекти комп'ютерного моделювання процесів, що протікають при утворенні гелів харчових плівкоутворюючих. Наведені карти поверхнево-потенційної енергії димерів уронатних полісахаридів та основні характеристики стійких конформерів високогулуронатного альгінату натрію та пектину низькоестерифікованого амідованого дозволяють у достатній мірі адекватно відобразити етапи формування реальних колоїдних розчинів у процесі золь-гель перетворення. Дослідження, що проводяться у даному напрямку мають вагомe значення для розробки способів керованої регуляції властивостей гелів на основі уронатних полісахаридів з елементами, що формують нанометричні структури. Результати роботи стали науковим підґрунтям для розробки технології харчових покриттів, що самоорганізуються за стандартних умов та біодеградують.

Ключові слова: уронатні полісахариди, гелеутворення, поверхнево-потенційна енергія, квантово-хімічне моделювання, конформери.

В статье рассмотрены важные аспекты компьютерного моделирования процессов, протекающих при образовании гелей пищевых пленкообразующих. Приведенные карты поверхностно-потенциальной энергии димеров уронатных полисахаридов и основные характеристики устойчивых конформеров высокогулуронатного альгината натрия и пектина низкоэтерифицированного амидированного в достаточной мере позволяют адекватно отразить этапы формирования реальных коллоидных растворов в процессе золь-гель превращения. Проводимые в данном направлении исследования, имеют большое значение для разработки способов управляемой регуляции свойств гелей на основе уронатных полисахаридов с элементами, формирующими нанометрические структуры. Результаты работы стали научным обоснованием разработки технологии пищевых, самоорганизующихся при стандартных условиях, и биодegradируемых покрытий.

Ключевые слова: уронатные полисахариды, гелеобразование, поверхностно-потенциальная энергия, квантово-химическое моделирование, конформеры.

In the article important aspects of computer modeling of the processes occurring during the formation of food film-forming gels are considered. The given maps of the surface potential energy of uroconate polysaccharides dimers and the main characteristics of stable conformers of high-guluronate sodium alginate and pectin of low-esterified amidated sufficiently allow adequately to reflect the stages of real colloidal solutions formation in the process of sol-gel conversion. The studies carried out in this direction are of great importance for the development of methods for controlled regulation of the properties of gels based on uroconate polysaccharides with elements forming nanometric structures. The results of the work became the scientific basis for the development of food self-organizing technology under standard conditions and biodegradable coatings.

Keywords: urogenital polysaccharides, gelling, surface-potential energy, quantum-chemical modeling, conformers.

Introduction

Nanoscale objects and objects of the macrocosm have substantial distinctions. The modern science experimental researches quite often become resource intensive and uneconomical making it impossible or very difficult to conduct a direct experiment.

In this case, the method of quantum-chemical modeling is irreplaceable and most accurate. The modeling process itself makes it possible to monitor the factors and understand the conditions creating the behavioral characteristics of the simulated environment and real objects. At the same time, the fact that modeling is based on the fundamental physical and chemical laws allows us to reveal the new features and capabilities of the system.

Quantum-chemical modeling of the processes of food film-forming gels formation will help to detail the characteristics of the researched objects participation in the process of creating gel systems and based on them biodegradable films; to study their properties at the molecular level and to build possible structures of polysaccharide matrices taking into account the action of the solvent. This problem is of scientific interest both for understanding the formation of gel systems on the basis of uroconate polysaccharides (sodium alginate and pectin) and the formation of films that can retain high organoleptic properties of the finished product for a long time and at the same time have the ability to biodegrade. Special attention was paid to determining the properties of the minimal structural units (dimers) that make up the system and possess its properties at the maximum. Their

conformational analysis was carried out, geometry and thermodynamic characteristics were determined.

Stating the problem in general and its connection with the important scientific or practical tasks.

Computer modeling of nanoscale particles synthesis processes and their compositions is widely used for the detailed understanding of the nature of irregular processes of polymeric structures origin and growth. Quantum-chemical modeling of the reaction of ionotropic gelling with the involvement of sodium alginate [1] and pectin [2] was investigated earlier. The result was not only a more detailed study of the processes and gel net formation, but it also provided a deeper penetration into the phenomena that would be impossible to understand by means of traditional methods of analyzing these systems.

To date, the study of properties based on uroconate polysaccharides compositions is most relevant, since in the number of studies, strategically important for pharmacy and medicine effects of "cross-copolymerization" of these objects have been found [3–6]. It should be noted that the descriptions of the "pectin-alginate" system properties in the results of these studies are of a prognostic nature and do not explain the chemical nature of interaction between the components, do not describe the nature of binding of the structural elements in the system demonstrating only the dynamics of fixed indicators in time or their dependence on physical forces of impact.

© N.V. Kondratjuk, S.I. Okovyty, Y.P. Pyvovarov, M.O. Bilichenko, Y.A. Polyvanov, 2017

The aim of this study is to create simulation models of the centres of binding polysaccharide chains between themselves and solvent molecules in the system of polymer composition between high-guluronate sodium alginate and pectin low-esterified amidated. One more goal of the work is to develop a methodology for computer modeling of the processes of nanoscale objects formation at the initial stages of chemical reactions, taking into account the interaction of the original components, their structural features and the parameters of technological processes.

To achieve the goals, the following tasks were formulated:

1. Investigation of the projected centers of nanoscale structures (dimers of maternity

polysaccharides) formation at the initial stages of the gelling process;

2. Creation of a simulation model of the synthesized nanostructure during the "cross-copolymerization" of uronate polysaccharides molecules;

3. Development of a methodology for step-by-step modeling of nanostructures synthesis.

Presentation of the studies

In this paper, we present the results of quantum-chemical modeling of the conformational properties of alginate uronic acid dimers (Figure 1) and pectin (Figure 2.), taking into account the differences in alginate acid composition and presence of the ester and / or amide group in pectin.

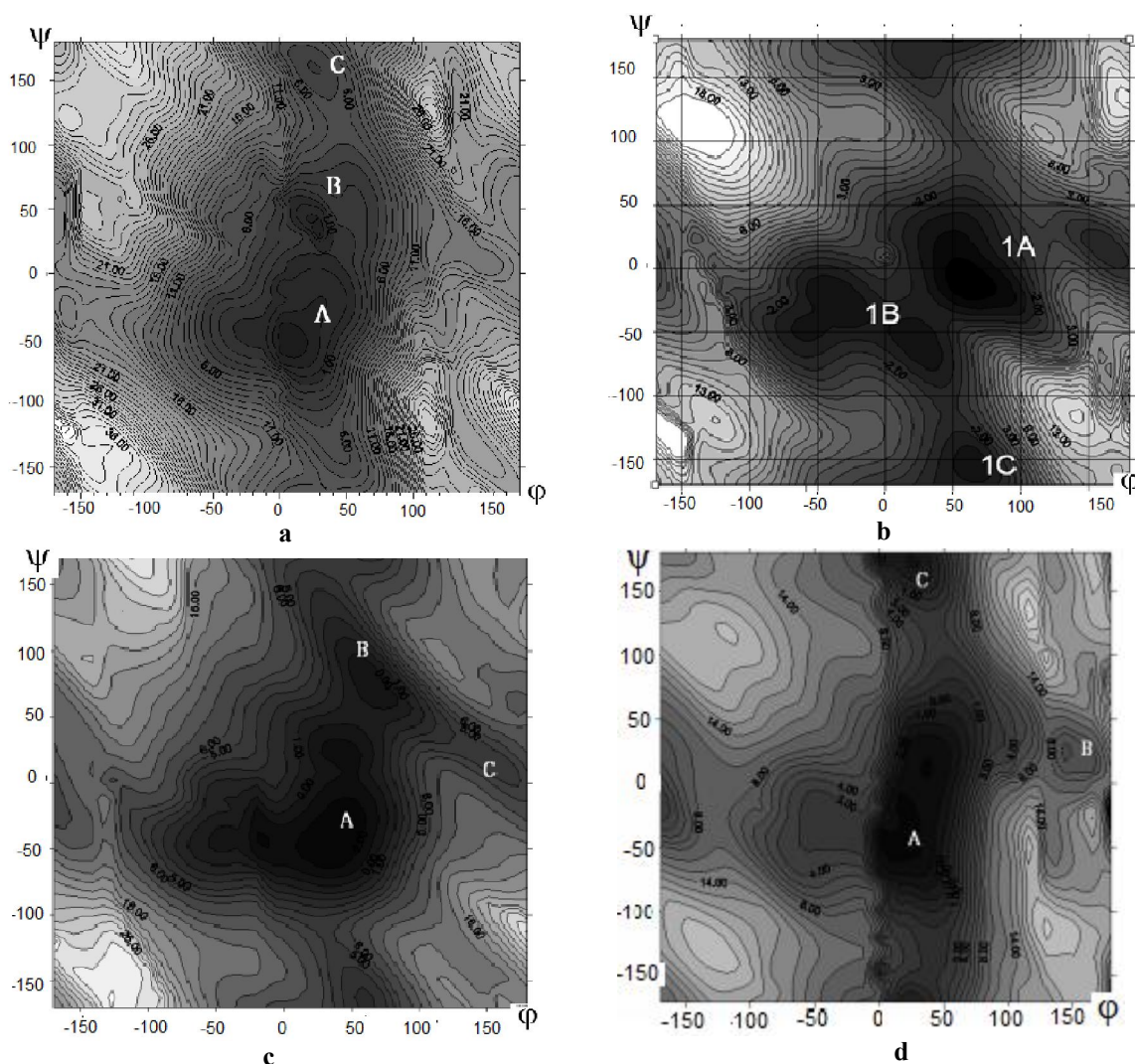


Fig 1. Contour maps of the potential energy surface for sodium alginate dimers:
a – guluronate-guluronate; b – mannuronate-mannuronate;
c – guluronate-mannuronate; d – mannuronate-guluronate

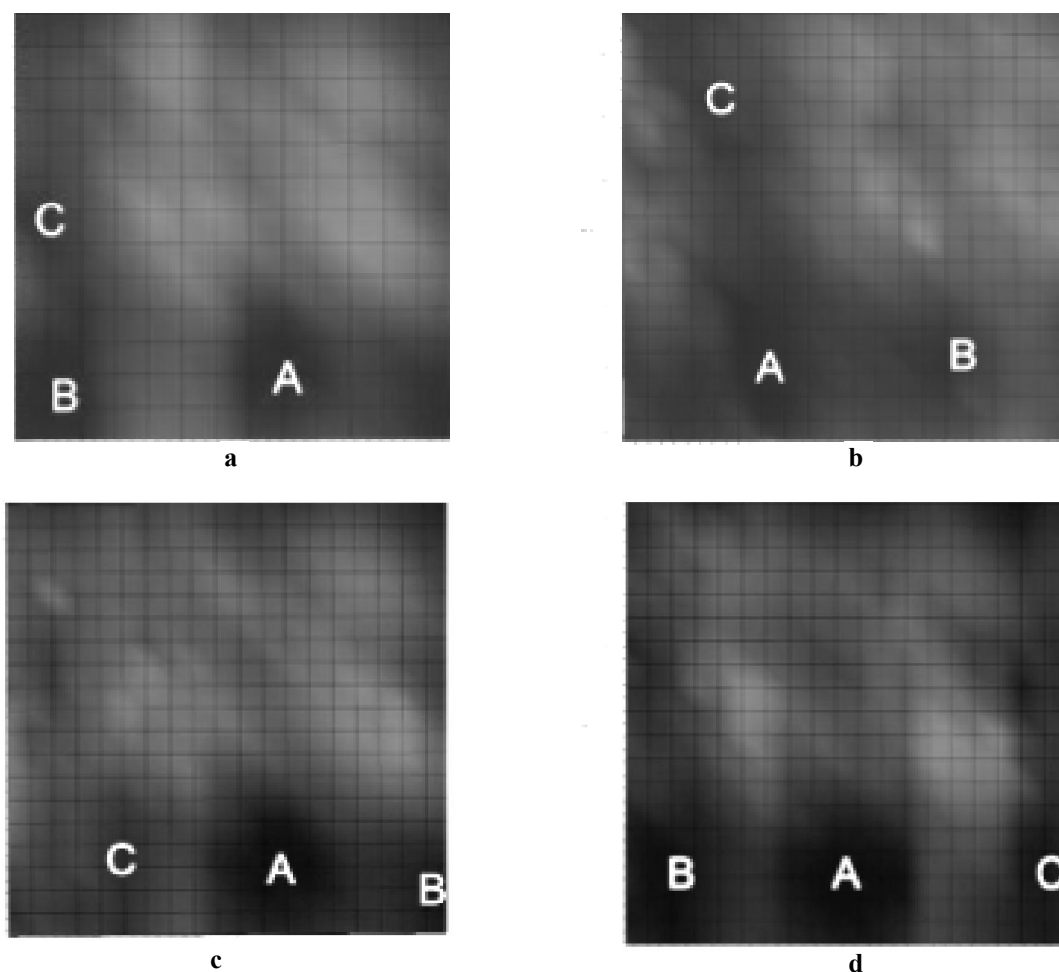


Fig 2. Contour maps of the potential energy surface for pectin dimers with groups next function groups: a – carboxyl-carboxyl; b – ester; c – amide; d - carboxyl-amide

Program Gaussian 09 [7] was used for calculations. To scan the potential energy surfaces regarding the torsion angles φ and ψ the PM3 method was applied [8]. The structure and energy of conformations corresponding to energy minima were refined by complete structures optimization. In so doing, possible ways of binding dimers into polymer chains of "sandwich type" for the subsequent "cross-copolymerization" with the participation of calcium ions were considered.

As shown in Fig. 1a, three regions (A, B, C) corresponding to stable conformers of the dimer-dimer "guluronate-guluronate" are clearly marked on the surface of the potential energy. For the complete presentation of the principle of complex interaction between dimers, and also in the case of the formation of cross-copolymer structures cross-linked by calcium ion, it is necessary to consider analogous systems with manuronate-manuronate, guluronate-manuronate, and manuronate-guluronate segments. The results shown in Fig. 1 b-g, describe in each investigated object three regions that indicate the existence of three stable conformers.

Similar tendencies were also observed in the structures of pectin dimers (Fig. 2a-d). Fig. 2 shows that on PPE maps of the examined objects, three regions with energy minima can be seen. All conformational

transitions are characterized by low energy barriers - 8.2-26.6 kJ / mol. Other transitions are highly labile in the examined systems. This testifies to the sufficient flexibility of the conformer pairs and their easy transition to conformations, necessary for creating complexes with metal cations, directly with calcium ions.

On the basis of the results, describing the structural features of each examined polymers dimers, we proposed the theoretical model that recreates their direct interaction. The basis for constructing such a system can be the data of the experimental study of the ionotropic gelling process, according to which it is possible to affirm the existence of a "chemical" interaction between four groups -COOH (in various variations of pectin and alginate dimers) with a calcium ion (Fig.3).

From the technological point of view, this indicates that with the excess of calcium ions Ca^{2+} in the system it becomes possible to carry out all the transitions irrespective of the activation energy, and this affects the reduction in the number of hydrogen bonds and changes the structural and mechanical properties of the system. At reasoned concentrations of bi- or polyvalent metals, transitions occur only under the condition of energetically favorable pathways. This is the essence of system technological properties correction.

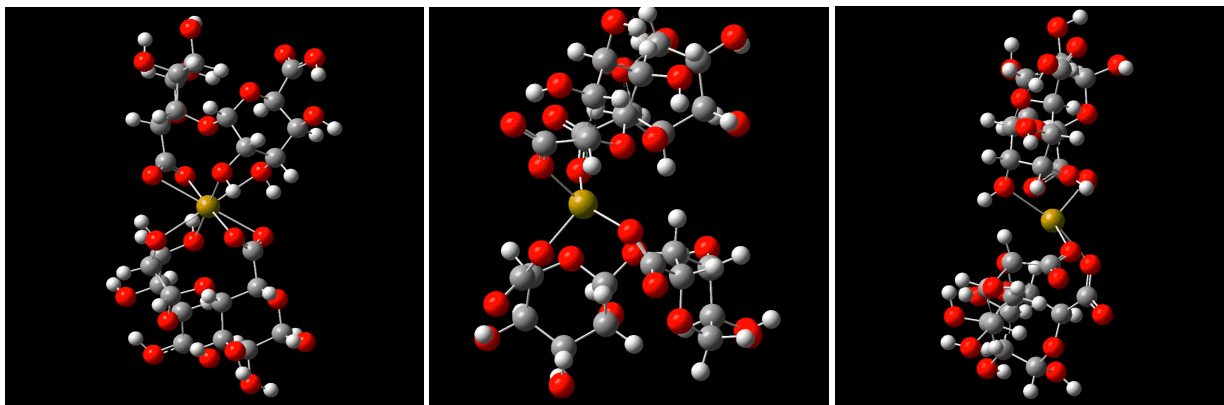


Fig 3. Model of stable calcium uranium systems: tetrahuluronate calcium (a); tetragalacturonate calcium (b); diguluronotadigalacturonate calcium (c).

Conclusions and prospects for this direction further development.

Thus, in this paper, the most energetically stable structures of the GG dimer, and the transition states of the corresponding conformational transitions are localized. The calculated dimensions of the activation barriers indicate the high conformational lability of the system.

The work describes the predicted centers of nanoscale structures (dimers of uroconate polysaccharides) formation at the initial stages of the gelling process. Such are tetrahuluronate, tetramanuronate, diguluronate dimanuronate, digmanuronate dihyuluronate, tetragalacturonate, and diguluronad dihalacturonate structures.

Список литературы:

1. Оковитий, С.И., Пивоваров П.П., Пивоваров Е.П., Кондратюк Н.В. и др. Квантово-химическое моделирование димера гулурановой кислоты. Вісник Дніпропетровського університету. – Сер. Хімія. – Дніпропетровськ: ДНУ ім. О. Гончара. 2010. – Вип. 16, т. 18. – с. 200–204.
2. Оковитий С.И., Пивоваров С.П., Кондратюк Н.В. та інші. Дослідження харчових систем на основі пектину. Квантово-хімічне моделювання димерів галактуронової кислоти. Вестник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». 2017. – № 7 (1229). – с. 194–198.
3. Rezvaniana M., Ahmadb N., etc. Optimization, characterization, and *in vitro* assessment of alginate-pectin ionic cross-linked hydrogel film for wound dressing applications. International Journal of Biological Macromolecules. 2017. – V. 97. – p. 131–140.
4. Nešića A., Onjiaa A., Davidovičh S., etc. Design of pectin-sodium alginate based films for potential healthcare application: Study of chemico-physical interactions between the components of films and assessment of their antimicrobial activity. Carbohydrate Polymers. 2017. – V. 157. – p. 981–990.
5. Belščak-Cvitanovića A., Đorđević V., Karlovića S., etc. Protein-reinforced and chitosan-pectin coated alginate microparticles for delivery of flavan-3-ol antioxidants and caffeine from green tea extract. Food Hydrocolloids. 2015. – V. 51. – p. 361–374.
6. Belščak-Cvitanovića A., Bušića A., Barišića L. etc. Emulsion templated microencapsulation of dandelion (*Taraxacum officinale* L.) polyphenols and β -carotene by ionotropic gelation of alginate and pectin. Food Hydrocolloids. 2016. – V. 57. – p. 139–152.

Based on the obtained surface potential energy maps, simulated models of synthesized nanostructures were created during the "cross-copolymerization" of molecules of uroconate polysaccharides.

The given above stages of modeling became the basis of algorithm for the synthesis of nanostructures, described by the "alginate-pectin" gel system.

The proposed compositions in the form of hydrogels and films are economically most justifiable, since they definitely prevent the loss of the finished product's presentation and reduce the risk of contamination of the finished product surface by the pathogenic microorganisms.

7. Gaussian 09, Revision D.01, M. J. Frisch, G. W. Trucks, H. B. Schlegel, G. E. Scuseria, et al. Gaussian, Inc., Wallingford CT, 2013.

8. Кобзев Г.И. Применение неэмпирических и полумпирических методов в квантово-химических расчетах : учеб. пособие / Г. И. Кобзев. – Оренбург : ГОУ ОГУ. - 2004. – 150 с.

Bibliography (transliterated):

1. Okovityy, S.I., Pivovarov P.P., Pivovarov E.P., Kondratyuk N.V. i dr. Kvantovo-himicheskoe modelirovanie dimeru guluronovoy kisloty. Visnik Dnipropetrovskogo universitetu. – Ser. Himiya. – Dnipropetrovsk: DNU im. O. Gonchara. 2010. – V. 16, t. 18. – P. 200–204.
2. Okovityi S.I., Pivovarov Ie.P., Kondratiuk N.V. ta insh.. Doslidzhennia kharchovykh sistem na osnovi pektynu. Kvantovo-khimichne modeliuвання dimeriv galykturoonovoi kisloty. Vestnyk NTU - KhPi, Seryia: Novye resheniya v sovremennykh tekhnolohiyakh. – Kharkov: NTU - KhPi. 2017. – № 7 (1229). – P. 194–198.
3. Rezvaniana M., Ahmadb N., etc. Optimization, characterization, and *in vitro* assessment of alginate-pectin ionic cross-linked hydrogel film for wound dressing applications. International Journal of Biological Macromolecules. 2017. – V. 97. – p. 131–140.
4. Nešića A., Onjiaa A., Davidovičh S., etc. Design of pectin-sodium alginate based films for potential healthcare application: Study of chemico-physical interactions between the components of films and assessment of their antimicrobial activity. Carbohydrate Polymers. 2017. – V. 157. – p. 981–990.
5. Belščak-Cvitanovića A., Đorđević V., Karlovića S., etc. Protein-reinforced and chitosan-pectin coated alginate microparticles for delivery of flavan-3-ol antioxidants and caffeine from green tea extract. Food Hydrocolloids. 2015. – V. 51. – p. 361–374.

6. Belščak-Cvitanovića A., Bušića A., Barišića L. etc. Emulsion templated microencapsulation of dandelion (*Taraxacum officinale* L.) polyphenols and β -carotene by ionotropic gelation of alginate and pectin. Food Hydrocolloids. 2016. - V. 57. - p. 139-152.

7. Gaussian 09, Revision D.01, M. J. Frisch, G. W. Trucks, H. B. Schlegel, G. E. Scuseria, et al. Gaussian, Inc., Wallingford CT, 2013.

8. Kobzev G.I. Primenenie neempiricheskikh i poluempiricheskikh metodov v kvantovo-himicheskikh raschetah : ucheb. posobie / G.I. Kobzev. – Orenburg : GOU OGU. 2004. – 150 p.

Поступила (received) 23.10.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Квантово-хімічне моделювання димерів уронатних полісахаридів у стратегії створення покриттів, що біодеградують / Н.В. Кондратюк, С.І. Оковитий, Є.П. Пивоваров, М.О. Біліченко, Є.А. Поливанов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 47–51. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2220-4784.

Квантово-химическое моделирование димеров уронатных полисахаридов в стратегии создания пищевых биодegradуемых покрытий / Н.В. Кондратюк, С.И. Оковитый, Е.П. Пивоваров, М.А. Биличенко, Е.А. Поливанов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 47–51. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2220-4784.

Quantum-chemical modeling of dimers of the uronate polysaccharides in the strategy of creation of the food biodegradable coatings / N.V. Kondratjuk, S.I. Okovyty, Y.P. Pyvovarov, M.O. Bilichenko, Y.A. Polyvanov // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 41(1263). – P. 47–51. Bibliog.: 8 titles. – ISSN 2220-4784.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кондратюк Наталія Вячеславівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, тел.: +380979182009; e-mail: kondratjukn3105@gmail.com.

Kondratjuk Natalia Vyacheslavivna – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of Food Technologies of the Dnipro National University by Oles' Honchar, tel.: +380979182009; e-mail: kondratjukn3105@gmail.com.

Кондратюк Наталья Вячеславовна – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых технологий Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара, тел.: +380979182009; e-mail: kondratjukn3105@gmail.com.

Оковитий Сергій Іванович – доктор хімічних наук, професор кафедри органічної хімії, проректор з наукової роботи Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, тел.: +380681440196; e-mail sokovyty@icnanotox.org.

Okovytyi Sergiy Ivanovich – Doctor of Chemistry Sciences, Professor at the Department of Organic Chemistry of the Dnipro National University by Oles' Honchar, tel.: +380681440196; e-mail sokovyty@icnanotox.org.

Оковитый Сергей Иванович – доктор химических наук, профессор кафедры органической химии, Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара, тел.: +380681440196; e-mail sokovyty@icnanotox.org.

Пивоваров Євген Павлович – доктор технічних наук, професор кафедри технології харчування Харківського державного університету харчування та торгівлі, тел.: +380675783338; e-mail: pcub@ukr.net.

Pyvovarov Yevgen Pavlovych – Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Department of Food Technology of the Kharkiv State University of Food Technology and Trade, tel.: +380675783338; e-mail: pcub@ukr.net.

Пивоваров Евгений Павлович – доктор технических наук, профессор кафедры технологии питания Харьковского университета питания и торговли, тел.: +380675783338; e-mail: pcub@ukr.net.

Біліченко Мар'я Олександрівна – магістр кафедри органічної хімії, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара; e-mail: m.bilichenko23@gmail.com.

Bylychenko Maria Olexandrivna – magistr at the Department of Organic Chemistry of the Dnipro National University by Oles' Honchar; e-mail: m.bilichenko23@gmail.com.

Биличенко Марья Олександровна – магистр кафедры органической химии, Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара; e-mail: m.bilichenko23@gmail.com.

Поливанов Єгор Андрійович – бакалавр Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара; e-mail: mr.egor.pv@gmail.com.

Polyvanov Yegor Andriyovych – bachelor of the Dnipro National University by Oles' Honchar; e-mail: mr.egor.pv@gmail.com.

Поливанов Егор Андреевич – бакалавр Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара; e-mail: mr.egor.pv@gmail.com.

УДК 621.577

*О. А. КЛИМЧУК, А. Є. ДЕНИСОВА, Г. А. БАЛАСАНИЯ***КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ВПРОВАДЖЕННЯ ПЕРЕРИВЧАСТОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В БУДІВЛЯХ ГРОМАДСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

В статті розглянуті питання комплексного підходу зниження енергоспоживання в системах теплопостачання будинків громадського призначення. Запропоновані режими переривчастого опалення в громадських будівлях. Проведено моделювання режимів роботи системи теплопостачання будівлі з використанням теплових насосів та різних систем опалення. Показано вплив етапів термомодернізації на ефективність системи переривчастого опалення. Проведено експериментальні дослідження режимів роботи системи переривчастого теплопостачання при застосуванні різних опалювальних приладів.

Ключові слова: теплові насоси, переривчасте опалення, комбінована теплова ізоляція, опалювальні прилади.

В статье рассмотрены вопросы комплексного подхода снижения энергопотребления в системах теплоснабжения зданий общественного назначения. Предложены режимы прерывистого отопления в общественных зданиях. Проведено моделирование режимов работы системы теплоснабжения здания с использованием тепловых насосов и различных систем отопления. Показано влияние этапов термомодернизации на эффективность системы прерывистого отопления. Проведены экспериментальные исследования режимов работы системы прерывистого теплоснабжения при применении различных отопительных приборов.

Ключевые слова: тепловые насосы, прерывистое отопление, комбинированная тепловая изоляция, отопительные приборы.

In the article were considered the issues of complex approach to energy consumption reduction in the heat supply systems for public buildings. The modes of heat consumption by consumer types were analyzed. The efficient modes of intermittent heating in public buildings were proposed. The simulation of the operating modes of the building heat supply system using heat pumps and various heating systems was carried out. The influence of the energetic refurbishment stages on the intermittent heating systems efficiency was shown. Experimental research of heating dynamics of premises using various types of heating systems was carried out. The operating modes of discontinuous heating system for public buildings using various heating devices were examined.

Keywords: heat pumps, discontinuous eating, combined heat isolation heating devices.

Вступ.

В умовах загострення дефіциту і зростання цін на енергоносії проблема енергозбереження для економіки України та її житлово-комунального сектора є вкрай актуальною. Відомо, що житлово-комунальне господарство (ЖКГ) є найважливішою соціальною галуззю, де функціонують тисячі підприємств та організацій, задіяно майже 25% основних фондів країни, зайнято близько 7% працездатного населення і використовується близько 26% паливно-енергетичних ресурсів України. В той же час ця галузь економіки є найбільш технічно відсталою з цілою низкою проблем, які безупинно загострюються. Середня витрата теплової енергії, яка використовується для опалення житлового фонду, перевищує 600 кВт·год/рік на 1 м³, що в 4–5 разів вище, ніж аналогічні показники для таких холодних» країн, як Норвегія, Швеція і Фінляндія [1].

Найбільш перспективним для України, з урахуванням особливостей її кліматичних умов, є впровадження інтегрованої системи альтернативного переривчастого теплопостачання (ІСАПТ), що працює в режимі переривчастого опалення з реалізацією можливості акумулювання енергії за нічним тарифом, та використанням раціональної комбінованої теплової ізоляції стін й резервним джерелом енергії, в тому числі і на біопаливі [2–4]. В зазначеному напрямку і були орієнтовані основні дослідження роботи.

Постановка проблеми у загальному вигляді та перспективи її вирішення.

Аналізуючи відомі в світі теоретичні та експериментальні результати щодо інтегрованих альтернативних систем на базі теплонасосного циклу

[5–7], а також вітчизняні і закордонні наукові праці [8–12], де вказані особливості використання вказаних систем, можна зробити висновок, що науково-обґрунтованих рекомендацій, які стосуються раціонального вибору схемно-конструктивних особливостей, режимних параметрів ІСАПТ з акумуляторами теплоти, що працюють в режимі переривчастого теплопостачання явно не достатньо.

На відміну від традиційних теплонасосних систем – моноструктурних (моновалентних) та поліструктурних (полівалентних), для використання яких в безперервному режимі роботи в ряді географічних регіонів існують рекомендації щодо конструктивних параметрів та показників ефективності, ІСАПТ з переривчастим режимом теплопостачання й акумуляторами теплоти, які використовують нічний тариф на електроенергію мають перспективи використання для широкого кола споживачів промислової теплоенергетики, комунально-побутового й агропромислового сектору, що відповідає задачам енергозбереження [13, 14], але вивчені недостатньо. В першу чергу, означене стосується дослідження процесів теплообміну в елементах ІСАПТ, режимів роботи акумуляторів теплоти для переривчастої системи теплопостачання, а також визначення ролі комбінованої дворівневої системи теплоізоляції з урахуванням режимів експлуатації будівель.

На режим споживання тепла впродовж доби, також в основному впливає призначення будівлі. В першу чергу ІСАПТ доцільно використовувати для будівель громадського призначення

© О. А. Климчук, А. Є. Денисова, Г. А. Баласанян, 2017

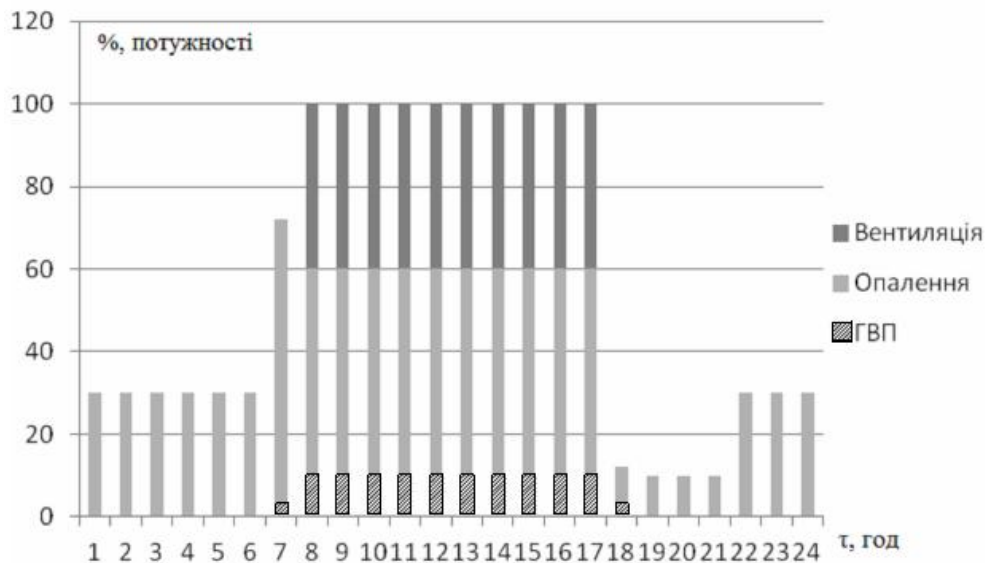


Рис. 1. Діаграма споживання тепла впродовж доби будинком громадського призначення

Мета та методи дослідження.

Основною метою роботи є науково-технічне обґрунтування та визначення умов ефективного впровадження нового класу ІСАПТ, що працює в режимі переривчастого опалення з реалізацією можливості акумулювання енергії за нічним тарифом, та використанням раціональної комбінованої теплової ізоляції стін, а також резервуванням потужності за рахунок дублера на біопаливі, шляхом математичного та фізичного моделювання теплових процесів в її елементах, як ефективний напрямок вирішення проблеми енерго- і ресурсозберігаючих технологій, де раціонально використовуються відновлювані джерела енергії (ВДЕ), акумулятор теплоти, комбінована конфігурація теплової ізоляції, що призводить до суттєвого підвищення ефективності й екологічності системи, економії органічного палива й забезпечує узгодження графіків генерації та споживання енергії.

Через можливість реалізації покриття сезонного дефіциту відновлювальних джерел енергії шляхом використання різномірних за природними можливостями ВДЕ, наприклад, інсоляції, повітря й ґрунтової енергії, в інтегрований системі теплопостачання на базі теплонасосного циклу, можна досягти збільшення частки заміщення традиційних видів енергоносіїв на засадах енергозберігаючих технологій.

Для досягнення найбільшої ефективності використання такої системи необхідно розробити

математичну модель теплових процесів в її складових елементах. Нами обрано як об'єкт моделювання ІСАПТ, де комбіновано використовуються декілька ВДЕ для цілей енергозабезпечення споживачів. Аналіз об'єкту моделювання потребує декомпозиції ІСАПТ на складові елементи: сонячний колектор, акумулятор теплоти, включений до контуру ТНУ; тепловий насос, об'єкт теплопостачання (будівля з комбінованою тепловою ізоляцією) та резервний

генератор теплоти, в т.ч. такий, що працює на біопаливі.

Викладання основного матеріалу досліджень. Структура математичної моделі теплового режиму будівлі

Широко відома модель Е.Я. Соколова [15], яка складена на основі теплового балансу з використанням квазістаціонарних наближень, в якій запропоновано визначати середню температуру зовнішньої стіни будівлі як пів суму температур внутрішнього і зовнішнього повітря. Рівняння теплового балансу для малого проміжку часу буде мати вигляд:

$$[W_0 - q_0 V (t_B - t_H)] d\tau = c \rho F \delta \left[\left(\frac{\delta}{2R\lambda} + \frac{1}{\alpha_H R} \right) dt_B - \left(\frac{\delta}{2R\lambda} + \frac{1}{\alpha_H R} \right) dt_H \right],$$

де W_0 – потужність системи опалення, кВт; q_0 – питома тепла характеристика будівлі, кДж/(м³·год·К); V – об'єм приміщень будинку, м³; F – площа зовнішньої поверхні, м²; c – теплоємність матеріалу стін, кДж/(кг·К); ρ – густина матеріалу стін, кг/м³.

Якщо скористатися прийнятими в теорії автоматичного управління позначеннями, то рівняння запишеться наступним чином:

$$T_B \frac{dt_B}{d\tau} + t_B = kW_0 + T_H \frac{dt_H}{d\tau} + t_H, \\ T_B = \frac{c \rho F \delta}{q_0 V} \left(\frac{\delta}{2R\lambda} + \frac{1}{\alpha_H R} \right),$$

де T_H – постійна часу диференціювання для температури зовнішнього повітря, в даному випадку при виведенні рівняння вийшло, що $T_B = T_H$, $k = 1/q_0 V$ – коефіцієнт передачі по каналу «потужність системи опалення – температура внутрішнього повітря».

Потужність водяного опалювального приладу, як це добре відомо, може бути визначена за рівнянням:

$$W = K \cdot F \cdot \Delta \bar{t}$$

де K – коефіцієнт тепловіддачі опалювального приладу, Вт/м²; F – площа поверхні опалювального приладу, м²; $\Delta \bar{t}$ – середнє значення температурного напору, К.

При розрахунках систем опалення $\Delta \bar{t}$ використовують формулу [16,17]:

$$\Delta \bar{t} = \frac{1}{2} (t_{ax} + t_{bix}) - t_B,$$

тоді рівняння потужності еквівалентного опалювального приладу може бути представлена як:

$$W = \frac{KF(t_{ax} - t_B)}{1 + \frac{KF}{2cG_m}}$$

Після низки перетворень отримаємо структуру математичної моделі у вигляді:

$$T_B \frac{dt_B}{d\tau} + t_B = T_H \frac{dt_H}{d\tau} + t_H + k \frac{KF(t_{ax} - t_B)}{1 + \frac{KF}{2cG_m}},$$

У моделі еквівалентного опалювального приладу в неявному вигляді міститься припущення, що температура теплоносія розподіляється по лінійному закону вздовж поверхні теплообміну.

Експериментальні дослідження динаміки прогріву приміщень корпусу ТТЛ ОНПУ

Метою проведення експерименту по визначенню характеристик та динамічних властивостей процесу прогріву й охолодження будівлі корпусу ТТЛ була перевірка адекватності математичної моделі цих процесів, запропонованих в попередніх розділах.

Експеримент проводився шляхом імітації включення/вимикання системи опалення корпусу ТТЛ. Для чого використовувалися електричні тепловентилятори в необхідній кількості потужністю по 2 кВт. Вибір тепловентиляторів, як імітаторів опалювальних приладів, обумовлений можливістю точного нормування теплової потужності і теплової безінерційністю їх включення/відключення, що дозволило значно зменшити похибку відліку часу та нормування теплового навантаження.

Внаслідок обмеженої можливості проведення повномасштабного експерименту для всіх приміщень корпусу ТТЛ одночасно, випробування були проведені окремо в декількох типових приміщеннях: к. 15 (кутова аудиторія, 1-й поверх), к. 12 (кабінет, 1-й поверх), к. 22 (аудиторія в середині корпусу, 2-й поверх). Теплова потужність тепловентиляторів, в залежності від обсягу приміщення, варіювалася від 2 до 6 кВт. Вимірювання температури повітря t_B вироблялося рідинним термометром з точністю 0,1 °С з інтервалом часу 10 хв в перші півгодини випробувань і далі з поступовим збільшенням до декількох годин.

Динаміка охолодження приміщень фіксувалася аналогічно після відключення тепловентиляторів.

Зіставлення результатів експерименту і розрахунків з запропонованої математичної моделі показали значне їх розбіжність, особливо на початковому ділянці часу в 1 - 3 години (значна швидкість приросту температури в експерименті), що дозволило зробити висновок про наявність додаткових малоінерційних процесів нагрівання, що не враховуються в мат. моделях, запропонованих у різних літературних джерелах.

Було висунуто припущення про те, що процес прогріву будівлі на початковому етапі визначається швидким нагріванням повітря та встановленням теплового балансу між ним відносно холодними стінами при досягненні визначеної граничної різниці температур повітря і поверхні стіни. Одночасно відбувається поступовий прогрів стіни вглиб, проте цей процес у десятки разів інерційний. Таким чином, динаміка подальшого нагрівання повітря в приміщенні визначається динамікою прогріву стін при збереженні постійної різниці температур між стінами і повітрям.

Для підтвердження висунутої гіпотези було запропоновано апроксимувати експериментальні дані на основі математичного опису елементарних динамічних ланок, що використовуються в теорії автоматичного управління, а саме комбінацією інерційних ланок 1-го порядку, передатна функція яких має вигляд:

$$W(S) = k_{пер} / (1 + T \cdot S)$$

де $k_{пер}$ – коефіцієнт передачі об'єкта по каналу «потужність нагріву-зміна температури повітря», °С/кВт; T – постійна часу, год; S – оператор Лапласа.

Модель являє собою паралельне з'єднання двох інерційних ланок 1-го порядку W_1 і W_2 (малоінерційного і великої інерційності), рис. 2.

Передавальні функції ланок моделі відповідно мають вигляд:

$$\begin{aligned} W_1(S) &= k_1 / (1 + T_1 \cdot S), \\ W_2(S) &= k_2 / (1 + T_2 \cdot S) \end{aligned}$$

де k_1 , k_2 – відповідно коефіцієнти передачі об'єкта по каналу «потужність нагріву-зміна температури повітря» для мало- і високоінерційних ланок, °С/кВт; T_1 , T_2 – відповідно постійні часу ланок, год.

В результаті перетворення передатних функцій $W(s)$ отримаємо перехідні функції ланок $\Delta t_B(\tau)$ залежності зміни температури від часу τ :

$$\Delta t_{B1}(\tau) = P \cdot k_1 \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T_1}} \right)$$

$$\Delta t_{B2}(\tau) = P \cdot k_2 \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T_2}} \right)$$

де P – потужність нагрівача, кВт.

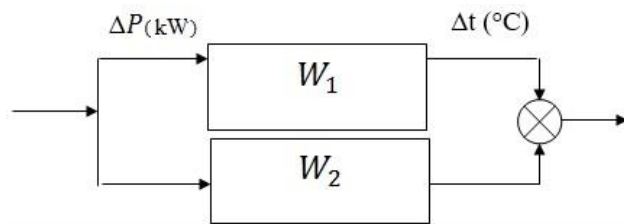


Рис. 2 Структура математичної моделі динаміки зміни температури повітря в приміщенні

Параметри моделі k_1, k_2, T_1, T_2 є змінними, оптимальні значення яких визначалися методом найменших квадратів з мінімальною величиною дисперсії експериментальних даних ($D \rightarrow \min$). Результати апроксимації експериментальних даних моделлю подано на рис. 3. Також було проведено дослідження впливу шляхів термомодернізації на динаміку нагріву приміщення – на прикладі ауд. 15, корпус ТТЛ ОНПУ (рис. 3).

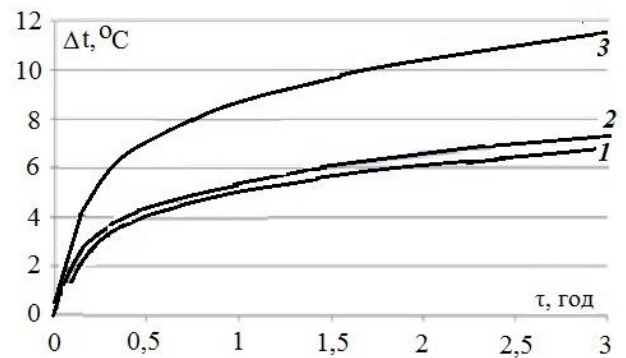


Рис. 3. Перехідні процеси нагріву будівлі 1 – до термомодернізації; 2 – гіпсова штукатурка (лівий дальній кут); 3 – після термомодернізації

Аналіз результатів дозволяє зробити висновок про адекватність математичної моделі та експерименту (рис.4).

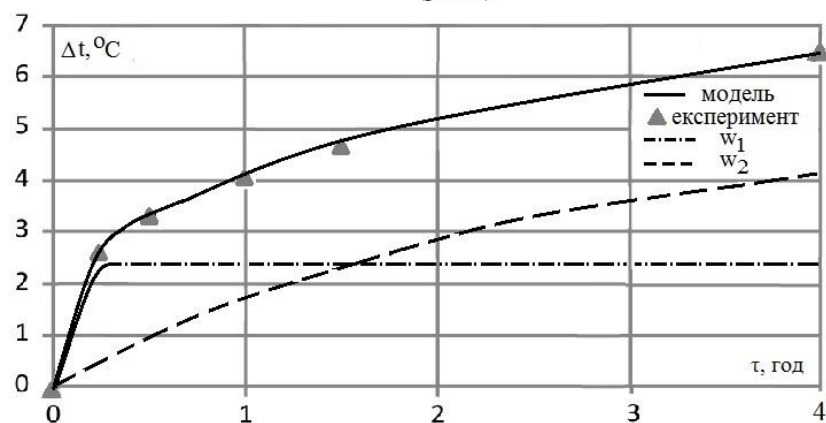


Рис. 4. Зіставлення результатів моделювання динаміки нагріву аудиторії 15 корпусу ТТЛ ОНПУ та експериментальних даних (теплова потужність опалення 6 кВт)

Як видно з (рис. 4.), експериментальні точки практично збігаються з моделлю $W=W_1+W_2$ для всіх досліджених об'єктів при різних збурюючих впливах P у всіх інтервалах часу. Це підтверджує справедливості припущення про поєднання мало- й високоінерційних процесів прогріву повітря в приміщенні. Значення коефіцієнтів k_1 і k_2 сумірні і лежать, відповідно, в межах $k_1 = 0,6 \dots 1,5$ °C/кВт; $k_2 = 1,5 \dots 3,5$ °C/кВт. Постійні часу відрізняються дуже істотно: $T_1 = 0,2 \dots 0,4$ год., $T_2 = 7 \dots 15$ год.

На ефективність переривчастого теплопостачання суттєво впливає тип опалювальної системи. Чим більше інерційність опалювального приладу, тим раніше потрібно починати режим надтопу, що зменшує загальну ефективність режиму переривчастого теплопостачання. Для вивчення цього питання було проведено низку експериментів спрямованих на дослідження динаміки нагріву приміщень різними опалювальними приладами (рис. 5, 6).

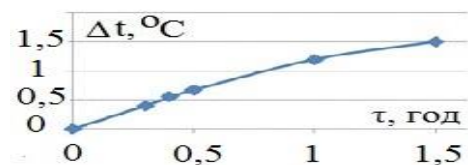


Рис. 5 – Нагрів аудиторії 15 з використанням водяного опалення

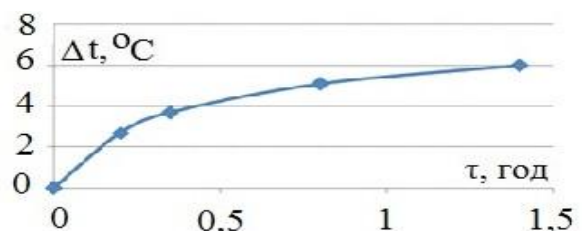


Рис. 6 – Нагрів аудиторії з використанням фенкойлу

Як видно із графіків (рис. 5, 6) застосування фенкойли дозволяє суттєво скоротити режим надтопу (майже в чотири рази).

Отримані результати моделювання планується використовувати для реалізації концепції «переривчастого опалення» корпусу ТТЛ на базі обладнання фірми Gree і додаткового обладнання для покриття пікових навантажень (номінальна теплова потужність в залежності від зовнішньої температури змінюється від $Q=6$ до $Q=18$ кВт), які здійснюють натоп приміщення з 600 -800 та підтримує температуру в приміщенні $t=20$ °C в робочі години (800 – 1500). Попередні розрахунки показали енергетичну ефективність запропонованої системи: економія тепла порівняно з цілодобовим опалюванням, в залежності від температури зовнішнього повітря $t_{\text{нар}}$, складає 8-15 %, а коефіцієнт заміщення альтернативним джерелом (тепло навколишнього середовища) в балансі енергоспоживання складе 15-35%.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

– Аналіз результатів дозволяє зробити висновок про адекватність математичної моделі являє собою паралельне з'єднання двох інерційних анок 1-го порядку W_1 і W_2 (малоінерційного і великої

інерційності) та експерименту. Як видно з рис. 5.29, експериментальні точки практично збігаються з моделлю $W=W_1+W_2$ для всіх досліджених об'єктів при різних збурюючих впливах P і u всіх інтервалах часу. Це підтверджує правильність припущення про поєднанні мало - та високоінерційних процесів прогріву повітря в приміщенні.

– Застосування зовнішньої теплової ізоляції дозволяє зменшити теплові втрати приміщень. Використання в якості екрану внутрішніх масивних стін теплової ізоляції дозволяє зменшити режим надтопу та підвищити ефективність застосування переривчастого режиму опалення.

–Аналіз експериментальних даних показав ефективність використання низько інерційних систем опалення з використанням місцевих доводчиків – фенкойлів. Застосування систем високо-інерційних (тепла підлога) використовуватись в добовому режимі переривчастого теплопостачання не раціонально. Такі системи можливо застосовувати в тижневому режимі переривчастого теплопостачання.

Список литературы:

1. Абилюдинова С.К. О теплонасосных технологиях в централизованных системах теплоснабжения // Становление современной науки: сборник материалов VIII международной научно-практической конференции. – Чехия, 2012. – Раздел 18. – с.41-45.
2. Баласанян Г.А., Миняйло М.Б., Климчук А. А. Моделирование режима прерывистого отопления комбинированной системы теплоснабжения с тепловым насосом // Сб. н. тр. Вестник Национального технического университета «ХПИ». Энергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. Х. – Вип. 17. 2015. – с. 97–102.
3. Мазуренко А.С., Климчук О.А. Розробка пілотного проекту комбінованої системи теплопостачання навчального корпусу ОНПУ з використанням відновлювальних джерел енергії та теплового акумулювання // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. № 6. – К, 2013. – с. 65–67.
4. Орлов М.Е., Ротов П.В., Чаукин П.Е., Мордовин В.А. Об использовании теплонасосных установок в открытых системах теплоснабжения // Теплоэнергетические системы и установки: сб. н. трудов научно-исследовательской лаборатории. – Ульяновск: УЛГТУ: «Теплоэнергетика и теплоснабжение», 2010. – Вып. 7. – с.28-34.
5. Renewable energy in Europe 2016. Recent growth and knock-on effects// European Environment Agency, Report, N 4. 2016. – p.73.
6. Chwieduk, D. (2012). Solar assisted heat pumps in comprehensive renewable energy. Comprehensive renewable energy, 3, 495–528.
7. D. Reay, D. Macmichael. Heat pumps. – Pergamijn Press, 1998. – 337 p.
8. Денисова А.Е. Низкопотенциальные гелиосистемы теплоснабжения для условий Украины // Сборник научных трудов «Строительные, конструкции, строительные материалы, инженерные системы, экологические проблемы» ОГАСА. 1998. – с.114–116.
9. Denysova A.E., Mazurenko A.S., Denysova A.S. Efficiency of multi-module solar collectors as the prefix to the boiler // J.I of the Academy of Sciences of Moldova “Problemele energeticii regionale. S. Termoenergetică”. 2014. – 3(26). – P.53–59.
10. Chwieduk D. A series solar assisted heat pump system for family house heating system // Proceeding of 1st World Renewable Energy Congress. Pergamon Press: 1990. – Vol. 2.

11. Denysova A.E., Mazurenko A.S., Denysova A.S. Thermal Efficiency of Power Module “Boiler with Solar Collectors as Additional Heat Source” For Combined Heat Supply System // J. of the Academy Sciences of Moldova “Problemele energeticii regionale. S. Termoenergetică”. 2015. – 1(27). P.44–50.

12. Закон Украины про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки: № 2623-III від 11.07.2001 р. // Закони України. – Київ, 2001.

13. Закон України про енергозбереження: №74/94 від 1.07.1994 р.// Закони України. К, 1997. – Т.7. – С. 281 – 291.

14. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети //учебник для вузов. 6-е изд., перераб. М.: Изд-во МЭИ, 1999. – 472 с.

15. Табуничиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК – ПРЕСС, 2002. – 194 с.

16. Панферов В.И., Анисимова Е.Ю. Анализ возможности экономии тепловой энергии при прерывистом режиме отопления // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2008. – Вып 6. – №12. – С. 30–37.

Bibliography (transliterated):

1. Abildinova S.K. O teplonasosnykh tekhnologiyach v centralizovanykh sistemakh teplosnabgenija // Stanovlenie sovremennoy nauki: sbornik materialov VII megdunarodnoy konferencii. Chekhia, 2012. – Razdel 18. – p.41-45.
2. Balasanian G.A., Miniajlo M.B., Klimchuk A.A. Modelirovanie regima preryvistogo otopleniya kombinirovannoy sistemy teplosnabgenia s teplovym nasosom // Sbornik nauchnykh trudov “Visnik NTU – Khpi. –Enegetychni ta tyeplotekhnichni procesy I uststkuvania” – Kharkiv. NTU «Khpi». 2015. Vol. 17. – p.97–102.
3. Mazurenko A.S., Klimchuk O.A. Rozrobka pilotnogo projektu kombinirovannoy systemy teplopstachania navchalnogo korpusu ONPU s vykorystaniem vidnovluvalnykh dgerel energii ta teplovogo akkumuluvania. // Visnik Kyivskogo nacionalnogo universitetu tekhnologij i dyzajnu. Kyiv. 2013. – N.6. – p. 65–67.
4. Orlov M.E., Rotov P.V., Chaukin P.E., Mordovin V.A. Ob ispolzovanii teplonasosnykh ustanovok v otkrytykh sistemakh teplosnabgenia // Teploenergeticheskie sistemy i ustanovki: Sbornik nauchnykh trudov naučno-issledovatel'skoy laboratorii. – Ulianovsk: ULGTU: “Teploenergetika i teplosnabgenie”, 2010. – Vol. 7. – p. 28-34.

5. Renewable energy in Europe 2016. Recent growth and knock-on effects // European Environment Agency, Report, N 4. 2016. – p.73.
6. Chwieduk, D. (2012). Solar assisted heat pumps in comprehensive renewable energy. Comprehensive renewable energy, 3, 495–528.
7. D. Reay, D. Macmichael. Heat pumps. – Pergamijn Press, 1998. – 337 p.
8. Denysova A.E. Nizkopotencialnye sistemy teplosnabgenia dlia uslovij Ukrainu // Sb. n. trudov “Stroitelnye konstrukcii, stroitelnye materialy ingenernye sistemy, ekologicheskie problemy” OGASA. Odessa. 1998. – p.114–116.
9. Denysova A.E., Mazurenko A.S., Denysova A.S. Efficiency of multi-module solar collectors as the prefix to the boiler // J. of the Academy Sciences of Moldova “Problemele energeticii regionale. Seria Termoenergetică”. 2014. – 3(26).– P.53–59.
10. Chwieduk D.A. series solar assisted heat pump system for family house heating system // Proceeding of 1st World Renewable Energy Congress. Pergamon Press: 1990. – Vol. 2.
11. Denysova A.E., Mazurenko A.S., Denysova A.S. Thermal Efficiency of Power Module “Boiler with Solar Collectors as Additional Heat Source” For Combined Heat Supply System // Journal of the Academy of Sciences of Moldova “Problemele energeticii regionale. Seria Termoenergetică”. – 2015.– 1 (27) 2015. P.44 – 50.
12. Zakon Ukrainy pro prioritetni napriamki rozvytku nauki i tekhniki № 2623-III - 11.07.2001 p. // Zakony Ukrainy. – Kyiv, 2001.
13. Zakon Ukrainy pro energozberegenia: №74/94 - 1.07.1994 p. // Zakony Ukrainy. – Kyiv, 1997. – Vol.7. – p. 281 – 291.
14. Sokolov E.Y. Teplofikacia i teplovyje seti //Uchebnik dla vuzov. - 6 edd., pererabotannoe. – M.: MEI, 1999. – 472 p.
15. Tabunschikov U.A., Brodach M.M. Matematicheskoe modelirovanie i optimizacia – M.:AVOK PRESS, 2002. – 194 p.
16. Panferov B.I., Anisimova E.U. Analiz vozmognosti ekonomii teplovoj energii pri preryvistom regime otopenia // Vestnik UUGU. Seria «Stroitelstvo i arkhitektura». 2008. – Vol 6. – N12. – p. 30–37.

Поступила (received) 22.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Комплексний підхід до впровадження переривчастого теплопостачання в будівлях громадського призначення / О.А.Климчук, А.Є.Денисова, Г.А.Баласанян // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. № 41(1263). – С. 52–57. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2220-4784.

Комплексный подход к внедрению прерывистого отопления в зданиях общественного назначения/ А.А.Климчук, А.Е.Денисова, Г.А.Баласанян // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. № 41(1263). – С. 52–57. – Библиогр.: 16 назв. – ISSN 2220-4784.

An integrated approach to implementation of discontinuous heating in public buildings // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 41(1263). – p. 52–57. Bibliog.:16 titles. – ISSN 2220-4784.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Климчук Олександр Андрійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, Одеський національний політехнічний університет, тел.: +380681929012;

e-mail: ak@ctk.center

Klymchuk Aleksandr – Ph.D, Docent The department of Thermal Powel Plants and energy saving technologies, Odessa National Polytechnic University, Contact tel.: 380681929019; e-mail: ak@ctk.center

Климчук Александр Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций и энергосберегающих технологий, Одесский национальный политехнический университет, тел.: +380681929012; e-mail: ak@ctk.center

Денисова Алла Євсїївна – доктор технічних наук, професор кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, Одеський національний політехнічний університет, тел.: +380937034825; e-mail: alladenysova@gmail.com

Denysova Alla Evsiiivna – Doctor of technical sciences, Professor the department of Thermal Powel Plants and energy saving technologies, Odessa National Polytechnic University Contact tel.: +380937034825; e-mail: alladenysova@gmail.com

Денисова Алла Евсеевна – доктор технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций и энергосберегающих технологий, Одесский национальный политехнический университет, тел.: +380937034825; e-mail: alladenysova@gmail.com

Баласанян Геннадій Альбертович – доктор технічних наук, професор кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, Одеський національний політехнічний університет, тел.: +380677650906; e-mail: balasanyan@opu.ua

Balasanian Gennadiy – Doctor of technical sciences, Professor the department of Thermal Powel Plants and energy saving technologies, Odessa National Polytechnic University Contact tel.: +380677650906; e-mail: balasanyan@opu.ua

Баласанян Геннадий Альбертович – доктор технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций и энергосберегающих технологий, Одесский национальный политехнический университет, тел.: +380677650906; e-mail: balasanyan@opu.ua

УДК 378.17:665.347

О. В. БІЛОУС, С. І. БУХКАЛО**ДЕЯКІ ПИТАННЯ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ БІОХІМІЯ ХАРЧУВАННЯ ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ФІЗИЧНА КУЛЬТУРА І СПОРТ»**

В статті наведені деякі аспекти раціонального харчування, що є вагомими при підготовці спортсменів високої кваліфікації. Розглянуто вплив інтенсивних тренувань на процеси, що впливають на функціональні можливості клітинних мембран. Проаналізовано фактори, що є основними у впливі на ліпіди біологічних мембран: перекисне окиснення ліпідів; жирнокислотний склад ліпідів; характер конфігурації ненасичених жирних кислот, що входять до складу ліпідів біологічних мембран. Досліджено вплив екзогенних антиоксидантів на стабільність ліпідів до процесів окиснення. Надано практичні рекомендації щодо раціоналізації харчування спортсменів для збереження та формування здорових клітинних мембран під час інтенсивних тренувань та змагань.

Ключові слова: харчування спортсменів, клітинні мембрани, ліпіди клітинних мембран, вільнорадикальне окиснення, жирнокислотний склад, конфігурація жирних кислот, антиоксиданти, раціональне харчування.

В статье приведены некоторые аспекты рационального питания, которые являются существенными при подготовке спортсменов высокой квалификации. Рассмотрено влияние интенсивных тренировок на процессы, которые влияют на функциональные возможности клеточных мембран. Проанализированы факторы, которые являются основными в своем влиянии на липиды биологических мембран: перекисное окисление липидов; жирнокислотный состав липидов; характер конфигурации ненасыщенных жирных кислот, которые входят в состав липидов биологических мембран. Исследовано влияние экзогенных антиоксидантов на стабильность липидов к процессам окисления. Даны практические рекомендации по рационализации питания спортсменов для сохранения и формирования здоровых клеточных мембран во время интенсивных тренировок и соревнований.

Ключевые слова: питание спортсменов, клеточные мембраны, липиды клеточных мембран, свободнорадикальное окисление, жирнокислотный состав, конфигурация жирных кислот, антиоксиданты, рациональное питание.

The article presents some aspects of nutrition that are significant in preparing highly qualified athletes. The influences of intense training on the processes that affect the functionality of the cell membranes are considered. Factors that are major effects on lipids in biological membranes are analyzed: lipid peroxidation; fatty acid composition of lipids; character of configuration of unsaturated fatty acids comprising in the lipids of biological membranes. The influence of exogenous antioxidants on stability to lipid oxidation processes is investigated. The practical recommendations on the rationalization of food of athletes for the preservation and formation of healthy cell membranes during intense training and competition are given.

Keywords: nutrition of athletes, cell membranes, lipids of cell membranes, free radical oxidation, fatty acid composition, antioxidants, nutrition.

Вступ. Дослідження з викладання дисципліни Біохімія харчування проведене для студентів спеціальності «Фізична культура і спорт», які навчаються за спеціалізаціями «Фізична культура і спорт», «Психологія фізичної активності і спорту», «Менеджмент спортивно-оздоровчої діяльності». Метою дослідження прикладів та задач з дисципліни є науково-обґрунтований вибір способів та методів раціоналізації харчування спортсменів на шляху до високого результату. Загалом мета навчальної дисципліни – формування у студентів розуміння біохімічних основ харчування різних верст населення, у тому числі – професійних спортсменів.

Завданням дисципліни є формування у студентів правильного розуміння ролі харчування для організму людини, що дозволить майбутнім фахівцям брати участь в організації та вдосконаленні технологічних процесів продовольчих продуктів, в розробці нових технологій в системі біохімії харчування – харчування як фактор здоров'я; зв'язок харчування з діяльністю функціональних систем організму; особливості будови травної системи людини; фізіологічні процеси при травленні; фізіологічна роль білків, жирів, вуглеводів, мінеральних речовин, вітамінів; енергетичний обмін організму; види енерговитрат; токсичні і захисні компоненти їжі; харчова цінність продуктів тваринного і рослинного походження; сучасні

наукові та альтернативні теорії харчування; диференційоване харчування різних груп населення в групах підготовки; основні принципи дієтичного харчування; харчування при різних фізичних навантаженнях; лікувально-профілактичне харчування і його основні характеристики спортсменів високої кваліфікації і т.п.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Загальні питання для прикладів та задач розглядаємо у зв'язку з наявністю статичної, динамічної і функціональної біохімії. Особливості біохімічних процесів, зокрема, для медичної та спортивної біохімії вивчає функціональна біохімія при різних функціональних станах організму. Біохімія спорту досліджує закономірності біохімічних перетворень в організмі людини в процесі занять фізичними вправами. Біохімія спорту як наукова дисципліна є складовою частиною комплексу спортивних наук. Вона безпосередньо пов'язана з теорією і методикою спорту, біологією і м'язовою активністю людини, фізіологією та гігієною спорту, спортивною медициною, спортивною морфологією та біомеханікою фізичних вправ.

© О. В. Білоус, С. І. Бухкало

Значний вклад у розвиток і становлення біохімії спорту як наукової дисципліни внесли такі видатні вчені, як А. Хілл, Е. Симсон, Г. Ембден, В.В. Палладін, М.М. Яковлев [1] та ін. Проблеми біохімії спорту активно розглядаються в багатьох науково-дослідних установах та вищих навчальних закладах.

Починаючи з 80-х років минулого століття, відбуваються залучення біологічної інформації для обґрунтування емпіричних закономірностей побудови спортивного тренування, наприклад, Л.П. Матвеев і Ф.З. Меерсон спробували залучити закономірності функціонування абстрактної клітини і розвитку в ній структурно-функціонального сліду (адаптації) для інтерпретації принципів спортивного тренування, проте і самі автори визнали, що такий підхід не міг дати істотного зрушення в розумінні емпіричних принципів побудови спортивного тренування [2–4]. Обумовлено це тим, що пряме перенесення закономірностей клітинного рівня для пояснення поведінки людини як цілого призводить до некоректних узагальнень – важливим є дослідження впливу фізичних навантажень та харчування на клітинні мембрани організму людини, їх зв'язок з особливостями й закономірностями загальної технології харчових виробництв [5–8].

Фізіологічна роль білків, вуглеводів, ліпідів, вітамінів і мінеральних речовин, розглядається з точки зору харчової та біологічної цінності для життєдіяльності організму з урахуванням рекомендованих норм в добовому раціоні. Значення мінеральних речовин та вітамінів в організмі пов'язано з потребами організму в них, з мінеральним і водним балансами.

Сучасні уявлення про потреби організму спортсменів в різних вітамінах пов'язані з вибором шляхів забезпечення харчових раціонів вітамінами, а також вітамінізації готової їжі та продуктів споживання.

Енергетичний обмін організму нерозривно пов'язаний з видами енерговитрат, метаболізмом і його складовими; енергетичним балансом організму, методами визначення енерговитрат і енергетичною цінністю харчових продуктів.

Визначення токсичних і захисних компонентів їжі пов'язане з безпекою їжі, а харчова цінність продуктів тваринного і рослинного походження безпосередньо пов'язана з урахуванням змін харчової цінності при технологічній обробці, зокрема, що містять жири.

Викладання основного матеріалу досліджень. У зв'язку з виключно високими тренувальними і змагальними навантаженнями спортсмени втрачають величезну кількість енергії, запаси якої необхідно швидко поповнювати. Однак проблеми харчування не зводяться тільки до поповнення енергії, витраченої під час тренувань або змагань. Раціональне харчування повинно забезпечувати всі пластичні процеси, регенерацію пошкоджених при тренуванні спортивної діяльності структур організму, відшкодування витрачених вітамінів, мінеральних речовин, води, регуляторів енергетичного та інших

видів обміну речовин, рівень зміни яких залежить від специфіки виду спорту, спрямованості тренувального процесу та ін.

Сучасні наукові та альтернативні теорії харчування спортсменів високої кваліфікації – це, перш за все, принципи збалансованого та раціонального харчування з визначенням фізіологічних норм харчування та рівні споживання харчових і біологічно активних речовин. Особливості харчування спортсменів пов'язані з визначенням харчування для них в екстремальних умовах. Це також теорія адекватного харчування і концепції оптимального, функціонального, спрямованого і індивідуального харчування з можливістю застосування нетрадиційних видів харчування.

Для розширеного вивчення поставлених питань необхідно розглянути будову і властивості основних класів органічних сполук організму, з урахуванням метаболічних процесів організму людини і біохімічними характеристиками крові і сечі. Ці питання належать до основних питань загальної біохімії, наприклад, біологічна роль та будова білків; ферментативний каталіз і загальна характеристика обміну речовин; біологічне окислення; будова і обмін: ліпідів, білків, вуглеводів, нуклеїнових кислот з урахуванням водно-мінерального обміну та обміну вітамінів і гормонів.

Особливості спортивної біохімії визначаються знаннями наступних питань: будова і хімічний склад м'язів, молекулярний механізм м'язового скорочення і розслаблення; біоенергетика м'язової діяльності і біохімічні зрушення в організмі при м'язовій роботі; молекулярні механізми стомлення і біохімічні закономірності відновлення після м'язової роботи з урахуванням біохімічних закономірностей адаптації до м'язової роботи.

Біохімічні основи спортивної працездатності нерозривно пов'язані з біохімічними основами харчування, його особливостями і біохімічним контролем в спорті [8–12].

Особливі потреби в харчуванні спортсменів зв'язані з наступними положеннями:

1) Високі витрати енергії – при занятті спортом енерговитрати складають від 4000 до 7000 ккал на добу – інтенсивність енерговитрат у спортсменів значно вище у порівнянні з нормативами для людей важкого фізичного труд [1], при цьому, наприклад, жири та білки окислюються лише аеробно (рис. 2) і при виконанні інтенсивних навантажень використовуються обмежено.

2) При виконанні спортивних навантажень посилюється розпад білків, головним чином м'язових. Особливо швидко розщеплюються білки при виконанні вправ силового характеру, що робить необхідним використання раціону з підвищеним вмістом різноманітних білків.

3) Інтенсифікація метаболізму в організмі спортсмена підвищує потребу в ферментах, до складу яких входять вітаміни й мінеральні речовини. В результаті споживання вітамінів та мінеральних речовин спортсменами значно підвищується.

4) При виконанні інтенсивних фізичних навантажень відбувається інтенсифікація процесів вільно радикального окиснення. Тому доцільно використовувати рослинні антиоксиданти в харчуванні [7].

5) Особливістю спортивного харчування є застосування біологічно активних харчових добавок

або спеціалізованих продуктів харчування, що виготовлені з високоякісної допоміжної натуральної сировини. В відмінності від звичайних харчових продуктів вони містять у високих концентраціях найбільш повні та легко засвоювані компоненти їжі, що дозволяє їх використовувати в менших обсягах у порівнянні з натуральними продуктами.



Рис. 1 – Загальна схема різновидів досліджень

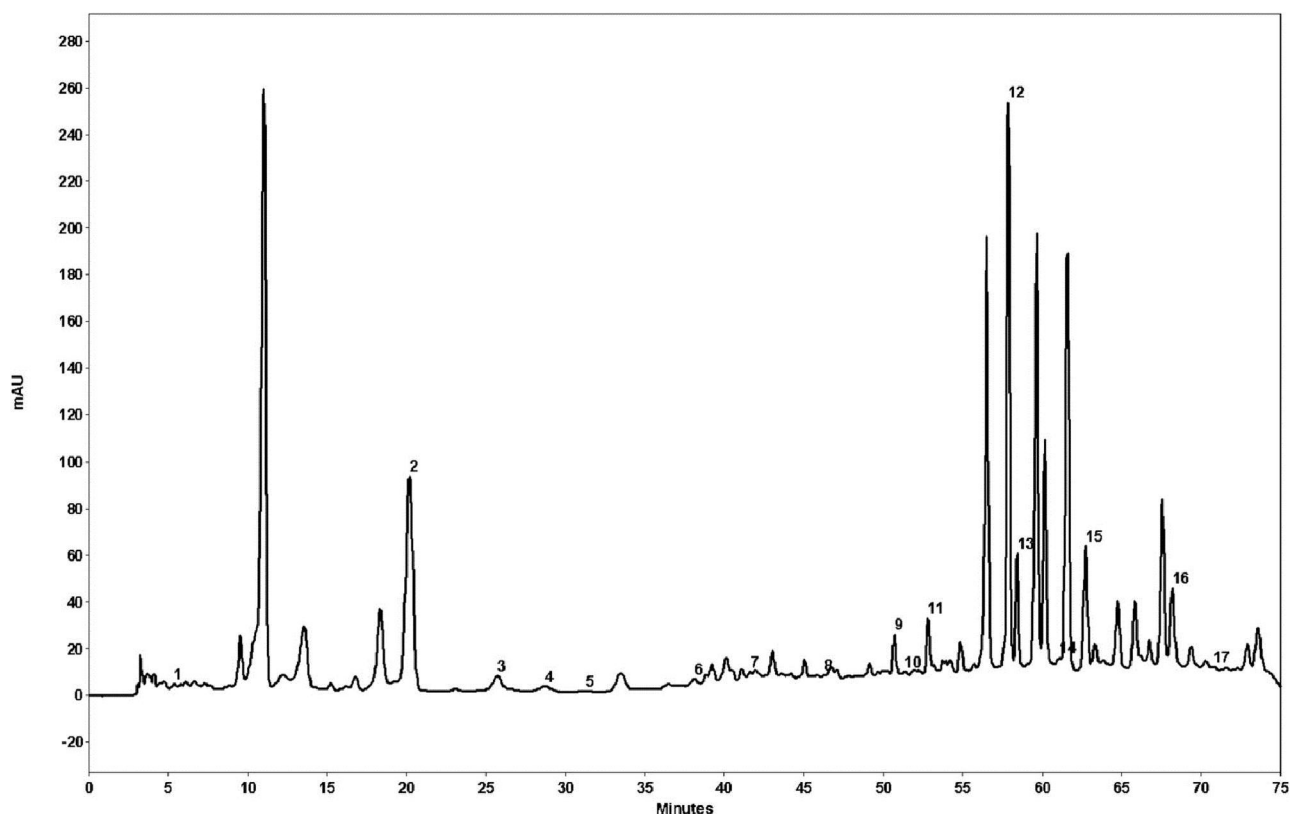
Приклади і задачі для навчання студентів при виконанні самостійної роботи зв'язані пошуком та обґрунтуванням за загальною схемою досліджень (рис. 1).

Дослідження деяких об'єктів прикладів завдання з вибору рослинних антиоксидантів треба проводити за схемою вибору методик визначення властивостей складових процесів окиснення, їх параметрів та обробки експериментальних даних методами математичного моделювання:

- жирнокислотний склад рослинних олій можна визначати методом газорідинної хроматографії (рис. 2): 1 – галлова кислота; 2 – катехиновий гідрат; 3 – ванілінова кислота; 4 – хлорогенова кислота; 5 – кавова кислота; 6 – бузкова кислота; 7 – епікатехин; 8 – п-кумарова кислота; 9 – ферулова кислота; 10 – сінапова кислота; 11 – саліцилова кислота; 12 – рутин; 13 – еллагова

кислота; 14 – мирицетин; 15 – юглон; 16 – транс-корична кислота; 17 – кверцетин);

- вміст інгібіторів можна визначати волюметричним способом;
- періоди індукції можна визначати за вимірюваннями на приладі Окситест;
- фізико-хімічні та органолептичні показники якості рослинних олій визначають за діючою в олійно-жировій галузі нормативною документацією;
- параметри екстрагування інгібіторів окиснення з листя горіху волоського та квітів календули визначено за стандартними методиками з урахуванням особливостей сировини;
- для планування експериментів і обробки експериментальних даних, а також апроксимаційного моделювання, застосовано різновиди математичних методів.

Рис. 2. Хроматограма екстракту листя горіху волоського при $\lambda = 278$ нм

Таблиця 1. Вміст фенольних сполук у зразках листя горіху волоського

Сполуки	Вміст фенольних сполук у зразках листя горіху волоського (мг/100 г чистої речовини)
Ванілінова кислота	$0.10 \pm 0.004^*$
Рутин	$150.24 \pm 4.59^*$
Еллагова кислота	$130.00 \pm 3.33^*$
Мирицетин	$81.02 \pm 1.14^*$
Юглон	$80.62 \pm 3.19^*$
Кверцетин	$2.27 \pm 0.02^*$
Галлова кислота	$0.32 \pm 0.03^*$
Катехін	$457.11 \pm 6.67^*$
Бузкова кислота	$1.42 \pm 0.02^*$
Епікатехин	$20.41 \pm 0.27^*$
Транс-корична кислота	$11.75 \pm 0.33^*$
Хлорогенова кислота	$6.96 \pm 0.30^*$
Кавова кислота	$1.28 \pm 0.06^*$
п-Кумарова кислота	$0.27 \pm 0.01^*$
Ферулова кислота	$0.69 \pm 0.02^*$
Сінапінова кислота	$1.30 \pm 0.04^*$
Саліцилова кислота	$1.38 \pm 0.02^*$

* Означає максимальне та мінімальне відхилення в залежності від сорту.

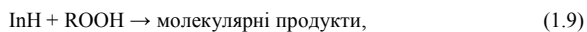
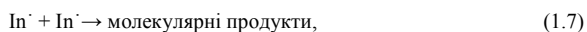
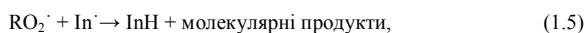
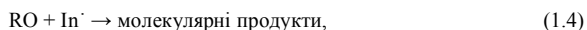
Наша робота також спрямована на вибір науково-обґрунтованих безпечних методів переробки харчової сировини різного походження й підвищення строку експлуатації продукції, отриманої з неї.

Актуальність теми підтверджується сталою тенденцією до використання речовин біологічного походження (передусім рослинного) для гальмування окиснення жирів. Це викликає зацікавленість

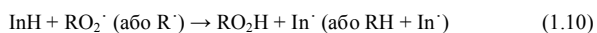
багатьох науковців у дослідженні та використанні рослинної сировини в якості інгібіторів окиснення жирів. Наприклад, незважаючи на досить значну кількість наукових робіт, присвячених дослідженням корисних властивостей листя горіху волоського, антиоксидантні властивості по відношенню до незамінних ненасичених жирних кислот екстракту з цієї сировини, та взаємодія між цим екстрактом та токоферолами і екстрактом квітів календули, мало досліджувана.

За аналізом літературних джерел, наших наукових робіт та отриманих експериментальних даних з вищезазначеної теми можна відзначити, що кисень повітря добре розчиняється у жирах.

Розчинений у жирах кисень особливо активно ініціює окиснювальні процеси. Значний ефект дає застосування інгібіторів окиснення, а також їх сумішей у різних співвідношеннях. Проява їх дії полягає в збільшенні індукційного періоду і зниженні швидкості окиснення. Інгібітори окиснення набули в теперішній час великого значення. Їх застосування дозволяє підвищити окиснювальну стабільність олій та жирів, а також продуктів, у складі яких є жирові компоненти. Загальна схема реакцій ланцюгової окиснення, при наявності інгібіторів у системі що окислюється, має вигляд:



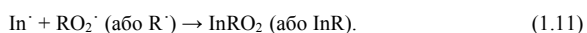
Згідно до теорії вільнорадикального механізму вплив інгібіторів окиснення пов'язаний із виникненням менш активного радикалу, що не вступає в реакцію із молекулою первинної окиснювальної речовини та зникає в результаті рекомбінації не відновлюючи активний центр ланцюга:



де $\text{In}^{\cdot}$ – неактивний радикал.

Радикал антиокиснення $\text{In}^{\cdot}$, нездатний до продовження ланцюгової реакції, гине, утворюючи стабільні продукти двома шляхами:

- а) димеризацією – $\text{In} + \text{In} \rightarrow \text{In-In}$;
- б) взаємодією із другим радикалом ланцюга –



Іноді механізм дії антиоксиданту виражають наступними реакціями:



Ефективність інгібітору обумовлюється швидкістю взаємодії його з радикалом ланцюга, стійкістю антиоксиданту до безпосередньої дії кисню та швидкістю реакції радикала антиоксиданту $\text{In}^{\cdot}$ із початковою окиснювальною речовиною. Сильну гальмуючу дію антиоксидант має в тому випадку, коли активність радикалу антиоксиданту значно нижча за активність радикалу $\text{RO}_2^{\cdot}$, що веде ланцюг окиснення. Таким чином, йде заміна активних радикалів $\text{RO}_2^{\cdot}$ на малоактивний радикал $\text{In}^{\cdot}$ [6].

В прикладах роботи студентів та викладачів розглянуті питання дослідження біохімічних та хіміко-технологічних задач. Такий досвід необхідний Україні на стадії навчання студентів у вищих навчальних закладах (ВНЗ). Випускники ВНЗ, як бакалаври так і магістри, потрапляючи на роботу за обраною спеціальністю «Фізична культура і спорт», які навчаються за спеціалізаціями «Фізична культура і спорт», «Психологія фізичної активності і спорту», «Менеджмент спортивно-оздоровчої діяльності» будуть мати необхідні знання зі складових дисципліни Біохімія харчування. Студенти після закінчення ВНЗ переходять у якості фахівців та будуть також ознайомлені з сучасними національними програмами України та країн ЄС.

Проблему навчання студента практичним навичкам діяльності у вищому навчальному закладі, навіть за допомогою найбільш сучасних методичних прийомів, розв'язати дуже складно. Створення умов у навчанні студентів для придбання ними необхідних компетенцій, протягом життя буде сприяти конкурентоспроможності випускників вищих навчальних закладів на ринку праці, ключові компетенції можуть сприяти їхній участі в розвитку демократичних принципів суспільства.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Таким чином, можна зробити висновок, що необхідним є подальше вивчення прикладів та задач інноваційного науково-обґрунтованого досвіду викладання дисципліни Біохімія харчування з метою розширення компетентностей майбутніх спеціалістів.

У прикладах надано модель дослідження антиоксидантів із рослинної сировини у їх впливі на стабільність ненасичених жирних кислот. Такі ненасичені жирні кислоти входять і до складу клітинних мембран, що атакуються вільними радикалами при великих спортивних навантаженнях.

Актуальність теми підтверджується сталою тенденцією до використання речовин біологічного походження (передусім рослинного) для стабілізації жирів.

У результаті подовження роботи [6–10] за вищевказаними напрямками, досягнуті наступні результати:

1) основна мета представленої розробки – доповнення нових навчальних технологій з організації, виконання та упровадження вивчення прикладів та задач інноваційного науково-обґрунтованого досвіду

викладання дисципліни Біохімія харчування для забезпечення активізації роботи студентів;

2) за результатами комплексного інноваційного викладання дисципліни Біохімія харчування з метою розповсюдження інформації про інноваційні методи навчання – у 2017–2018 навчальному році видано дві статті сумісно зі студентами.

3) авторами статті прийнято рішення про подовження цього етапу розробки з метою розвинення актуальної теми за стандартами України та ЄС.

Список литературы

1. Яковлев Н.Н. Биохимия спорта. – М.: Физкультура и спорт, 1974. – 288 с.
2. Теория и практика применения дидактики развивающего обучения в подготовке специалистов по физическому воспитанию. Тр. учен. проблемной н. - и. лаб. / РГАФК; Науч. рук. Селуянов В.Н. – М.: ФОН, 1996. – 106 с.
3. Давыдов В.В., Божсков А.И. Основы биохимии. – Х.: Федорко. 2013. – 400 с.
4. Михайлов С.С. Спортивная биохимия. – М.: Советский спорт. 2004. – 220 с.
5. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О. та ін.. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах та задачах. Підручник з грифом МОНУ: – Київ: Центр учбової літератури, 2011. – 832 с.
6. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Денисова А.Є., Демидов І.М., Капустенко П.О., Арсеньєва О.П., Білоус О.В., Ольховська О.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах: інноваційні заходи. (підручник з грифом МОН України, 2-ге видання, перероблене), Київ: Центр учбової літератури, 2016. – 470 с.
7. Білоус О.В. Деякі аспекти раціонального харчування при підготовці спортсменів високої кваліфікації // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ». 2016. – № 19(1191). – С. 96–100.
8. Білоус О.В., Демидов І. М., Бухкало С. І. Розробка комплексного антиоксиданту із екстрактів листя горіху волоського та календули / Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2015. – № 1/6(73). – С. 22–26.
9. Білоус О. В. Технологія стабілізації рослинних олій комплексним антиоксидантом: дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук: 02.07.15 / Білоус Олеся Валеріївна. – Харків, 2015 – 206 с.
10. Белоус О.В., Бухкало С.И., Демидов И.Н. Некоторые аспекты технологии производства растительных антиоксидантов. Повышение эффективности процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности [Текст]: сб. н. трудов Межд. научно-технической конференции, посвященной 105-летию со дня рождения А. Н.

Плановского (8-9 сентября 2016 года). Т. 2. М.: ФГБОУ ВО МГУДТ, 2016. – с.153–156..

11. Бухкало С.І. Білоус О.В., Демидов І. М. Деякі складові дослідження комплексного антиоксиданту // Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентноздатності; Матеріали У Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції. 14 вересня 2016 р., м. Київ. – К. НУХТ, 2016. – с. 160–164.
12. Buhkalo S.I., Bilous O.V., Demidov I.M. Some opportunities of developments oil stabilization technology against oxidative spoilage // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 18(1240). – p. 24–28.

Bibliography (transliterated)

1. Yakovlev N.N. Biohimija sporta. – M.: Fizkul'tura i sport, 1974. – 288 p.
2. Teorija i praktika primenenija didaktiki razvivajushhego obuchenija v podgotovke specialistov po fizicheskomu vospitaniju. Tr. uchen. problemnoj n. - i. lab. / RGAFK; Nauch. ruk. Selujanov V.N. – M.: FON, 1996. – 106 p.
3. Davydov V.V., Bozhkov A.I. Osnovy biohimii. – H.: Fedorko. 2013. – 400 p.
4. Mihajlov S.S. Sportivnaja biohimija. – M.: Sovetskij sport. 2004. – 220 p.
5. Tovazhnjans'kij L.L., Buhkalo S.I., Kapustenko P.O. ta in.. Zagal'na tehnologija harchovoi promislovosti u prikladah ta zadachah. Pidruchnik z grifom MONU: – Kiïv: Centr uchbovoi literaturi, 2011. – 832 p.
6. Tovazhnjans'kij L.L., Buhkalo S.I., Denisova A.Є., Demidov I.M., Kapustenko P.O., Arsen'eva O.P., Bilous O.V., Ol'hov's'ka O.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislovosti u prikladah i zadachah: innovacijni zahodi. (pidruchnik z grifom MON Ukraini, 2-ge vidannja, pereroblene), Kiïv: Centr uchbovoi literaturi, 2016. – 470 p.
7. Bilous O.V. Dejaki aspekti racional'nogo harchuvannja pri pidgotovci sportsmeniv visokoi kvalifikacii // Visnik NTU «HPI». – H.: NTU «HPI». 2016. – №

- 19(1191). – P. 96–100.
8. *Bilous O.V., Demidov I. M., Buhkalo S. I.* Rozrobka kompleksnogo antioksidantu iz ekstraktiv listja gorihu volos'kogo ta kalenduli / Vostochno-evropejskij zhurnal передовih tehnologij. 2015. – № 1/6(73). – P. 22–26.
9. *Bilous O. V.* Tehnologija stabilizacii roslinnih olij kompleksnim antioksidantom: disertacija na zdobuttja naukovoogo stupenju kandidata tehnicnih nauk: 02.07.15 / Bilous Olesja Valeriivna. – Harkiv, 2015 – 206 p.
10. *Belous O.V., Buhkalo S.I., Demidov I.N.* Nekotorye aspekty tehnologii proizvodstva rastitel'nyh antioksidantov. Povyshenie jeffektivnosti processov i apparatov v himicheskoj i smezhnyh otrasljah promyshlennosti [Tekst]: sb. n. trudov Mezhd. nauchno-tehnicheskoi konferencii, posvjashhjonnoj 105-letiju so dnja rozhdenija A. N. Planovskogo (8-9 sentjabrja 2016 goda). T. 2. M.: FGBOU VO MGUDT, 2016. – P.153–156..
11. *Buhkalo S.I., Bilous O.V., Demidov I. M.* Dejaki skladovi doslidzhennja kompleksnogo antioksidantu // Resurso- ta energooshadni tehnologii virobництва i pakuvannja harchovoї produkcii – osnovni zasady ii konkurentnozdadnosti; Materiali U Mizhnarodnoi specializovanoi naukovopraktichnoi konferencii. 14 veresnja 2016 r., m. Kiiv. – K. NUHT, 2016. – p. 160–164.
12. *Bukhhalo S.I., Bilous O.V., Demidov I.M.* Some opportunities of developments oil stabilization technology against oxidative spoilage // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 18(1240). – p. 24–28.

Поступила (received) 23.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Деякі питання викладання дисципліни Біохімія харчування для студентів спеціальності «Фізична культура і спорт» / О. В. Білоус, С. І. Бухкало // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 58–64. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2220-4784.

Некоторые вопросы преподавания дисциплины Биохимия питания для студентов специальности «Физическая культура и спорт» / О. В. Белоус, С. И. Бухкало // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 58–64. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2220-4784.

Some Questions of Teaching Discipline Biochemistry of Nutrition for Students of the Specialty «Physical Culture and Sports» / O. V. Bilous, S. I. Bukhhalo // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 41(1263). – p. 58–64. Bibliog.:12 titles. – ISSN 2220-4784.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Білоус Олеся Валеріївна – кандидат технічних наук, викладач кафедри фізичного виховання, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», тел.: +380963736909; e-mail: fazia@ukr.net

Bilous Olesia Valeriivna – Phd, candidate of technical sciences, Teacher, Department of physical education, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel. : +380963736909; e-mail: fazia@ukr.net

Белоус Олеся Валерьевна – кандидат технических наук, преподаватель кафедры физического воспитания, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», тел.: +380963736909; e-mail: fazia@ukr.net

Бухкало Світлана Іванівна – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», тел.: +380673010613; e-mail: bis.khr@gmail.com

Bukhhalo Svetlana Ivanovna – Phd, candidate of technical sciences, Professor, Department of Integrated technologies, processes and apparatus National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel. : +380673010613; e-mail: bis.khr@gmail.com

Бухкало Светлана Ивановна – кандидат технических наук, профессор кафедры интегрированных технологий, процессов и аппаратов, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», тел.: +380673010613, e-mail: bis.khr@gmail.com.

УДК 666.9-1

Г. К. ВОРОНОВ, В. І. БІЛЯКОВ, Д. О. ФЕДОТОВ, О. Г. БОБРОВ

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ТЕПЛОЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ІЧ-СІГНАТУРИ БРОНЕТЕХНІКИ

Розглянуто та проаналізовано існуючі методи протидії тепловізійній розвідці та встановлено перспективність застосування пасивних засобів зниження ІЧ-сигнатури бронетехніки, зокрема захисних покриттів. Проведено моделювання ефективності дії композиційного теплозахисного покриття на спеціально розробленому випробувальному стенді. Визначено характер тепловипромінювання для поверхні з двох та трьохшаровими захисними покриттями різних типів. Розраховано коефіцієнт інтенсивності ІЧ-сигнатури по температурі поверхні. Підтверджено ефективність застосування тришарових композиційних теплозахисних покриттів як засобу зниження ІК-сигнатури бронетехніки.

Ключові слова: композиційне покриття, ІЧ-сигнатура, бронетехніка, теплове випромінювання, коефіцієнт інтенсивності

Рассмотрены и проанализированы существующие методы противодействия тепловизионной разведке и установлена перспективность применения пассивных средств снижения ИК-сигнатуры бронетехники, в частности защитных покрытий. Проведено моделирование эффективности действия композиционного теплозащитного покрытия на специально разработанном испытательном стенде. Определен характер тепловыделения для поверхности с двух и трехслойными защитными покрытиями различных типов. Рассчитан коэффициент интенсивности ИК-сигнатуры по температуре поверхности. Подтверждена эффективность применения трехслойных композиционных теплозащитных покрытий как средства снижения ИК-сигнатуры бронетехники.

Ключевые слова: композиционное покрытие, ИК-сигнатура, бронетехника, тепловое излучение, коэффициент интенсивности

The existing methods of counteraction to thermal imaging are considered and analyzed, and the prospect of using passive means of reducing the infrared signature of armored vehicles, in particular protective coatings, has been established. The main requirements for heat-insulating coatings have been determined and the need to use multilayered compositions. The simulation of the effectiveness of the composite heat-protective coating on a specially designed test bench has been carried out. Determination of the external heat-emitting ability of the camera surface was carried out by the thermal imaging method. The character of heat emission for a surface with two and three-layer protective coverings of various types is determined. The intensity of infrared radiation for multi-layer compositions is determined. The coefficient of intensity of the IR signature on the surface temperature is calculated. The effectiveness of three-layer composite heat-shielding coatings as a means of reducing the IR signature of armored vehicles has been confirmed.

Key words: composite coating, IR signature, armored vehicles, thermal radiation, intensity factor

Вступ. На сьогодні більшість армій світу широко застосовують тепловізори в якості приладів розвідки та наведення для систем озброєння військової техніки. Системи ІЧ-термографії мають цілий ряд факторів які обумовлюють їх широке розповсюдження – мала залежність від атмосферного впливу; незначна чутливість до димових завіс; велика дальність дії та пасивний принцип роботи, що запобігає їх виявленню противником. Все це дає можливість ефективно знаходити та вражати цілі, що недосяжні для візуального спостереження. Поряд з цим традиційні заходи захисту броньованої техніки стають малоефективними при застосуванні приладів тепловізійної розвідки. Основним демаскуючим фактором для бронетехніки є її двигуни, які є достатньо потужними і, як наслідок, стають сильними джерелами теплового випромінювання. Також металеві поверхні машин можуть випромінювати в ІЧ-діапазоні при роботі в запеклих умовах. В сучасних умовах ведення бойових дій, розробка методів протидії тепловізійним засобам розвідки повинна бути одним з пріоритетних напрямків досліджень у галузі військової техніки.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.

Огляд та аналіз даних з існуючих та перспективних методів та засобів протидії тепловізорам показує, що основні ідеї протидії тепловізійній розвідці включають сконування або визначення ІЧ-сигнатури

об'єкта. Це досягається наступним чином [1 – 4]:

- шляхом укріплення поверхні об'єкта масками зі щільних природних матеріалів товщиною не менш 15 см (мати з жердин, гілок, очерету та інше);
- розташуванням на поверхні машини різних предметів, що мають невисоку теплопровідність і неправильну геометричну форму (на основі поролону, пінопласту, вати, повсті та т.п.). Елементи поверхні машини – рисунок 1, розташовані під деяким «критичним» кутом, можуть відображати більш «холодне» небо, що також призводить до зміни ІК сигнатури,;
- використанням спеціальних накидок, що екранують теплове випромінювання (щільні брезентові та інші покриття), що показано на рисунок 2;
- застосуванням пасивних засобів захисту, які орієнтовані на приховування інфрачервоного випромінювання: спеціальних мастик, покриттів (фольги, за умови, що вона досить віддалена від поверхні, яку маскує), екранують теплове випромінювання, які наносяться на техніку.

Дані аналізу показують перспективність застосування у якості пасивних засобів захисту сучасних композиційних теплозахисних матеріалів, що поєднують фізико-хімічні та експлуатаційні властивості як

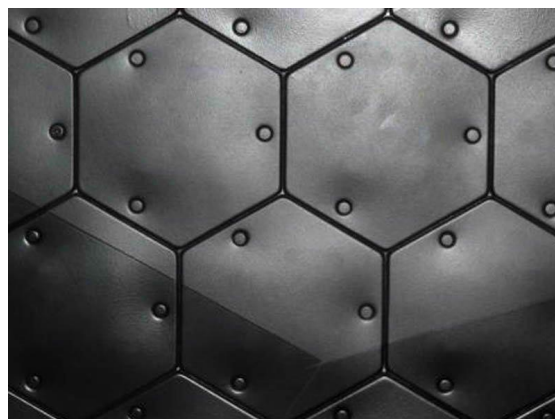
неорганічних, так і органічних речовин. Основні вимоги до термоізоляційним покриттям, відповідним цілям даної роботи, включають перш за все: безвипальний спосіб формування, відносно низькі значення питомої теплопровідності, щільності, товщини, а також істотну пористість і механічну міцність покриттів. Цим вимогам у великій мірі відповідають плазмові і газополум'яні неорганічні і композиційні покриття, з яких перевагу надають останнім, завдяки досить високій продуктивності, низькій вартості процесу нанесення, можливості обробки великих площ і мобіль-

ності обладнання, що дозволяє виробляти напилення на місці, без демонтажу деталей техніки [5, 6].

Як найбільш ефективний і раціональний спосіб зниження ІК-сигнатури можна вважати використання двошарових покриттів, що складаються з базового підшару з неорганічних матеріалів, нанесених газополум'яним методом і верхнього шару з композиційного матеріалу на основі полімерного сполучного і скляних або керамічних мікросфер. Такі покриття забезпечать не тільки помітне (до 50 %) зниження ІК-сигнатури техніки, а й механічну міцність покриттів, що підвищує їх термін служби в цілому.



а



б

Рис. 1. Адаптивний камуфляж системи ADAPTIV (BAE SYSTEMS): а – загальний вид камуфльованого об'єкту; б – фрагмент адаптивного камуфляжу.



Рис. 2. Радіопоглинаючий матеріал «Терновник» (НПП «Радиострим», РФ).

Експериментальна частина. У даній роботі для оцінки ефективності використання композиційних теплозахисних покриттів як пасивного захисту від тепловізійної розвідки були проведені дослідні випробування з моделюванням рухового відсіку легкоброньованого транспортного засобу (БТР або БМП).

При моделюванні джерела інфрачервоного випромінювання виходили з умовного уявлення відсіку як замкнутої металевої ємності (камери), в якій розташований джерело випромінювання – еквівалент двигуна транспортного засобу. Відповідно, основними поверхнями теплопоглинання (для внутрішнього се-

редовища) і тепловипромінювання (для зовнішнього середовища) буде корпус рухового відсіку. Виходячи з робочих характеристик двигунів БМП і БТР, а також максимальних допустимих робочих температур мастильних і охолоджуючих рідин передбачувана температура поверхні корпусу не перевищує 100 °С.

Для практичної оцінки теплової ізоляції пропонованого покриття застосовано випробувальний стенд, який імітує внутрішній простір рухового відсіку легко броньованого транспортного засобу. Основним елементом стенду є металева камера зі сталі Ст3сп розміром 200 × 200 × 200 мм з товщиною стінок

4 мм. Для розміщення джерела теплового випромінювання одна зі стінок камери відсутня, що показано на рисунку 3. Джерело теплового випромінювання уводиться всередину камери через відсутню задню стінку та для забезпечення режиму рівномірної теплопередачі розміщується рівновіддалено від її стінок. Потужність джерела випромінювання (електричний нагрівач потужністю 200 Вт) обрана такого значення, щоб очі-



кувана температура поверхонь при досягненні режиму стаціонарного теплообміну не перевищувала гранично допустиму температуру нагрівання стінок.

При досягненні стаціонарного режиму теплообміну температура зовнішньої поверхні вимірювальної камери фіксується за допомогою штатного вимірювального пристрою (цифрового термометра), що входить до складу стенду.

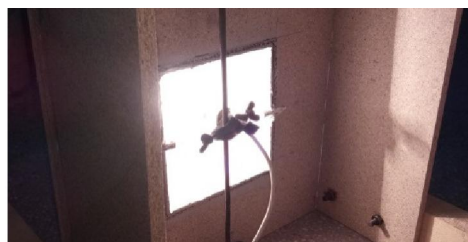


Рис. 3. Зовнішній вигляд випробувального стенду з закріпленою камерою та розташованим джерелом ІЧ випромінювання.

Для виконання вимірювань на розробленому стенді було виготовлено кілька однотипних вимірювальних камер для порівняльних вимірів тепловипро-

мінюючої здатності неізолюваною поверхні і поверхонь з різними варіантами теплозахисного покриття.



Рис. 4. Зовнішній вигляд випробувальної камери без покриття та з нанесеним теплозахисним покриттям

Визначення зовнішньої тепловипромінюючої здатності поверхні камери проводилося тепловізійним методом, який обрано, як найбільш ефективний спосіб оцінки енерго- і теплозберігаючих заходів в теплотехніці і енергетиці [6]. Для проведення вимірювань використано портативний тепловізор типу FLIR E6, що має в діапазоні вимірюваних температур наступні параметри:

- спектральний діапазон: 8 – 14 мкм;
- температурна чутливість: 0,1 °С;
- точність вимірювання температури: ± 1 °С.

Результати та обговорення. Дистанційні вимірювання температури поверхонь проводилися в стаціонарному режимі (час витримки до вимірювання – 30 хв.) у приміщенні з температурою навколишнього середовища з відстані 3 м за відсутності додаткових джерел тепла (крім оператора). Температура всередині

приміщення на момент проведення замірів складала – 8 °С та 14 °С.

Тепловізійні вимірювання проводилися серіями – не менше 3-х вимірів для кожного зразка. Для проведення вимірювання використовувалися зразки (у вигляді вимірювальних камер): без покриття, з різними типами нанесених покриттів – композиційним полімерним покриттям (КМП), газополум'яним оксидним покриттям (ГОП) та з поєднанням кількох прийомів:

- контрольний зразок – без покриття;
- зразок 1: 2 шари КМП, нанесених на зовнішню поверхню камери;
- зразок 2: 1 шар КМП нанесений на зовнішню поверхню камери + 1 шар КМП нанесений на внутрішню поверхню;
- зразок 3: 1 шар ГОП + 2 шари КМП нанесених на зовнішню поверхню камери;

– зразок 4: 1 шар ГОП + 2 шари КМП нанесених на зовнішню поверхню камери + 1 шар КМП нанесений на внутрішню поверхню.

Середня товщина нанесених шарів покриття становила: для 1 шару ГОП – 120 мкм (0,12 мм); для 1 шару КМП – 150 мкм (0,15 мм).

Коефіцієнт інтенсивності інфрачервоного випромінювання ($K_{\text{ІЧ}}$) виражений в процентах приймався за 100 % для контрольного зразка (без покриття).

Коефіцієнти випромінювання всіх зразків з теплоізоляційними покриттями у спектральному діапазоні 8 – 14 мкм (який відповідає інтервалу температур,

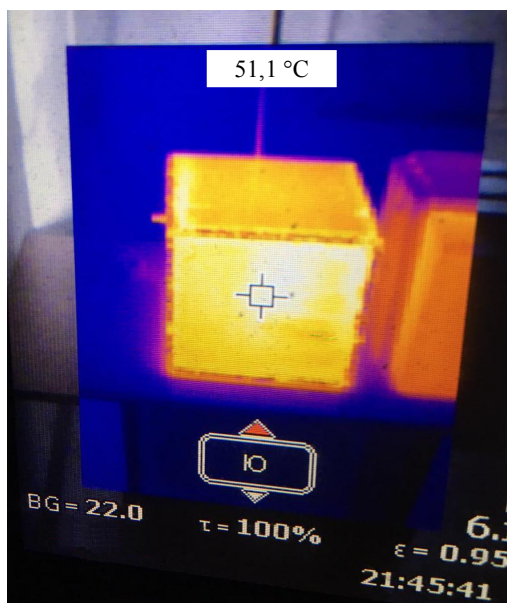
який нас цікавить), якісно і кількісно оцінені термограмою, виявилися порядку $\varepsilon \approx (0,85 - 0,95)$.

З урахуванням похибок дистанційних і контактних вимірів температур ($T = \pm 1^\circ \text{C}$), відхилень середньої товщини покриттів ($\Delta h = \pm 0,05 \text{ мм}$), неоднорідностей поверхні, а також припущень, що використовуються при спрощених інженерних розрахунках, можна оцінити точність вимірювання питомої теплового потоку $\Delta q \approx \pm 10 \text{ Вт / м}^2$, коефіцієнтів теплопровідності $\Delta k \approx \pm 0,1 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$.

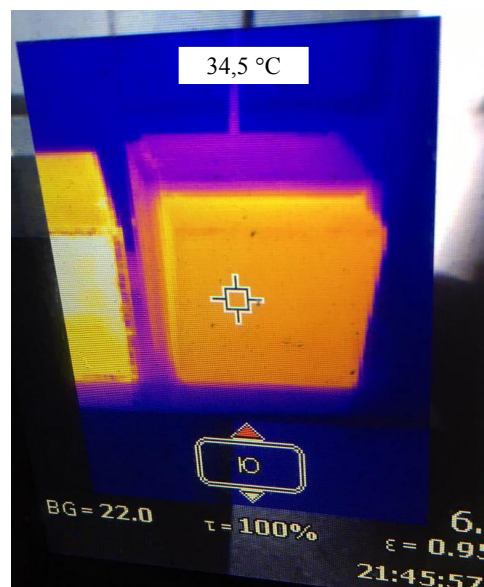
Результати проведених замірів для всіх зразків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Заміри температурних показників на поверхні вимірювальних камер (Час витримки 30 хв.)

Маркування зразків	Температура навколишнього середовища – 8 °C				Температура навколишнього середовища – 14 °C			
	Температура за замірами			$K_{\text{ІЧ}}$, %	Температура за замірами			$K_{\text{ІЧ}}$, %
	1	2	3		1	2	3	
Контрольний без покриття	45	46	45	100	61	62	62	100
Зразок 1	36	36,5	36	76	47	48	49	71
Зразок 2	36	35	35,5	74	45	46	48	67
Зразок 3	31	32	31,5	64	38	40	41	54
Зразок 4	30	31	30	60	37	38	39	51



а



б

Рис. 5. Теплове зображення випробувальної камери:
а – без покриття; б – з нанесеним шаром теплозахисного покриття.

Розподіл температури на зовнішній тепловипромінюючій поверхні є функцією великого числа як внутрішніх факторів (параметрів і теплофізичних властивостей середовища, матеріалу поверхні, теплоізоляції та їх неоднорідностей), так і зовнішніх (умов теплообміну з навколишнім середовищем). У стаціонарних умовах температурне поле на зовнішній поверхні ка-

мери визначається існуванням в кожній точці поверхні балансу між тепловим потоком, що приходять від теплоносія, і тепловіддачею в навколишнє середовище [7].

Для даних умов моделювання була прийнята спрощена схема обчислення коефіцієнту інтенсивності ІЧ-сигнатури в % ($K_{\text{ІЧ}}$) по температурі поверхні.

Умовні позначення прийняті при обчисленні:

t_0 – температура навколишнього середовища, °C;

t_1 – температура зразка без покриття, °C;

t_2 – температура образця з покриттям, °C;

α – діапазон спектру ІЧ випромінювання від чорного до білого

$$\alpha = t_1 - t_0$$

$K_{\text{ІЧ}}$ сигнатури температури поверхні можна визначити наступним чином (приклад):

$$t_1 - 50\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_2 - 30\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_0 - 10\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$1) \quad t_1 - t_0 = 50 - 10 = 40\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$2) \quad t_2 - t_0 = 30 - 10 = 20\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$3) \quad \text{з пропорції:} \quad \begin{array}{l} 40 - 100 \\ 20 - X(K_{\text{ІЧ}}), \end{array}$$

$$4) \quad \text{знаходимо}$$

$$X(K_{\text{ІЧ}}) = 2000/40 = 50\text{ } \%$$

Висновки.

Максимально низьку температуру 30 °C поверхні показав зразок 4. Коефіцієнт інтенсивності ІЧ-сигнатури, $K_{\text{ІЧ}}$ склав 60 %. Характер зміни температури зовнішньої поверхні показує, що подальше збільшення покриття на товщину 1 шару веде до зниження величини $K_{\text{ІЧ}}$ на 8 – 10 %. Зниження сигнатури більш яскраво виражено при підвищенні температури навколишнього середовища.

Результати отримані в ході моделювання вказують на достатню ефективність застосування, навіть, двошарових композиційних теплозахисних покриттів як пасивного засобу зниження ІЧ-сигнатури бронетехніки.

Практичне застосування результатів в практиці бойової діяльності з'єднань, частин і підрозділів Збройних Сил України дозволить допомогти вирішенню проблеми протидії тепловізійній розвідці і суттєво підвищити живучість і захищеність техніки.

Список литературы

1. Byrnes J. *Unexploded Ordnance Detection and Mitigation*. Netherlands: Springer Science & Business Media, 2009, (NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics), 286 p.

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Перспективи застосування композиційних теплозахисних покриттів для зниження ІЧ-сигнатури бронетехніки / Г. К. Воронов, В. І. Біляков, Д. О. Федотов, О. Г. Бобров // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 65–70. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2220-4784.

2. Поляков С. Ю. Пути усовершенствования противодействия тепловизионной разведке / [С. Ю. Поляков, В. М. Ленкин, С. С. Королев, Г. А. Змиевской] // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил, 2015. – 1 (42). – С. 7 – 15.
3. Куликовский Э.И. Разработка облегченных РПМ и применение их в маскировочных покрытиях / Э. И. Куликовский, А. Н. Буланова // Журнал депонированных рукописей. 2000. – № 5. – С. 28 – 34.
4. Стаховський О.В. Вирішення танковими (механізованими) підрозділами задачі маскування / О. В. Стаховський // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – № 1 (21). – С. 87 – 90.
5. Семченко Г. Д. Теплоизоляционные материалы: учеб. пособие. – Х.: НТУ «ХПІ», 2006. – 285 с.
6. Ющенко К. А. Інженерія поверхні: підручник / [К. А. Ющенко, Ю. С. Борисов, В. Д. Кузнецов, В. М. Корж]. – К.: Наук. думка, 2007. – 559 с.
7. Домбровский Л. А. Моделирование теплового излучения полимерного покрытия содержащего полые микросферы / Л. А. Домбровский // Теплофизика высоких температур, 2005 – Том 43. – № 1. – С. 111.

References (transliterated)

1. Byrnes J. *Unexploded Ordnance Detection and Mitigation*. Netherlands: Springer Science & Business Media, 2009, (NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics), 286 p.
2. Polyakov S. Yu., Lenkin V. M., Korolev S. S., Zmievskoy G. A. Puti usovershenstvovaniya protivodeystviya teplovizionnoy razvedke [Ways to improve countermeasures for thermal imaging]. *Zbirnik naukovih prats Harkivskogo universitetu Povitryanih Sil*, 2015, no 1 (42), pp. 7 – 15.
3. Kulikovskiy E. I., Bulanova A. N. Razrabotka oblegchenykh RPM i primeneniye ih v maskirovochnykh pokryitiyakh [Development of lightweight RPMs and their application in camouflage coatings]. *Zhurnal deponirovannykh rukopisey*. 2000, no 5, pp. 28 – 34.
4. Stahovskiy O.V. Virishennya tankovimi (mehanizovanimi) pidrozdilami zadachi maskuvannya [Solving the tank (mechanized) divisions of the task of masking]. *Sistemi ozbroennya i viyskova tehnika*. 2010, no 1 (21), pp. 87 – 90.
5. Semchenko G.D. *Teploizolyatsionnye materialy: Ucheb. posobie* [Thermal insulation materials: Textbook. allowance], Kharkov, NTU "KhPI", 2006, 285 p.
6. Yuschenko K. A., Borisov Yu. S.; Kuznetsov V. D.; Korzh V. M. *Inzheneriya poverhni: pidruchnik* [Surface engineering: tutorial], Kiev, Nauk. dumka, 2007, 559 p.
7. Dombrovsky L. A. Modeling of thermal radiation of polymer coating containing hollow microspheres. *High Temperature*. 2005, vol. 43, no. 2, pp. 247 – 258.

Надійшла (received) 20.09.17

Перспективы применения композиционных теплозащитных покрытий для снижения ИК-сигнатуры бронетехники / Г. К. Воронов, В. И. Биляков, Д. А. Федотов, А. Г. Бобров // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 65–70. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2220-4784.

Prospects for using composite heat-protective coatings to reduce the IR signature of armored vehicles / H. Voronov, V. Bilyakov, D. Fedotov, A. Bobrov // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 41(1263). – С. 65–70. – Bibliog.: 7 titles. – ISSN 2220-4784.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Воронов Геннадій Костянтинович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; тел.: +38 (066) 144-99-73; e-mail: voronov1976@ukr.net.

Воронов Геннадий Константинович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший научный сотрудник кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей; тел.: +38 (066) 144-99-73; e-mail: voronov1976@ukr.net

Voronov Hennadiy Kostyantynovich – Candidate of Engineering Sciences (Ph. D), Docent, National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Docent at the Department of Technical Electrochemistry; tel.: ++38 (066) 144-99-73; e-mail: voronov1976@ukr.net.

Биляков Володимир Іванович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», начальник науково-дослідної лабораторії бронетанкового озброєння та військової техніки факультету військової підготовки; тел.: +38(093) 633-56-20; e-mail: ndl_bto@ukr.net.

Биляков Владимир Иванович – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», начальник научно-исследовательской лаборатории бронетанкового вооружения и военной техники факультета военной подготовки; тел.: +38 (093) 633-56-20; e-mail: ndl_bto@ukr.net.

Bilyakov Vladimir – National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Head of the Armored Weaponry and Military Vehicles Research Laboratory of Military Training Faculty; tel.: +38 (093) 633-56-20; e-mail: ndl_bto@ukr.net.

Федотов Дмитро Олексійович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», провідний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії бронетанкового озброєння та військової техніки факультету військової підготовки; тел.: +38 (097) 737-61-50; e-mail: ndl_bto@ukr.net.

Федотов Дмитрий Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории бронетанкового вооружения и военной техники факультета военной подготовки; тел.: +38 (097) 737-61-50; e-mail: ndl_bto@ukr.net.

Fedotov Dmytro – Candidate of Engineering Sciences (Ph. D), Docent, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Lead Research Associate of the Armored Weaponry and Military Vehicles Research Laboratory of Military Training Faculty; tel.: +38 (097) 737-61-50; e-mail: ndl_bto@ukr.net.

Бобров Олександр Геннадійович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії бронетанкового озброєння та військової техніки факультету військової підготовки; тел.: +38 (067) 957-00-36, e-mail: ndl_bto@ukr.net.

Бобров Александр Геннадьевич – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории бронетанкового вооружения и военной техники факультета военной подготовки; тел.: +38(067)-957-00-36, e-mail: ndl_bto@ukr.net.

Bobrov Alexander – National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Senior Research Associate of the Armored Weaponry and Military Vehicles Research Laboratory of Military Training Faculty; tel.: +38 (067) 957-00-36; e-mail: ndl_bto@ukr.net.

УДК 666.266.6

О. В. САВВОВА, В. Л. ТОПЧИЙ, С. О. РЯБІНІН, Л. С. КУРАШ, В. Д. ТИМОФЄЄВ**ЗАЛЕЖНІСТЬ УДАРОСТІЙКОСТІ ВІД ШВИДКОСТІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ХВИЛЬ В ЛІТІЙАЛЮМОСИЛІКАТНИХ СКЛОКРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛАХ**

Проаналізовано ударно-хвильову стадію взаємодії матеріалу ударника та перешкоди у аспекті створення ударостійких броне елементів. Визначено актуальність створення захисних склокристалічних матеріалів з урахуванням особливостей їх структури. Встановлено залежність швидкості розповсюдження звукових хвиль в алюмосилікатних стеклах з урахуванням питомої енергії атомізації оксидів та в склокристалічних матеріалах на їх основі в залежності від їх пружних властивостей та щільності. За критерієм ударостійкості проведено оцінку придатності розроблених склокристалічних матеріалів на основі β -сподумену та дисилікату літію щодо їх використання як елементів бронезахисту.

Ключові слова: ударостійкість, швидкість розповсюдження хвиль, алюмосилікатні склокристалічні матеріали, бронеелемент.

Проанализирована ударно-волновая стадия взаимодействия материала ударника и препятствия в аспекте создания ударопрочных бронееlementов. Определена актуальность создания защитных стеклокристаллические материалов с учетом особенностей их структуры. Установлена зависимость скорости распространения звуковых волн в алюмосиликатных стеклах с учетом удельной энергии атомизации оксидов и в стеклокристаллических материалах на их основе в зависимости от их упругих свойств и плотности. По критерию ударопрочности проведена оценка пригодности разработанных стеклокристаллические материалов на основе β -сподумена и дисиликата лития относительно их использования как элементов бронезащиты.

Ключевые слова: ударопрочность, скорость распространения волн, алюмосиликатные стеклокристаллические материалы, броне элемент

The shock-wave stage of interaction between the impactor material and obstacles in the aspect of creating impact-resistant armor elements is analyzed. The actuality of creation of protective glass-crystalline materials is determined, taking into account the features of their structure. The prospect of using lithium-aluminosilicate glass-ceramic materials with high indicators of sound wave propagation as shock-resistant elements of armor protection is established and the choice of glass of the generating system is justified. The dependence of the speed of propagation of sound waves in aluminosilicate glasses is determined taking into account the specific energy of atomization of oxides and into glass-ceramic materials based on them, depending on their elastic properties and density. According to the impact criterion, an assessment was made of the suitability of the developed glass-ceramic materials based on β -spodumen and disilicate in relation to their use as armored protection elements. It has been established that the presence of crystalline and amorphous phases with different elastic properties in glass crystalline materials allows to provide more effective destruction of the shock absorber and to minimize post-percutaneous action. These results can be used in the development of armored elements with high bullet resistance.

Key words: impact resistance, wave propagation velocity, aluminosilicate glass-ceramic materials, armor-iron.

Вступ.

Актуальною проблемою хімічної промисловості є підвищення рівня захисту спеціальної техніки, яка експлуатується в умовах високошвидкісних механічних навантажень, є розробка та впровадження високоефективних ударостійких матеріалів. У зв'язку з цим важливим аспектом створення вказаних матеріалів, є встановлення механізму взаємодії між ударником (куля, уламок) та перешкодою (бронематеріали).

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Процес ударної взаємодії ударників з перешкодою розділяється на найкоротшу початкову ударно-хвильову стадію і подальшу достатньо тривалу стадію динамічного деформування та (або) проникнення ударника в перешкоду без виражених ударно-хвильових процесів. Ударно-хвильова стадія взаємодії характеризується наявністю інтенсивних ударних хвиль та хвиль розрідження як у перешкоді, так і в ударнику [1]. Результати розрахунків вказують, що при дії на перешкоду сталевих куль, що мають $\sigma_{\text{то}} = 0,5 \div 1,5$ ГПа у швидкісному діапазоні $v_{\text{yo}} = 500 \div 1000$ м/с, контактний тиск p_k за величиною не перевищує 4,5 ГПа. Порівняння виникаючого контактного тиску з твердістю склокристалічних матеріалів (ситалів) H_k показує, що p_k значно нижче наведених значень твердості за Віккерсом HV , яка змінюється ситалах в межах $7 \div 10$ ГПа [2].

Тому ударостійкий матеріал, зокрема

бронеелемент, повинен характеризуватися двома важливими властивостями, а саме, високою твердістю поверхневого шару – здатністю руйнувати гострий ніс серцевини кулі, та необхідною в'язкістю, достатньою для поглинання енергії удару кулі без утворення тріщин і руйнування.

Швидкість проходження ударної хвилі в матеріалі залежить від його щільності і модуля пружності [3]. Висока швидкість розповсюдження звукової хвилі важлива з двох причин:

1) енергія попадання швидко розсіюється по великій площі;

2) зростає ступінь руйнування самого снаряду.

Чим більша різниця в швидкості поширення звукової хвилі в матеріалі ударника і в перешкоді, тим сильніше буде зруйнований ударник. Відомо, що для керамічних матеріалів поширення звукової хвилі зростає зі збільшенням модуля пружності. Однак, для ситалів найвищі показники поширення звукової хвилі мають склади на основі літійалюмосилікатних стеклокерамічних матеріалів склофази, для яких модуль пружності становить лише $74 \div 94$ ГПа [4]. Це може бути пов'язано з наявністю у структурі склокерамічних матеріалів склофази, яка дозволяє знімати механічні мікронапруги, що виникають під дією термічних факторів, та заліковувати тріщини, які виникають при ударі. Наявність еластичної скломатриці, яка забезпечує релаксацію напруг та розсіювання енергії удару, дозволяє використовувати цей матеріал не тільки як руйнуючий, але і як демпферний шар. Тому часто крихкі матеріали, такі як ситали, виявляють крашу

захисну дію, аніж можна було б очікувати з простих розрахунків проходження ударної хвилі [5].

Зважаючи на виключно важливу роль склофази у забезпеченні ударостійкості матеріалів на основі ситалів необхідним є встановлення швидкості розповсюдження звукових хвиль у вихідних стеклах.

Для ситалів, які вміщують більше 50 об. % кристалічної фази швидкість розповсюдження звукових хвиль буде визначатися як адитивна властивість, що враховує показник v_i для склофази та кристалічної фази. Відомо, що швидкість розповсюдження поздовжніх хвиль в мінералах змінюється від 2000 до 18000 м/с, поперечних – від 1100 до 10000 м/с. Низькі швидкості характерні для самородних металів, високі – для алюмосилікатних і оксидних мінералів, які не вміщують залізо (корунд, шпінель, алмаз) [6, 7].

Високо пружний мінерал основного складу піроксен також характеризується максимальними значеннями v_i . Авторами встановлено, що сподумен в умовах тиску до 2,0 ГПа може мати швидкості поздовжніх хвиль більше 11,96 км/с, а поперечних – 6,98 км/с і характеризуватися пружною анізотропією [8].

Важливим фактором забезпечення високої ударостійкості ситалів як бронееlementів є досягнення у їх складі визначного вмісту та виду скло фази та кристалічної фази в умовах спрямованої кристалізації. Встановлення залежності ударостійкості склокристалічних матеріалів від фазового складу, який визначає швидкість розповсюдження хвиль в матеріалах, є актуальною задачею на що і визначило необхідність проведення даної роботи.

Мета роботи. Встановлення залежності ударостійкості від швидкості розповсюдження хвиль для склокристалічних матеріалів.

Методика проведення експерименту.

Швидкість розповсюдження звукових хвиль в модельних стеклах з урахуванням питомої енергії атомізації оксидів (табл. 1) розраховували за методикою наведеною Е. Маміровим [6].

У роботі [6] за прийнятою системою розрахунків енергії хімічних зв'язків у склоподібних речовинах встановлено, що швидкість розповсюдження звукової хвилі в багатокомпонентних силікатних стеклах пропорційна їх питомій енергії атомізації.

Для залежності швидкості розповсюдження поперечних звукових хвиль (v_t), а також характеристичної температури Дебая від молекулярної маси (M) і енергії хімічних зв'язків – енергій атомізації (E) для ряду простих сполук, зокрема для склоподібного кремнезема, справедливе співвідношення:

$$2v_t^2 M = E \quad (1)$$

Для багатокомпонентного скла значення E визначається з виразу:

$$E = k \sum E_{oi} m_{oi}, \quad (2)$$

де E_{oi} – енергія атомізації i -ого оксиду; m_{oi} – вміст i -ого оксиду у склі (мол. %); k – емпіричний

коефіцієнт, який враховує взаємозв'язок оксидів у багатокомпонентних стеклах. Для силікатних стеклов прийнято $k = 1,02$, як і для кристалічних силікатів і алюмосилікатів [5]. За даними хімічних аналізів величина M багатокомпонентних стеклов розраховувалась за формулою:

$$M = \sum M_{oi} m_{oi}, \quad (3)$$

де M_{oi} – молекулярна маса i -ого оксиду.

Зі співвідношення (1) слідує, що $2v_t^2 = E/M = Em$, тобто питома енергія атомізації пропорційна квадрату швидкості розповсюдження поздовжніх звукових хвиль. Так, стекла, які містять оксиди літію, берилію, бору і алюмінію з найбільш високими $E_m = 30,08 \div 33,03$ МДж/кг, характеризуються значеннями $v_t = 3420 \div 3793$ м/с. Навпаки, стекла, які містять оксиди цезію і свинцю зі значеннями $E_m = 17,45 \div 19,17$ МДж/кг, характеризуються найменшими величинами $v_t = 2200 \div 2450$ м/с.

Показники механічних властивостей отримано за допомогою твердомірів ПМТ-3 та ТМВ-1000 та приладу для вимірювання модуля пружності за статичним методом. Щільність матеріалів вимірювали за методом гідростатичного зважування в толуолі.

Придатність матеріалу до його використання як бронезахисного елементу оцінювали за критерієм ударостійкості (M) [9], який визначається таким чином:

$$M = E \cdot HK / \rho \quad (4)$$

де E – модуль пружності, ГПа; HK – твердість за Кнупом, ГПа; ρ – щільність, кг/м³.

Теоретична швидкість розповсюдження звукових хвиль вимірювалась за формулою [10]:

$$v = (E / \rho)^{1/2} \quad (5)$$

Таблиця 1. Значення показників молекулярної маси та питомої енергії атомізації оксидів [6]

Оксиди	Значення показників	
	M , кг/моль	E_{oi} , МДж/кмоль
Li ₂ O	29,88	1168,2
Na ₂ O	61,98	977,2
K ₂ O	94,2	791,3
MgO	40,31	1001,1
CaO	56,08	1062,2
ZnO	81,37	728,1
B ₂ O ₃	59,92	3144,2
Al ₂ O ₃	101,96	3073,2
SiO ₂	60,08	1715,0
TiO ₂	79,9	1260,0 [11]
ZrO ₂	123,224	1382,0 [12]
P ₂ O ₅	141,948	14,0 [13]
CeO ₂	172,12	1,46 [14, 15]

Експериментальна частина.

Для встановлення області існування вихідного скла було обрано систему R₂O – RO – RO₂ – R₂O₃ – P₂O₅ – SiO₂. В ній було обмежено область в наступних концентраційних межах мас. %: R₂O Σ (K₂O, Li₂O, Na₂O) – 0,0 ÷ 20,0; RO Σ (CaO, SrO, MgO, ZnO) – 1,0 ÷ 9,39; RO₂ Σ (SnO₂, TiO₂, ZrO₂,) – 1,0 ÷ 12,0; CeO₂ 0,0 ÷ 0,5; R₂O₃ –

$\Sigma(\text{Al}_2\text{O}_3, \text{B}_2\text{O}_3) - 1,2 \div 34,15$; $\text{P}_2\text{O}_5 - 0,0 \div 3,48$; $\text{SiO}_2 - 37,3 \div 71,8$, та фториди, синтезовано склади стекел серії СЛ та серії СП та досліджено їх кристалізаційну здатність.

Результати експерименту та їх обговорення.

Розрахункові значення швидкості звукової хвилі для дослідженого скла серії СП та СЛ зростають з підвищенням їх питомої енергії атомізації (табл. 2).

Для дослідженого скла СП-6, СП-9 та СЛ-6, СЛ-7, СЛ-8, СЛ-11 та СЛ-12 високі показники швидкості звукової хвилі пов'язані зі значним вмістом оксидів бору, алюмінію, силіцію, титану, цирконію та літію у їх складі. Після термічної обробки вказаних стекел значення даного показника буде суттєво зростати за рахунок наявності високопружних фаз β -сподумену та дисилікату літію.

Таблиця 2. Значення показників питома енергія атомізації та швидкості звукової хвилі для дослідних стекел

Серія стекол СП												
показники	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
E_m МДж/моль	28	25	28	17	28	29	28	27	30			
v , 10^3 м/с	5,3	5,0	5,3	4,1	5,3	5,4	5,3	5,2	5,5			
Серія стекол СЛ												
показники	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
E_m МДж/моль	25	26	28	24	26	28	29	31	27	21	28	28
v , 10^3 м/с	4,9	5,1	5,3	4,9	5,1	5,3	5,4	5,6	5,2	4,6	5,3	5,3

За результатами попередніх досліджень взаємозв'язку структури та фізико-хімічних властивостей розроблених матеріалів серії СЛ [16], СП [17] дозволили встановити, що ситали на основі літій силікатного скла СЛ-12 та літій алюмосилікатного скла СП-9 з вмістом дисилікату літію та β -сподумену у кількості 50 та 80 об. % відповідно.

Для оцінки критерію ударостійкості були визначені механічні властивості склокристалічних матеріалів, які було отримано за скляною технологією за низькотемпературним двостадійним режимом термічної обробки. При цьому значення показнику модуля пружності для матеріалів, який визначали за методом розтягнення нитки є завідомо нижчим, оскільки для в даному випадку кристалізація при термічній обробці нитки протікає не повною мірою (табл.3). Тому теоретичні значення критерію ударостійкості та швидкості

розповсюдження хвиль для дослідних матеріалів за даною методикою є нижчою, аніж при вимірюванні в умовах експерименту.

Таблиця 3. Експлуатаційні властивості дослідних матеріалів

Дослідні матеріали	HK , ГПа	K_{IC} , МПа·м ^{1/2}	E , ГПа	ρ , г/см ³	$\sigma_{ст}$, МПа	M , ГПа ² ·м ³ ·кг ⁻¹	v , м/с
СЛ-12	8,80	3,10	82,0	2,38	650	0,303	5,869
СП-9	8,75	2,4	100,0	2,45	750	0,357	6,388

Проведені дослідження дозволяють стверджувати про підвищення теоретичної швидкості розповсюдження хвиль для стекел та матеріалів на їх основі з появою у їх складі кристалічної фази. Наявність для розроблених склокристалічних матеріалів фаз з різними пружними властивостями дозволяє забезпечити більш ефективне руйнування ударника та мінімізацію позаперешкодної дії.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Встановлено перспективність застосування ударостійких склокристалічних матеріалів як елементів бронезахисту.

Визначено особливості структури літійалюмосилікатних склокристалічних матеріалів, які визначають їх високу захисну дію. Прогнозована оцінка максимального зниження позаперешкодного ефекту при мінімальній товщині бронееlementу можлива при застосуванні розроблених літійалюмосилікатних склокристалічних матеріалів за рахунок забезпечення в них високих міцносних властивостей ($\sigma_{ст} = 650 \div 750$ МПа) та високих значень декременту затухання коливань. Дозволила встановити доцільним застосування розроблених літійалюмосилікатних склокристалічних матеріалів.

Визначено особливості структури літійалюмосилікатних склокристалічних матеріалів, які визначають їх високу захисну дію. Прогнозована оцінка максимального зменшення позаперешкодної Визначено залежність ударостійкості від швидкості розповсюдження хвиль для літійалюмосилікатних стекел та склокристалічних матеріалів на їх основі.

Встановлено вплив наявності високопружних фаз β -сподумену та дисилікату літію, та скломатриці з демпферними властивостями на ударостійкість та мінімізацію позаперешкодної дії. Дані результати можуть бути використані при розробці бронееlementів з високою кулестійкістю.

Список літератури

- Власов А.С., Кинетика высокоскоростного внедрения в высокотвердые хрупкие среды / [А.С. Власов Ю.А. Емельянов, Е.Л. Зильбербранд и др.] // Физика твердого тела. 1999. – Т. 41, № 10. – С. 1785 – 1787.
- Брагіна Л.Л. Структура та властивості склокристалічних матеріалів / [Л.Л. Брагіна, О.В. Саввова, О.В. Бабіч, Ю.О. Соболь] – Х: ООО «Компанія СМІТ», 2016. – 253с.
- Thomas E.L. Opportunities in Protection Materials Science and Technology for Future Army Applications / [E.L. Thomas, M.F. McGrath, R.C. Buchanan et al]. – Washington: National Academies Press, 2011. – 176 p.
- Каранетян Г.О. Исследование упругих свойств литиевоалюмосиликатных стекел / [Г.О. Каранетян, В.Я. Лившиц, Д.Г. Теннисон] // Физика и химия стекла. – 1979. – Т. 5, № 3. – С. 314 – 319.
- Savvova O.V., Bragina L.L., Development of glass-ceramic high-strength material for personal armor protection elements / [O.V. Savvova, L.L. Bragina, et al.] // Chemistry & chemical technology, 2017, Vol. 11, No. 2, pp. 214-219.

6. Мамыров Э. Связь скорости распространения звука в силикатных стеклах с их удельной энергией атомизации / Э. Мамыров // Физика и химия стекла. – 1988. – Т 14, № 4. – С. 600 – 603.
7. Хамидуллина Г.С. Петрофизика: пособие для самостоятельного изучения лекционного курса слушателей повышения квалификации специальности «Геофизика» / Г.С.Хамидуллина. // Казань: Казанский государственный университет, 2009. – 90с.
8. Сафаров И.Б. Упругие модули кристалла сподумена при давлениях до 2,0 ГПа / И.Б. Сафаров, Х.Б. Агаев // Геодинамика, 2012. – № 1(12). – С 163 – 167.
9. Зайцев Г.П. Корундовая бронекерамика: опыт производства и применения / Г.П. Зайцев // Экспертный союз. – 2012. – № 3 (24) интернет ресурс: <http://www.unionexpert.ru/index.php/2011-07-25-15-56-33/item/287-alumina-bronekeramika-experience-of-production-and-use>
10. Клубович В.В. Ультразвук в технологии производства композиционных кабелей / В.В. Клубович, В.В. Рубаник, Ю.В. Царенко // Минск: Беларус. Навука, 2012. – 294 с.
11. Steven Ed. New and Future Developments in Catalysis: Catalysis by Nanoparticles / Ed. by Steven L. Suib. – Poland, Netherlands: Elsevier, 2013. – 512 p.
12. Fang Zongtang. Computational studies of the catalytic reactions of group ivb and vib transition metal oxide clusters:diss... doctor of philosophy: Zongtang Fang; The University of Alabama. – Tuscaloosa, Alabama, 2014. – 412 p.
13. Smoes S. Atomization energies of phosphorus oxides / S. Smoes, J. Drowart // Faraday Symposia of the Chemical Society. – 1973. – Vol. 8. – P. 139–148.
14. Piacente V. Dissociation energy of CeO₂ and Ce₂O₂ molecules / [V. Piacente, G. Bardi, L. Malaspina, A. Desideri] // The Journal of Chemical Physics. – 1973. – Vol. 59 (1). – P. 31 – 36.
15. Juarez L.F. Da Silva Formation of the cerium orthovanadate CeVO₄: DFT+U study / [Juarez L.F. Da Silva, M. Verónica Ganduglia-Pirovano, Joachim Sauer] // Physical Review B. – 2007. – Vol. 76, № 12. – P. 1 – 10.
16. Саввова О.В. Високоміцні літійвмісні матеріали спеціального призначення / [О.В. Саввова, Л.Л. Брагіна, О.В. Бабіч та ін.] // Збірник наукових праць ВАТ «УкрНДІВогнетривів імені А.С. Бережного». – Харків: Каравела, 2016. – №116. – С.116 – 124.
17. Саввова О.В. Дослідження кристалізаційної здатності літійалюмосилікатних стекол в умовах термічної обробки / О.В. Саввова, О.В. Бабіч, А.О. Гривцова // Вопросы химии и химической технологии. – Днепр: Новая идеология, 2016. – № 3 (107). – С.82 – 88.
4. Karapetyan G.O., Livshits V. Ya., Tennison D. G. / *Issledovanie uprugikh svoystv litievoalumosilikatnykh stekol* // Fizika i khimiya stekla. – 1979. – Vol. 5, № 3. – P. 314 – 319.
5. Savvova O.V., Bragina L.L., et al. / *Development of glass-ceramic high-strength material for personal armor protection elements* // Chemistry & chemical technology, 2017, Vol. 11, №. 2, P. 214 –219.
6. Mamyrov E. Svyaz' skorosti rasprostraneniya zvuka v silikatnykh steklakh s ikh udel'noy energiyey atomizatsii // Fizika i khimiya stekla. – 1988. – Vol. 14, № 4. – P. 600 – 603.
7. Khamidullina G.S. Petrofizika: posobie dlya samostoyatel'nogo izucheniya lektsionnogo kursa slushateley povysheniya kvalifikatsii spetsial'nosti «Geofizika»// Kazan': Kazanskiy gosudarstvennyy universitet, 2009, – 90 p.
8. Safarov I.B., Agaev Kh.B. / *Uprugie moduli kristalla spodumena pri davleniyakh do 2,0 GPa* // Geodinamika, 2012. – № 1(12). – P. 163 – 167.
9. Zaytsev G.P. / *Korundovaya bronekeramika: opyt proizvodstva i primeneniya* // Ekspertnyy soyuz. – 2012. – № 3 (24) internet resurs: <http://www.unionexpert.ru/index.php/2011-07-25-15-56-33/item/287-alumina-bronekeramika-experience-of-production-and-use>
10. Klubovich V.V. Rubanik V.V., Tsarenko Yu.V. / *Ul'trazvuk v tekhnologii proizvodstva kompozitsionnykh kabeley* // Minsk: Belarus. Navuka, 2012. – 294 p.
11. Ed. by Steven L. Suib. / *New and Future Developments in Catalysis: Catalysis by Nanoparticles* // Poland, Netherlands: Elsevier, 2013. – 512 p.
12. Fang Zongtang *Computational studies of the catalytic reactions of group ivb and vib transition metal oxide clusters:diss. doctor of philosophy.* // The University of Alabama. – Tuscaloosa, Alabama, 2014. – 412 p.
13. Smoes S. Drowart J. / *Atomization energies of phosphorus oxides*// Faraday Symposia of the Chemical Society. – 1973. – Vol. 8. – P. 139 – 148.
14. Piacente V., Bardi G., Malaspina L., Desideri A. / *Dissociation energy of CeO₂ and Ce₂O₂ molecules* // The Journal of Chemical Physics. – 1973. – Vol. 59 (1). – P. 31 – 36.
15. Da Silva Juarez L. F., Verónica Ganduglia-Pirovano M. / *Formation of the cerium orthovanadate CeVO₄: DFT+U study* // Physical Review B. – 2007. – Vol. 76, № 12. – P. 1 – 10.
16. Savvova O.V., Bragina L.L., Babich O.V. et al. / *Vysokomitsni lityymisni materialy spetsial'noho pryznachennya* // Zbirnyk naukovykh prats' VAT «UkrNDIVohnetryviv imeni A.S. Berezhnoho». – Kharkiv: Karavela, 2016. – No.116. – P. 116 – 124.
17. Savvova O.V., Babich O.V., Hryvtsova A.O./ *Doslidzhennya krystalizatsiynoyi zdutnosti lityalyumosylikatnykh stekol v umovakh termichnoyi obrobky* // Vopros khymyy y khymicheskoy tekhnolohyy. – Dnepropetrovsk: Novaya ydeolohyya, 2016. – № 3 (107). – P. 82 – 88.

References (transliterated)

1. Vlasov A.S., Emel'yanov Yu.A., Zil'berbrand E.L. et al. / *Kinetika vysokoskorostnogo vnedreniya v vysokotverdye khrupkie sredy* / Fizika tverdogo tela. – 1999. – Vol. 41, № 10. – P. 1785–1787.
2. Bragina L.L., Savvova O.V., Babich O.V., Sobol' Yu.O. / *Struktura ta vlastyivosti sklokrystalichnykh materialiv* / Kharkov: OOO «Kompaniya SMIT», 2016.– 253p.
3. Thomas E. L., McGrath M.F., Buchanan R.C. et al. / *Opportunities in Protection Materials Science and Technology for Future Army Applications* // Washington: National Academies Press, 2011. – 176 p.

Поступила (received) 22.10.17

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Залежність ударостійкості від швидкості розповсюдження хвиль в літійалюмосилікатних склокристалічних матеріалах / О. В. Саввова, В.Л. Топчий, С.О. Рябінін та ін. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 71–75. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2220-4784.

Зависимость ударопрочности от скорости распространения волн в литийалюмосиликатных стеклокристаллических материалах / О. В. Саввова, В.Л. Топчий, С.О. Рябинин та ін. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 71–75. – Библиогр.: 17 назв. – ISSN 2220-4784.

Dependence of shock resistance from the speed of wave spreading in lithium-aluminous glass-ceramic materials / O. Savvova, V. Topchiy, S. Ryabinin and other // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 41(1263). – P. 71–75. – Bibliogr.: 17. – ISSN 2220-4784.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Савцова Оксана Вікторівна – доктор технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; тел.: (050) 20-10-444; e-mail: savvova_oksana@ukr.net.

Савцова Оксана Вікторівна – доктор технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший научный сотрудник кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей; тел.: (050) 20-10-444; e-mail: savvova_oksana@ukr.net.

Savvova Oksana – Doctor of Technical Sciences, Associate professor, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, senior research assistant at the Department of the Ceramics, Refractories, Glass and Enamel Technology; tel.: (050) 20-10-444; e-mail: savvova_oksana@ukr.net.

Топчий Віталій Леонідович – начальник науково-дослідної лабораторії (бойового застосування підрозділів технічного забезпечення та радіаційного, хімічного, біологічного захисту) факультету військової підготовки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», тел.: +38 (057) 7076878, e-mail: t_v_l2010@ukr.net

Топчий Виталий Леонидович - начальник научно-исследовательской лаборатории (боевого применения подразделений технического обеспечения и радиационной, химической, биологической защиты) факультета военной подготовки Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», тел.: +38 (057) 7076878, e-mail: t_v_l2010@ukr.net

Topchiy Vitaliy - head of the research laboratory (combat application of departments of technical support and radiation, chemical, biological protection) of the military training faculty of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel.: +38 (057) 7076878, e-mail: t_v_l2010@ukr.net

Рябінін Святослав Олександрович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; тел.: +38(057)7076878; e-mail: riabinin_svyatoslav@hotmail.com

Рябинин Святослав Александрович – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирант кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей; тел.: +38 (057) 7076878; e-mail: riabinin_svyatoslav@hotmail.com

Ryabinin Svyatoslav - National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», postgraduate student the Department of the ceramics, refractories, glass and enamel technology; tel.: +38 (057) 7076878; e-mail: riabinin_svyatoslav@hotmail.com

Кураш Леонід Степанович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії бронетанкового озброєння та військової техніки факультету військової підготовки; тел.: +38(057)7076878; e-mail: ndl_btovt@ukr.net

Кураш Леонид Степанович - Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории бронетанкового вооружения и военной техники факультета военной подготовки; тел.: +38(057)7076878; e-mail: ndl_btovt@ukr.net

Kurash Leonid – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Senior Research Associate of the Armored Weaponry and Military Vehicles Research Laboratory of Guards Faculty of Military Training; tel.: (097) 60-51-815; e-mail: ndl_btovt@ukr.net

Тимофєєв Вадим Дмитрович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», науковий співробітник науково-дослідної лабораторії бронетанкового озброєння та військової техніки факультету військової підготовки; тел.: +38 (067) 957-00-36, e-mail: ndl_bto@ukr.net.

Тимофеев Вадим Дмитриевич – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории бронетанкового вооружения и военной техники факультета военной подготовки; тел.: +38(067)-957-00-36, e-mail: ndl_bto@ukr.net.

Timofeev Vadim – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Research Officer of the Armored Weaponry and Military Vehicles Research Laboratory of Military Training Faculty; tel.: +38 (067) 957-00-36; e-mail: ndl_bto@ukr.net.

УДК 663.41

М. І. БОЙКО, Т. О. БЕРЕЗКА, С. М. МОЛЬЧЕНКО**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ПИВА З НОВИМИ ОРГАНОЛЕПТИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

Статтю присвячено дослідженню пивного сусла і пива із додаванням перетинок волоського горіху, як напою з новими органолептичними властивостями в технології слабоалкогольних напоїв. Визначено сучасну тенденцію розширення асортименту пивоварного виробництва – випуск спеціальних сортів пива. Наведено хімічний склад перетинок волоського горіху. Визначено органолептичні та фізико-хімічні показники сусла, отриманого з додаванням перетинок волоського горіху, у порівнянні з 100 % солодовим суслом. Проведено дослідження білкового складу пивного сусла за методом Лундіна. Визначено органолептичні показники пива з додавання перетинок волоського горіху.

Ключові слова: пиво з новими органолептичними властивостями, перетинки волоського горіху, білковий склад, метод Лундіна.

Статья посвящена исследованию пивного сусла и пива с добавлением перепонки грецкого ореха, как напитка с новыми органолептическими свойствами в технологии слабоалкогольных напитков. Определено современную тенденцию расширения ассортимента производства пива – выпуск специальных сортов пива. Приведен химический состав перепонки грецкого ореха. Определены органолептические и физико-химические показатели сусла, полученного с добавлением перепонки грецкого ореха, по сравнению с чистым 100%-ным солодовым суслом. Проведены исследования белкового состава пивного сусла методом Лундина. Определены органолептические показатели пива, полученного с добавлением перепонки грецкого ореха.

Ключевые слова: пиво с новыми органолептическими свойствами, перепонки грецкого ореха, белковый состав, метод Лундина.

The article has been devoted to the investigation of beer wort and beer with the addition of walnut membranes, as a drink with new organoleptic properties in the technology of low alcohol drinks. The modern tendency of expansion of an assortment of manufacture of beer has been defined - release of special grades of beer. The chemical composition of walnut membranes has been given. Organoleptic and physicochemical indices of the wort obtained with the addition of walnut membranes have been determined, compared with pure 100% malt wort. Studies of the protein composition of beer wort by the Lundin method have been carried out. Organoleptic indices of beer have been defined with the addition of walnut membranes.

Keywords: beer with new organoleptic properties, walnut membranes, protein composition, Lundin's method.

Вступ.

Однією з актуальних проблем, що виникають останнім часом у харчовій і переробній промисловості, є розширення асортименту продукції, що випускається, створення харчових продуктів, що володіють функціональними властивостями для ліквідації дефіциту тих або інших компонентів у харчуванні [1]. Сучасною тенденцією розширення асортиментів пивоварного виробництва є випуск спеціальних сортів пива з використанням нетрадиційної рослинної сировини з метою формування нових органолептичних, фізико-хімічних і фізіологічних властивостей продуктів [2, 3].

Позначені цілі можуть бути досягнуті шляхом застосування при розробці нових видів напоїв і спеціального пива, різних джерел біологічно активних речовин, зокрема плодово-ягідної сировини, продуктів переробки зернової сировини та горіхів.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Пиво – слабоалкогольний ароматний пінистий напій, який одержують спиртовим бродінням пивного сусла за допомогою пивних дріжджів. Використання будь-яких добавок зазвичай визначається можливістю і рентабельністю виробництва чисто солодового пива. Традиційно всі добавки ділять на дві категорії за часом їх додавання в пивоварний процес. Певні добавки створюють унікальні смакові характеристики, що дозволяє отримати нові сорти напою, що задовольняють навіть найвищі запити гурманів.

Добавки першої категорії вносять ще на стадії затирання. До них відносять несолоджену сировину: кукурудзяну крупу, кукурудзяні пластівці, очищений

кукурудзяний крохмаль, рисову крупу та рисові пластівці, менше застосовують – ячмінну крупу, ячмінні пластівці, пшеничну крупу і пшеничне борошно. Існують і інші джерела вуглеводів, наприклад, картопляний крохмаль, але їх практично не використовують на потужних виробничих підприємствах. Друга категорія добавок – це речовини, що служать для збільшення вмісту сухих речовин в сусла. Це можуть бути сиропи або інша вуглеводна сировина. Їх зазвичай додають в варильний котел і вони складаються з низько-, стандартно- і високозброджуваних кукурудзяних сиропів, цукрових сиропів.

Для надання напою специфічних властивостей і підвищення харчової цінності, у пиво вносять також різні трави, коріння, горіхи, плоди і ягоди [4, 5]. При виробництві спеціальних сортів пива в багатьох країнах широко використовується мед [6]. Мед вносять у сусло, як джерело вуглеводів, що легко зброджуються, або після доброджування в готове пиво в кількості 1–3 %. До складу багатьох вітчизняних сортів напоїв мед включено як компонент, що надає аромат, і як джерело цукрів, що зброджуються [7]. Добавки до пива можуть виконувати різні функції:

- технологічні (мають бактерицидні властивості, сприяючи освітленню пивного сусла);
- фармакологічні (пом'якшують дію алкоголю на організм);
- нутриєнтні (підвищують харчову цінність пива).

Цікавою перспективною рослиною (виросить на території України) є волоський горіх, який у своїй сполуці має всі необхідні речовини, які сприяють стабільності пива.

© М. І. Бойко, Т. О. Березка, С. М. Мольченко, 2017

Використання різних часток волоського горіха в пивоварстві забезпечило б стабільність пива, лікувальні властивості напою, а також додало б специфічний колір і аромат [8].

Волоський горіх (*Juglans regia* L.) – потужне розкидисте дерево до 25...30 м висотою, родини *Gorixovi* (*Juglanc*), роду *Gorix*. Листочки еліптичні або подовжені, темно-зелені зверху і світло-зелені круглі знизу. Плід – несправжня кістянка дуже різноманітної форми (від округлої до яйцеподібної), зверху покрита навколоплідною шкіркою, яка в недоспілому стані зелена, а при дозріванні стає чорною, внутрішня – дерев'яниста, зморшкувата, ребриста. Кістянка, облущена від зовнішньої оболонки, складається із зовнішньої дерев'янистої оболонки і ядра. Поверхня дерев'янистої оболонки має випуклий шов, який ділить плід на дві половинки. Всередині плоду є одна або дві (інколи й більше) перегородки. Росте волоський горіх на Кавказі, Азії і Європі, на Україні й Молдові.

У складі напоїв використовують зазвичай ядро, листя горіхів та навколоплідні шкірки.

Листя горіха волоського заготовлюють в червні, під час неповного розпускання, коли вони не досягли остаточного розвитку. Їх швидко сушать на сонці, стежачи, щоб не почорніли, інакше вони втратять свої лікувальні властивості. Зелені навколоплідні шкірки заготовляють у серпні [9].

Листя волоського горіха містять велику кількість біологічно активних речовин: гідроглон, який легко окислюється в юглон, флавоноїди (3-арабінозид кверцетину, 3-арабінозид кемпферол), альдегіди, ефірні масла, алкалоїди, вітаміни С, РР, каротин, йод, фенокарбонові кислоти, дубильні речовини, кумарини, антоціани, хінони і високоароматичні вуглеводні. Навколоплідні шкірки волоського горіха містять органічні кислоти, вітамін С, каротин, карбонові кислоти, дубильні речовини, кумарини і хінони [9].

Застосування перегородок, які поділяють внутрішні ядра волоського горіха обмежене. Дане рішення необачно, адже ті самі перетинки здатні покращити імунітет. На вигляд «сміття» може похвалитися рядом корисних речовин.

В складі перегородок горіха є безліч речовин, які необхідні для роботи організму. Перегородки містять глюкозида, алкалоїди, дубильні речовини, пектин. Алкалоїдні з'єднання сприятливо позначаються на здібностях головного мозку, підвищуючи його активність. З амінокислот присутні найбільш значимі для людини: серин, цистин, аспарагін, глутамін, гістидин, які не виробляються самостійно в організмі людини, тому повинні надходити з їжею. Перегородки волоських горіхів багаті мінеральними елементами, такими як йод, калій, натрій, магній, кальцій, фосфор, цинк, марганець і бор. Не обділені тонкі пластинки вітамінами групи В, токоферолом, ретинолом, вітаміном Д, аскорбіновою кислотою. Перетинки волоського горіха корисні своїми протимікробними і антибактеріальними властивостями.

Перегородки вольського горіха застосовують у вигляді водної або спиртової настоянки, а також відварів. Екстрактами перегородок вольського горіха можна заповнити недолік йоду в організмі, зміцнити імунітет, поліпшують обмінні процеси, знизити вагу, відновити нервову систему [10]. Настоянка з перегородок відмінно лікує кашель, гіпертонію, хвороби шлунку і кишківника, використовується як протипухлинний засіб.

Останнім часом вітчизняні учені проводять дослідження щодо застосування різних рослинних компонентів у технології пива та пивних напоїв, результати яких висвітлено в низці публікацій [11, 12].

Проведені багатьма вченими дослідження з використанням в рецептурі напоїв екстрактів рослин показують значну їх бактерицидну дію. Подавлення зростання мікроорганізмів екстрактами рослин обумовлено достатньо високим вмістом в хмелі – гірких речовин, у шавлії та звіробою – алкалоїдів, в гібіскусі – антоціанів, в чаї – дубильних речовин, в шипшині – органічних кислот [9].

Мета і основні задачі дослідження.

Метою даних досліджень є приготування та дослідження суслу і пива із додаванням перетинок волоського горіху, і отримання слабоалкогольного напою з новими органолептичними властивостями.

Для досягнення заданої мети поставлено наступні завдання:

- приготувати чисто солодове сусло та сусло з додаванням перетинок волоського горіху;
- визначити органолептичні та фізико-хімічні показники отриманого суслу;
- встановити білковий склад пивного суслу;
- приготувати пиво та визначити його органолептичні показники.

Викладання основного матеріалу досліджень.

Виходячи з вище наведеного матеріалу, існує потреба в створенні нового напою, який мав би нові органолептичні показники. Одним з таких напоїв є напій, виготовлений шляхом бродіння солодового суслу за класичною технологією пива, з додаванням сухих перетинок волоського горіху [13].

Об'єктом дослідження є сусло і пиво виготовлене з перетинками волоського горіху, що отримані з плодів горіхів, які ростуть на Київщині, та солодове сусло.

Пивне сусло – складна полідисперсна система. Воно містить колоїди різного ступеня дисперсності суспензії, емульсії та інші речовини. У пивному суслі виявлено, %: редукуючих речовин – 60...70; сахароза – 2...8; пентозани – 3...4; незброжені декстрини – 15...26; сирий білок – 3...6; зола (мінеральні речовини) – 1,5...2 [10–12].

Всі зразки суслу готували класичним способом до початкової концентрації сухих речовин 11%, дріжджі вносили з розрахунку їх початкової концентрації 0,7 млн. у 1 см³ суслу, подрібнені сухі перетинки волоського горіху, у кількості від 5 до 20 г на 100 см³ пивного суслу. Сусло зброджували чистою культурою дріжджів раси *Saccharomyces cerevisiae* Р – 96 за температури 13...14 °С протягом семи діб.

Як контрольний зразок використовували чисто солодове сусле. Для пивного сусле із різним відсотковим додаванням перетинок волоського горіху визначали кислотність – титруванням розчином NaOH концентрацією 0,1 моль/дм³; визначення вмісту мальтози йодометричним і хроматографічним методами; визначення амінного

азоту мідним способом кінцевий ступінь зброджування прискореним методом із перемішуванням сусле [6, 14]; визначення білкового азоту за фракціями Лундіна. Фізико-хімічні показники сусле, яке виготовлене зі світлого ячмінного солоду (контроль) та сусле з додаванням перетинок волоського горіху (ПВГ) наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники сусле, яке виготовлене зі світлого ячмінного солоду та сусле з додаванням перетинок волоського горіху

Показники	Сусло із ячмінним солодом	Сусло з додаванням 5% ПВГ	Сусло з додаванням 10 % ПВГ	Сусло з додаванням 15% ПВГ	Сусло з додаванням 20 % ПВГ
Масова частка екстрактивних речовин, %	11	11	11	11	11
Колірність, см ³ р-ну йоду конц. 0,1 моль/дм ³ на 100 см ³ сусле	0,9	0,45	0,45	0,45	0,45
Кислотність, см ³ р-ну NaOH конц. 0,1 моль/дм ³ на 100 см ³ сусле	1,7	1,5	1,5	1,5	1,5
pH	5	4,6	4,6	4,6	4,6
Вміст амінного азоту, мг/ 100 см ³ сусле	11,2	14,5	14,5	14,5	14,5
Вміст мальтози, мг /100 см ³ сусле	6,2	5	5	5	5
Кінцевий ступінь зброджування, %	75	71,8	71,8	71,8	71,8

Досі не існує способів експрес-контролю ферментативного гідролізу білків. Але ґрунтовне уявлення про розщеплювання білків дає метод Лундіна, за яким розчинні азотовмісні речовини сусле за їх осаджуваністю таніном і фосфорномолібденовою кислотою поділяються на три групи: фракція А – високомолекулярні азотисті речовини: лейкозин, едестин, альбумози; фракція В – середньомолекулярні азотисті речовини: пептони та вищі поліпептиди; фракція С – азотисті речовини, що не осаджуються: низькомолекулярні поліпептиди та амінокислоти. Також відомо, що за цим методом можна певною мірою прогнозувати якісні показники пива та його колоїдну стійкість.

Вважається, що пивне сусле повинно мати переважно низькомолекулярні поліпептиди й амінокислоти (фракція С). Разом із цим вміст пептонів і високомолекулярних поліпептидів (фракція В) зумовлює піноутворення [4, 7, 15]. Білковий склад пивного сусле із додавання перетинок волоського горіху за методом Лундіна наведено в табл. 2, де зразки: 1 – сусле солодове (контроль); 2 – сусле додаванням 5 % перетинок волоського горіху; 3 – сусле з додаванням 10% перетинок волоського горіху; 4 – сусле із додаванням 15 % перетинок волоського горіху; 5 – сусле із додаванням 20 % перетинок волоського горіху.

Таблиця 2. Білковий склад сусле за методом Лундіна

Зразок	Білкові фракції		
	Низькомолекулярні, % від загального розчинного азоту	Середньомолекулярні, % від загального розчинного азоту	Високомолекулярні, % від загального розчинного азоту
1	46,5	22,2	31,3
2	46,4	21,9	31,7
3	45,8	19,3	34,9
4	41,1	18,9	40,0
5	47,5	19,8	31,7

Проаналізувавши дані, що наведено в табл. 2 можна сказати, що в солодовому суслі (контроль) переважають низькомолекулярні білкові речовини – 46,5%, а на частку високомолекулярних припадає – 31,3 %. Все ж за рахунок більш високого вмісту загальних речовин зразки 2, 3, 4 та 5 за сумою середньо і низькомолекулярних фракцій кращі показники має сусле солодове (контроль).

За результатами проведених досліджень (табл.2) встановлено, що пофракційний розподіл білка за Лундіним у солодовому суслі порівняно з суслім із

додаванням перетинок волоського горіху (зразки 2, 3, 4 та 5) різняться несуттєво.

Для визначення органолептичних показників проведено дегустацію чотирьох зразків пива з додаванням перетинок волоського горіха та пива із ячмінного солоду. Як видно з наведених даних табл. 1, табл. 2 та табл. 3 пиво з додаванням перетинок волоського горіху у кількості 5...20% на 100 см³ сусле за фізико-хімічними показниками не поступається контрольному зразку (пиво із ячмінним солодом).

Таблиця 3. Органолептичні показники пива з перетинками волоського горіху

Пиво з додаванням перетинки волоського горіху	Органолептичні показники пива
Зразок 1 (контроль) – 100 % суслу із ячмінного солоду	Освіжаючий напій, запах солодовий, насичений CO ₂ , післясмак приємний
Зразок 2 – 95 % суслу із ячмінного солоду + 5% перетинки волоського горіху	Пустий смак, насичений CO ₂ , кислувате (як напій освіжаючий)
Зразок 3 – 90 % суслу із ячмінного солоду + 10%: перетинки волоського горіху	Освіжаючий напій, на запах легкий, наближений до горіху волоського, насичений CO ₂ , післясмак солодкуватий, приємний.
Зразок 4 – 85% суслу із ячмінного солоду + 15 %: перетинки волоського горіху	Освіжаючий напій, на запах легкий, наближений до горіху волоського, насичений CO ₂ , післясмак солодкуватий, приємний.
Зразок 5 – 80% суслу із ячмінного солоду + 20 %: перетинки волоського горіху	Освіжаючий напій, на запах легкий, наближений до горіху волоського, насичений CO ₂ , має неприсмний гіркий післясмак.

За органолептичними показниками зразки 3 та 4, а саме (90% суслу із ячмінного солоду + 10% перетинки волоського горіху та 85% суслу із ячмінного солоду +15% перетинки волоського горіху) мають хорошу оцінку. Не відповідає за органолептичними показниками зразок 2 та зразок 5.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку

Отже, отримані дані свідчать про те, що при однаковій частці екстрактивних речовин, за іншими показниками пивне суслу з додаванням перетинки волоського горіху мало відмінності від суслу, що було приготовлене з ячмінного солоду, зокрема, за колірністю та загальною кислотністю відповідно менше на 0,05%; за рН менше на 0,1 од., за вмістом аміноазоту на 0,3% більше, що в межах помилки експерименту. Результати досліджень білкового складу суслу із додаванням перетинки волоського горіху свідчать про прийнятність їх використання в пивоварінні.

Установлено, що додавання перетинки волоського горіху покращує органолептичні та фізико-хімічні показники харчового продукту. Проведені дослідження щодо технології одержання пива із додаванням перетинки волоського горіху на стадії приготування суслу свідчать і про перспективність подальшого використання його у пиво-безалкогольному галузі.

Подальші дослідження по розробці технологій приготування суслу і пива, а також для безалкогольних напоїв з додаванням сухих перетинки волоського горіха та їх водних та спиртових екстрактів безперечно актуальні.

Список літератури:

1. Мельтьєв А. Асортимент і біологічна цінність пива / А. Мельтьєв, З. Романова, Г. Бартош, С. Тертиця // Харчова і переробна промисловість. 2010. – № 1. – С. 23–25.
2. Омелячук С.В. Розробка технології горіхового пива / С.В. Омелячук, І.В. Мельник // Наукові праці ОНАХТ. 2012. – Вип. 42. – Том 2. – С. 316–321.
3. Омелячук С. Разработка технологии специального пива с использованием экстракта грецкого ореха / С. Омелячук,

И. Мельник, З. Романова, И. Игнатов // Хранительная наука, техника и технологии. 2013. – Том LX. – С. 353–358.

4. Палатина М.В. Разработка технологии пива специального с добавлением экстрактов из аралии маньчжурской / М.В. Палатина, А.Г. Зимба // Вестник ТГЭУ. 2007. – № 4. – С. 51–56.

5. Нестеренко Е.А. Повышение антиоксидантной активности пива при использовании зеленого чая / Е.А. Нестеренко, Т.В. Меледина // Пиво и напитки. 2010. – № 6. – С. 10–11.

6. Mullen W. Evaluation of Phenolic Compounds in commercial Fruit juices and Fruit Drinks / W. Mullen, C. Serena, C. Alan // J. of Agricultural and Food Chemistry. 2007. – Vol. 55. – № 8. – P. 3148–3157.

7. Кунце В. Технология солода и пива / В. Кунце; пер. с нем. – СПб.: Профессия, 2010. – 912 с.

8. Гойко І.Ю. Перспективи використання екстрактів з плодів волоського горіха як компонентів харчових продуктів функціонального призначення / І.Ю. Гойко, В.Д. Іванова, Н.В. Шнайдер // Наукові праці НУХТ. – 2011. – № 43. – С. 68–71.

9. Прибильський В.Л. Використання нетрадиційної рослинної сировини в технологіях ферментованих напоїв / В.Л. Прибильський, І.В. Мельник, С.В. Омелячук // Харчова наука і технологія. 2014. – № 3. – С. 47–51.

10. Електронний ресурс: <http://faqkrx.xyz/izha-ta-napoi/golovnij-kurs/95560-himichnij-sklad-veloskogo-gorihavoloskij-gorih.html>.

11. Бойко М.І. Дослідження органолептичних і фізико-хімічних показників та вмісту біологічно активних речовин у пивному напої із витяжки гарбуза звичайного та пелюстків календули / М.І. Бойко, А.А. Таволжан, Т.О. Березка // Вісник НТУ «ХП». – 2015. – С. 37–41.

12. Пат. № 109342 Україна; МПК А 23 L7/20 (2016.01). Спосіб виготовлення пивного напою з додаванням водної витяжки із *momordica charantia* L / М.І. Бойко, О.В. Адаменко, Д.П. Коломієць; заявник та патенто власник Національний університет харчових технологій. – u 2016 01262; заявл. 15.02.2016; опубл. 25.08.2016, Бюл. № 16.

13. Сулова А.В. Использование молодых листьев грецкого ореха для увеличения сроков хранения и повышения биологической ценности продуктов / А.В. Сулова, Д.Б. Коротышева, Т.В. Пилипенко // Техно-технологические проблемы сервиса. – 2012. – № 4 (22). – С. 53–56.

14. Мельтьєв А.С. Технохімічний контроль виробництва солоду, пива і безалкогольних напоїв: підручник / А.С. Мельтьєв, С.Р. Тодосійчук, В.М. Кошова; [Під ред. А.С. Мельтьєва]. – Вінниця: Нова Книга, 2007. – 392 с.

15. Гернет М.В. Состояние и перспектива производства специальных сортов пива / М.В. Гернет, И.Л. Рисукина // Пиво и напитки – 2009. – № 2. – С. 8–10.

Bibliography (transliterated):

1. Melet'yev A. Asortyment i biologichna cinnist' py'va / A. Melet'yev, 3 Romanova G. Bartosh, S. Terty'cya // Xarchova i pererobna promy'slovist'. 2010. – No. 1. – P. 23-25.
2. Omel'chuk S.V. Rozrobka texnologiyi gorixovogo py'va / S.V. Omel'chuk, I.V. Mel'ny'k // Naukovi praci ONAXT. 2012. – Vy'p. 42. – Tom 2. – P. 316–321.
3. Omel'chuk S. Razrabotka texnologiy' y' specy'al'nogo py'va s y'spol'zovany'em ekstrakta gresczkogo orexa / S. Omel'chuk, Y'. Mel'ny'k, 3. Romanova Y'. Y'gnatov // Xrany'telna nauka, texny'ka y' texnologiy'y'. 2013. – Tom LX. – P. 353–358.
4. Palaty'na M.B. Razrabotka texnologiy'y' py'va specy'al'nogo s dobavleny'em ekstraktov y'z araly'y' manchzhurskoj / M.V. Palaty'na, A.G. Zy'mba // Vestny'k TGOU. 2007. – No 4. – P. 51–56.
5. Nesterenko E.A. Povysheny'e anty'oksy'dantnoj akty'vnosti' py'va pry' y'spol'zovany'y' zelenogo chaya / E.A. Nesterenko, T.V. Meledy'na // Py'vo y' napy'tky'. 2010. – No 6. – P. 10–11.
6. Mullen W. Evaluation of Phenolic Compounds in commercial Fruit juices and Fruit Drinks / W. Mullen, C. Serena, S. Alan // J. of Agricultulan and Food Chemistry. 2007. – Vol. 55. – No 8. – P. 3148–3157.
7. Kunc V. Technology'ya soloda y' py'va / V. Kunc; per. s nem. – SPb.: Professy'ya, 2010. – 912 p.
8. Gojko I.Yu. Perspektivy' vy' vy'kory'stannya ekstraktiv z plodiv volos'kogo gorixa yak komponentiv xarchovy'x produktiv funkcional'nogo pry'znachennya / I.Yu Gojko, V.D. Ivanova N.V. Shnajder // Naukovi praci NUXT. 2011. – No 43. – P. 68–71.
9. Pry'by'l's'ky'j V.L. Vy'kory'stannya netrady'cijnoyi rosly'nnoyi sy'rovu'ny' v texnologiyax fermentovany'x

- napoyiv / V.L. Pry'by'l's'ky'j, I.V. Mel'ny'k, S.V. Omel'chuk // Xarchova nauka i texnologiya. 2014. – No 3. – P. 47–51.
10. Elektronny'j resurs: <http://faqkurs.xyz/izha-ta-napoi/golovnij-kurs/95560-himichnij-sklad-voleskogo-gorihavoloskij-gorih.html>.
11. Bojko M.I. Doslidzhennya organolepty'chny'x i fizy'ko-ximichny'x pokazny'kiv ta vmistu biologichno akty'vny'x rehovny'x u py'vnomu napoyi iz vy'tyazhky' garbuza zvy'chajnoho ta pelyustkiv kalenduly' / M.I. Bojko, A.A. Tavalzhan, T.O. Berezka // Visny'k NTU «KhPI». 2015. – P. 37–41.
12. Pat. No 109342 Ukrayina; MPK A 23 L7/20 (2016.01). Sposib vy'gotovlennya py'vnoho napoyu z dodavannyam vodnoyi vy'tyazhky' iz momordika charantia L / M.I. Bojko, O.V. Adamenko, D.P. Kolomyecz'; zayavny'k ta patentovlasny'k Nacional'ny'j univertytet xarchovy'x texnologij. – u 2016 01262; opubl. 25.08.2016, Byul. No 16.
13. Suslova A.B. Y'spol'zovany'e molodny'x ly'st'ev gresczkogo orexa dlya uvel'y'cheny'ya srokov xraneny'ya y' povysheny'ya by'ology'cheskoj cennosti' produktov / A.V. Suslova, D.B. Koroty'sheva, T.V. Py'ly'penko // Texny'ko- texnologiy'chesky'e problemy servy'sa. 2012. – No 4 (22). – P. 53–56.
14. Melet'yev A.Ye. Texnoximichny'j kontrol' vy'robny'czstva solodu, py'va i bezalkogol'ny'x napoyiv: pidruchny'k / A.Ye. Melet'yev, S.R. Todosijchuk, V.M. Koshova; [Pid red. A.Ye. Melet'yeva]. – Vinny'cya: Nova Kny'ga, 2007. – 392 p.
15. Gernet M.V. Sostoyany'e y' perspekty'va proy'zvodstva specy'al'ny'x sortov py'va / M.V. Gernet, Y'.L. Ry'suxy'na // Py'vo y' napy'tky'. 2009. – No 2. – P. 8–10.

Надійшла (received) 24.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Розробка технології пива з новими органолептичними властивостями / М. І. Бойко, Т. О. Березка, С. М. Мольченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 76–80. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2220-4784.

Разработка технологии пива с новыми органолептическими свойствами / М. И. Бойко, Т. А. Березка, С. Н. Мольченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 76–80. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2220-4784.

Development of beer technology with new oranoleptic properties / M. I. Boyko, T. O. Berezka, S. M. Molchenko // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 41(1263). – С. 76–80. Bibliog.:15 titles. – ISSN 2220-4784.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бойко Марина Іванівна – кандидат технічних наук, асистент, кафедра експертизи харчових продуктів, Національний університет харчових технологій. Адреса: вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01033, E-mail: boiko80@ukr.net.

Bojko Marina Ivanovna – Phd, assistant of the department of food expertise, National University of Food Technologies, Address: st. Vladimirska, 68, Kyiv, Ukraine, 01033. E-mail: boiko80@ukr.net.

Бойко Марина Іванівна – кандидат технічних наук, асистент, кафедра експертизи пищевых продуктов, Национальный университет пищевых технологий. Адрес: ул. Владимирская, 68, г. Киев, Украина, 01033, E-mail: boiko80@ukr.net.

Березка Тетяна Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул.Кирпичова, 2, м. Харків, Україна, тел.: +380973241684, e-mail: berezka_tatyana_kpi@meta.ua.

Berezka Tetiana Oleksandrivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), docent, Department of Technology of fats and fermentation products, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel.: +380973241684, e-mail: berezka_tatyana_kpi@meta.ua

Березка Татьяна Александровна – кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии жиров и продуктов брожения, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», тел.: +38(097) 324-16-84, e-mail: berezka_tatyana_kpi@meta.ua

Мольченко Світлана Миколаївна – кандидат технічних наук, асистент, кафедра технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; тел.: +380506867186; e-mail: molchenko.svetlana@gmail.com.

Molchenko Svitlana Mikolayivna – Phd, candidate of technical sciences, assistant, Department of Technology of fats and fermentation products, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel.: +380506867186; e-mail: molchenko.svetlana@gmail.com.

Мольченко Светлана Николаевна – кандидат технических наук, асистент, кафедра технологии жиров и продуктов брожения, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», тел.: +380506867186; e-mail: molchenko.svetlana@gmail.com

УДК 614.73 (035.3)

Л. Н. СОЛОДОВНИКОВА, В. А. ТАРАСОВ**ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ РАДОНООПАСНОСТИ СУХАЧЁВСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

В работе представлены результаты высокоточного радонового мониторинга 2-й секции Сухачёвского хвостохранилища радиоактивных отходов Производственного объединения «Приднепровский химический завод». Проведена оценка возможностей превышения значений объёмной активности радона-222 в воздухе вокруг хвостохранилища. Также проведена оценка радоноопасности территории хвостохранилища по плотности потока радона-222 с его поверхности. На основании проведенных оценок подтверждена радоноопасность обследованных территорий. Показано, что поток радона-222 с поверхности хвостохранилища можно уменьшить, используя современные технологии изоляции и рекультивации хвостохранилищ. Рассмотрена возможность дальнейшего использования свободного объема хвостохранилища с учетом радиационной составляющей сбрасываемых отходов.

Ключевые слова: радоноопасность, высокоточный мониторинг, хвостохранилище радиоактивных отходов.

В роботі представлені результати високоточного радонового моніторингу 2-й секції Сухачевського хвостосховища радіоактивних відходів Виробничого об'єднання «Придніпровський хімічний завод». Проведена оцінка можливостей перевищення значень об'ємної активності радону-222 в повітрі навкруги хвостосховища. Також проведена оцінка радононебезпечності території хвостосховища по густині потоку радону-222 з його поверхні. На підставі проведених оцінок підтверджена радононебезпечність обстежених територій. Показано, що потік радону-222 з поверхні хвостосховища можна зменшити, використовуючи сучасні технології ізоляції і рекультивациі хвостосховищ. Розглянута можливість подальшого використання вільного об'єму хвостосховища з урахуванням радіаційної складової відходів, що скидаються.

Ключові слова: радононебезпека, високоточний моніторинг, хвостосховище радіоактивних відходів.

The results of high-precision radon monitoring of the 2nd section of the Sukhachevsky tailings dump of the Pridneprovsky Chemical Plant production association are presented. The radon hazard assessment of the 2nd section of the Sukhachevsky tailings dump of radioactive waste was carried out by measuring the equivalent equilibrium volumetric activity (EROA) of radon-222 in the air around the tailing site and the flux density (exhalation) of radon-222 from the surface of the tailing site. The possibility of exceeding the values of volumetric activity of radon-222 in the air around the tailing dump was assessed. The radon hazard of the tailing site was estimated from the radon-222 flux density from its surface, since its values were significantly higher than the allowable values. The radon hazard of the surveyed territories was confirmed based on the conducted assessments. It is shown that the flux of radon-222 from the surface of the tailings can be reduced using modern technologies of isolation and reclamation of tailing dumps such as tailing dumps with «WISMUT» technology and non-reactive industrial wastes. The possibility of further use of the tailing dump free volume taking into account the radioactive component of the discharged waste is considered.

Key words: radon hazard, high-precision monitoring, tailing dump of radioactive waste.

Введение. Экологическая безопасность окружающей среды при добыче и переработке уранового сырья в Украине является крайне актуальной проблемой. Радиоактивный газ радон-222, выделяющийся при переработке урановой руды вносит доминирующий вклад в облучение производственного персонала категории А и населения проживающего на территориях, прилегающих к хранилищам радиоактивных отходов, образовавшихся при переработке урановой руды и её обогащения. Согласно НРБУ-97 [1] хранилища радиоактивных отходов относятся к техногенно-усиленным природным источникам ионизирующих излучений.

Оценка радоноопасности Сухачёвского хвостохранилища II секция является актуальной проблемой и связана с государственной программой «Приведение опасных объектов производственного объединения «Приднепровский химический завод» (ПО «ПХЗ») в экологически безопасное состояние и

обеспечения защиты населения от вредного влияния ионизирующего излучения [2].

Цель работы. Целью настоящей работы являлась оценка радоноопасности 2-й секции Сухачёвского хвостохранилища радиоактивных отходов путём измерения эквивалентной равновесной объёмной активности (ЭРОА) радона-222 в воздухе вокруг территории хвостохранилища и плотности потока (эксхалации) радона-222 с его поверхности. Результаты проведенного мониторинга явились необходимыми для принятия мер по снижению концентрации радона-222 в воздухе территорий, пролегающих к хвостохранилищу.

Постановка проблемы. Добыча и переработка уранового сырья сопровождаются образованием и нагромождением большого количества отходов в виде отвалов сопутствующих и сбалансированных руд, технологических пульп, которые размещаются в хвостохранилищах.

© Л. Н. Солодовникова, В. А. Тарасов, 2017

За время работы Производственного объединения «Приднепровский химический завод» с 1949 по 1991 г. образовались хранилища радиоактивных отходов уранового производства такие как «Западное», «Центральный Яр», «Юго-восточное», «Днепровское», «Сухачёвское»: I – секция, II – секция, «Лантановая фракция». Все указанные хвостохранилища являются радоноопасными объектами, так как радон (Rn^{222}) является продуктом распада радия (Ra^{226}), содержащегося в радиоактивных отходах основным компонентом которых является уран-238 ($^{238}_{92}U$) [3].

Это видно из схемы распада $^{238}_{92}U$ (рис. 1)

Часть образовавшегося радона путём диффузионно-конвективных процессов распространяется в приземном слое атмосферы и создаёт радоноопасную обстановку на территории, окружающей «хвостохранилище» [4]. По предварительным оценкам из указанных хвостохранилищ в атмосферу каждый год поступает $2,13 \cdot 10^{13}$ Бк радона и 23,9 тонн радиоактивной пыли со средней удельной активностью 3,7 кБк/кг.

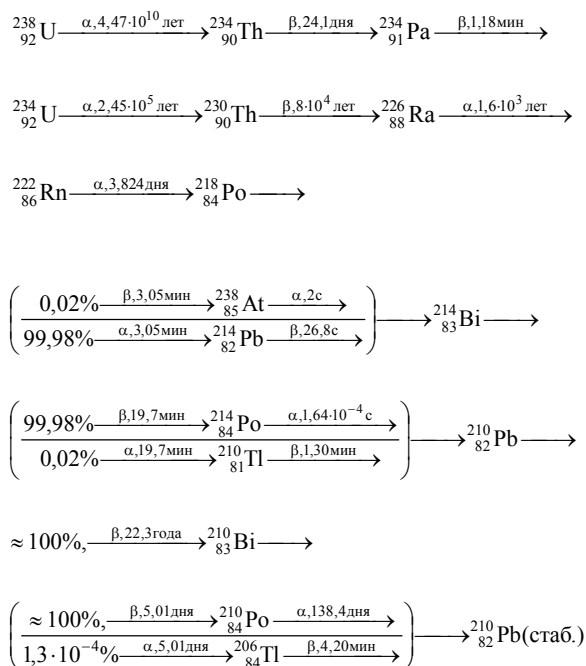


Рис. 1. Схема распада природного урана-238.

Общая характеристика исследуемого объекта исследования состоит в следующем.

Также по предварительным оценкам годовое поступление радона-222 в приземный слой атмосферы только из Сухачёвского хвостохранилища Производственного объединения «Приднепровского химического завода» составляет [7]:

I – секция – $2,2 \cdot 10^6$ Бк/м³;

II – секция – $2,16 \cdot 10^6$ Бк/м³.

Секция II «хвостохранилища» (площадь 70 га, отходов – 5,6 млн. тонн), эксплуатировалась с 1983 г. по 1992 г. и предназначалась для складирования

отходов переработки уранового сырья. На 31.12.2006 во II секции было заскладировано 7707,2 тыс. м³ отходов переработки уранового сырья, в том числе 5630,9 тыс. м³ твердых шламов и 2076,3 тыс. м³ воды. Общая площадь намыва II секции составляет 698,8 тыс.м², в т.ч. 343 тыс. м² площадь сухих пляжей и 355,8 тыс.м² площадь водного зеркала. Радиоактивные отходы во II секцию сбрасывались до 1992 года. Абсолютная отметка заполнения II секции радиоактивными отходами изменяется от 96,0 м в днище пруда до 109,0 м в краевых частях секции [5].

Чаша «хвостохранилища» и защитные дамбы оборудованы противофильтрационными элементами. Поверхностный пласт толщиной 4 – 5 м состоит из нерадиоактивных шламов (отходов), фосфогипса. Нерадиоактивные отходы перекрывают РАО неравномерно слоем до 4 – 5 м. В пределах пруда II секции имеются участки, где шламовые воды контактируют с РАО. Поверхностный слой отходов состоит, в основном, из гипса (90 %), соединений алюминия (до 2,3 %), оксида кремния (4,7 – 7,3 %), соединений фосфора (1,5 – 2,2 %). Жидкая фаза хвостов (шламовые воды) содержится в виде пруда, занимающего две трети площади намыва II секции и поровой воды в толще отходов. Анализ радионуклидного состава шламовых вод II секции показал, что в них содержатся уран – 0,025 Бк/дм³, радий-226 менее 0,005 Бк/дм³, свинец-210 0,095 Бк/дм³, полоний-210 0,33 Бк/дм³, что также является причиной поступления в атмосферу радона вокруг «хвостохранилища» [5].

Промплощадка Производственного объединения «Приднепровского химического завода» находится в непосредственной близости к жилой зоне г. Днепродзержинска. Хвостохранилища являются источником загрязнения на расстоянии 370 – 860 метров от их контура [5] за счет различных процессов переноса радионуклидов.

Процессы переноса радионуклидов в различных средах представлены на (рис. 2). Процессы переноса радионуклидов в атмосфере можно разделить на процессы ветровой эрозии с поверхности хвостохранилища (перенос пыли) и процессы переноса радиоактивного газа радона [6].

Воздушное распространение радона-222 является одним из путей облучения персонала категории А территории промплощадки Производственного объединения «Приднепровский химический завод» и населения прилегающих к хвостохранилищу территорий.

Необходимость проведения высокоточного радонового мониторинга на II секции «Сухачёвского» хвостохранилища связана с её радиологической опасностью для всего Приднепровского района (общая активность отходов в секции составляет $2,7 \cdot 10^{14}$ Бк), а также с необходимостью её реконструкции и перепрофилирования [4].

Радоноопасность объекта можно оценить по ряду существующих критериев [8]. В настоящей работе радоноопасность оценивалась по значениям

эквивалентной равновесной объемной активности радона (ЭРОА) и плотности потока радона (эсхалляция).

Результаты исследований.

Высокоточный мониторинг радона-222 на территории II секции «хвостохранилища» проводился с помощью радиометра РГА-09М (определение ЭРОА) и радиометра AlphaGuard PQ-2000 (определение эсхалляции), откалиброванных по первичному государственному эталону радона-222 (ДЕТУ 12-01-97) с использованием государственной поверочной схемы (ДСТУ 3536-97).

Измерения ЭРОА радона-222 в воздухе проведены экспресс-методом с помощью радиометра РГА-09М. Замеры проводились на средней высоте органов дыхания взрослого человека (1,5 м). Эсхалляция радона-222 с поверхности определялась с помощью радиометра AlphaGuard PQ-2000 и пробоотборного устройства [5]. Полученные значения ЭРОА и эсхалляции в различных точках исследованного объекта представлены в таблице 1.

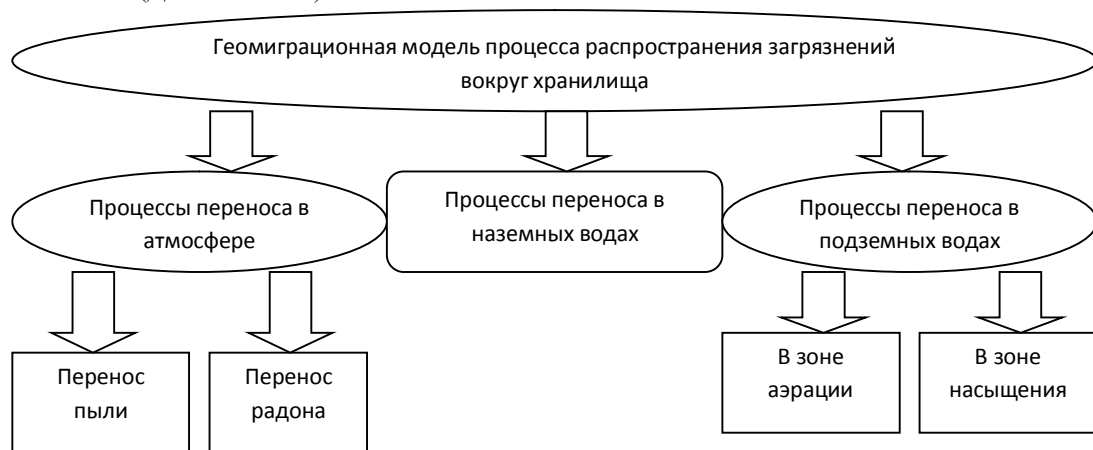


Рис. 2. Схема распространения загрязнения вокруг хвостохранилища [6].

На основании данных, приведенных в таблице 1 проведена оценка радоноопасности хвостохранилища II секции Сухачёвского хвостохранилища по существующим критериям потенциальной радоноопасности территорий [8], которые представлены в таблице 2.

Из сравнения значений ЭРОА и эсхалляции, приведенных в таблице 1 со значениями этих параметров в таблице 2 следует, что величина ЭРОА для всех точек измерений не превышает критических значений. В то же время для ряда точек измерений, величины эсхалляции значительно превышают нормативные значения.

Поэтому особенностью оценки радоноопасности Сухачёвского хвостохранилища секция II является то, что количественное содержание радона-222 в хвостохранилище определяется его плотностью потока с поверхности хвостов. Объемная активность радона-222 не является точной количественной характеристикой его содержания в хвостохранилище так как концентрация радона-222 в атмосферном воздухе вокруг хвостохранилища определяется пространственными вариациями метеорологических факторов, таких как направление и скорость ветра, скорость перемешивания воздушных слоев в приземном слое, количество осадков, влажность, давление, температура и другие. Точное определение объемной активности радона-222 вокруг территории

хвостохранилища возможно с использованием специальных математических моделей [6].

В связи с этим, для оценки радоноопасности вокруг территории II секции Сухачёвского хвостохранилища в работе были использованы значения плотности потока радона.

Анализ результатов мониторинга радона-222 (табл. 1) показал, что значения плотности потока радона в определённых точках территории вокруг хвостохранилища превышают 80 мБк/м²·с (табл. 3).

По критериям, приведенным в таблице 2, территории вокруг II секции Сухачёвского хвостохранилища являются радоноопасными и требуют проведения мероприятий, предупреждающих поступление радона в атмосферу.

Таковыми мероприятиями могут быть ослабление потока радона-222 с поверхности отходов уранового сырья с помощью промышленных отходов [4], применение технологии рекультивации (ремедиации) изоляции хвостохранилищ радиоактивных отходов немецкой компанией «Wismut GmbH» [9]. Реконструкция и перепрофилирование II секции Сухачёвского хвостохранилища возможны в связи с проектной емкостью заполнения чаши второй секции 22 млн. м³, т.к. на данный момент свободный объем чаши второй секции составляет около 14,8 млн. м³ [5]. Предприятиям, образовавшимся на территории Производственного объединения «Приднепровский

химический завод» ГНПО «Цирконий», ГП «Смоля», Сухачёвского хвостохранилища необходимо
 ГП «Барьер» при дальнейшем рациональном учитывать радиационную составляющую
 использовании свободного объёма чаши II секции сбрасываемых отходов

Таблица 1 – Результаты радонового мониторинга II секции хвостохранилища

№п/п	Номер точки измерения	ЭРОА радона-222 в воздухе, Бк/м ³	Эксхалляция радона-222 с поверхности, мБк·м ⁻² ·с ⁻¹	Координаты точки замера		
				N48°	E034°	H, см
1	S03	24,2	—	25,633	43,013	140
2	S42A	12,1	—	25,473	43,027	137
3	S47	—	373 ± 14	25,448	43,057	132
4	S55	11,3	—	25,304	43,026	109
5	S63A	1,61	3,3 ± 0,3	25,257	43,106	106
6	S64	4,83	—	25,236	43,100	110
7	S66A	2,01	—	25,191	43,142	114
8	S78	9,66	—	25,258	43,237	115
9	S82A	5,23	162 ± 8	25,307	43,171	122
10	S85	4,83	257 ± 9	25,363	43,137	117
11	S99	4,8	181 ± 7	25,433	43,073	128
12	S119	14,89	27 ± 1	24,681	42,341	112
13	S131F	7,25	—	24,482	42,715	120
14	S142	4,43	—	24,631	42,282	123
15	S148	19,32	—	24,772	42,422	123
16	S170	13,28	317 ± 12	25,239	43,338	120
17	S171	5,23	—	25,157	43,348	127
18	S180A	1,61	7,05	25,105	42,996	107
19	S186A	8,45	—	24,939	42,933	107
20	S190	11,2	11,6	24,887	42,142	109
21	S001A	8,45	7 ± 0,4	25,060	42,798	108
22	S008	9,68	33 ± 2	24,708	42,475	106
23	S0010A	—	11 ± 0,8	24,592	42,375	107
24	S0014	5,23	—	24,559	42,508	105
25	S0018	—	3,6	24,541	42,636	106
26	L-01C	6,25	7,7	25,766	42,961	146
27	L-02G	5,8	9,6	25,632	42,563	135
28	L-03I	4,9	10,9	25,280	42,229	112
29	L-04D	—	8,8	25,122	42,631	125
30	L-04J	5,5	12,1	25,126	42,141	103
31	L-05D	8,3	10,1	24,744	42,126	104
32	L-05I	6,7	7,3	24,789	41,723	104
33	L-06	4,12	7 ± 0,5	—	—	—
34	L-06G	4,8	11,0	24,557	41,901	95
35	L-07K	5,5	9,5	24,044	42,020	92
36	L-08D	—	8,9	24,385	42,657	119
37	L-08J	1,5	8,3	24,062	42,584	115
38	L-09H	4,5	6,3	24,310	43,156	134
39	L-10A	2,4	5,5	24,768	43,489	118
40	L-10I	4,2	6,6	24,728	43,936	133
41	L-11A2	6,6	8,2	24,981	43,274	125
42	L-11J	4,8	12,8	24,993	44,016	139

Таблица 2. Критерии потенциальной радоноопасности территорий

Категории потенциальной радоноопасности территорий	ЭРОА радона, Бк·м ⁻³	Плотность потока радона J, мБк·м ⁻² ·с ⁻¹	ОА радона C _{РН} , кБк·м ⁻³
I	< 25	< 20	<< 10
II	25 – 100	20 – 80	10 – 40
III	> 100	< 80	> 40

Таблица 3. Превышения концентрации радона-222 вокруг территории хвостохранилища

№п/п	Номер точки измерения	ЭРОА радона-222 в воздухе, Бк/м ³	Эксхалляция радона-222 с поверхности, мБк·м ⁻² ·с ⁻¹	Координаты точки замера		
				N48°	E034°	H, см
3	S47		373 ± 14	25,448	43,057	132
9	S82A	5,23	162 ± 8	25,307	43,171	122
10	S85	4,83	257 ± 9	25,363	43,137	117
11	S99	4,8	181 ± 7	25,433	43,073	128
16	S170	13,28	317 ± 12	25,239	43,338	120

Выводы.

Таким образом, анализ полученных данных показал, что более объективным критерием радоноопасности является величина плотности потока радона, а не его объемная активность.

Исходя из критериев оценки потенциальной радоноопасности высокоточный радоновый мониторинг территории вокруг II секции Сухачёвского хвостохранилища подтвердил её радоноопасность.

Анализ значений плотности потока радона-222 с поверхности территории вокруг хвостохранилища

(табл. 1 и 3) показал, что для снижения радоноопасности поток радона-222 необходимо уменьшить, используя современные технологии изоляции и рекультивации хвостохранилищ.

Реконструкция и перепрофилирование II секции Сухачёвского хвостохранилища возможны при дальнейшем рациональном использовании свободного объёма чаши II секции Сухачёвского хвостохранилища, с учетом радиационной составляющей сбрасываемых отходов.

Список литературы:

1. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97); Державні гігієнічні нормативи ДГН 6.6.1.-6.5.001-98 [Текст] : офіційне видання. – К.: Відділ поліграфії Українського центру держсанепіднагляду МОЗ України, 1998. – 135 с. – (Нормативний документ МОЗ України).
2. Государственная программа приведения опасных объектов производственного объединения «Приднепровский химический завод» (ПО «ПХЗ») в экологически безопасное состояние и обеспечение защиты населения от вредного воздействия ионизирующего излучения», утверждённая постановлением Кабинета Министров Украины от 26.11.2003г. №1846.
3. Солодовникова Л.Н. Метрологическое обеспечение экологических мониторингов радона в Украине. Труды VIII Международной научно-технической конференции «Метрология и измерительная техника» (Метрология-2012) т. II / Л.Н. Солодовникова – Харьков: ННЦ «Институт метрологии». 2012. – 640с. – с. 592–599.
4. Солодовникова Л.Н., Тарасов В.А. Эколого-химические проблемы и радоноопасность отходов при переработке уранового сырья в Украине. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2/11 (62). 2013. – с.24–27.
5. Коваленко Г.Д., Бабаев М.В., Маркина Н.К., Солодовникова Л.Н. «Предварительная экологическая оценка реконструкции и перепрофилирования хвостохранилища» к разработке проекта реконструкции и перепрофилирования II секции хвостохранилища «Сухачевское». Отчёт о НИР №1923/1.8/3853 Харьков.: УкрНИИЭП, 2009. – 87с.
6. Васильев И.А. Шестаков А.А. Итоговый отчёт по проекту МНТЦ КР-715 «Исследование изменений основных экологических показателей территорий, примыкающих к урановому производству в условиях его частичной конверсии». Снежинск.: РФЯЦ – ВНИИТФ, 2006. – 85с.

7. Солодовникова Л.Н., Тарасов В.А. Радоноопасность техногенно-усиленных природных источников ионизирующего излучения. Третья міжнародна конференція «Хімічна та радіаційна безпека: проблеми і рішення». – Київ, 2015 с. – с.42–43.
8. Радиационные критерии для территорий, предназначенных для строительства. Чесанов В.Л., Сорока К.Ю. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури №8 (149)/2010. – с.32–36.
9. WISMUT experience in uranium tailings storage management. Dr. Peter Schmidt, Head Department of Env. Monitoring Radiation Wismut GmbH, Moscow, Oct.31-Nov.2, 2011.

References (transliterated)

1. Likhtarinov I.A., Los I.P., Berkovsky V.B. Normi radlatslynoyi bezpeki Ukrayiny [Radiation Safety Standards of Ukraine]. Kyiv, MOZ Ukrayini, 1998, 135 p.
2. Gosudarstvennaya programma privedeniya opasnykh ob'ektov proizvodstvennogo ob'edineniya «Pridneprovskiy himicheskii zavod» (PO «PHZ») v ekologicheski bezopasnoe sostoyanie i obespechenie zashchity naseleniya ot vrednogo vozdeystviya ioniziruyushchego izlucheniya», utverzhdyonnaya postanovleniem Kabineta Ministrov Ukrainyi ot 26.11.2003 No 1846 [The state program for bringing the hazardous facilities of the Pridneprovsky Chemical Plant (PO PA) into an environmentally safe state and ensuring the protection of the population from the harmful effects of ionizing radiation, approved by resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine on November 26, 2003 No 1846.]. Kyiv, Kabinet Ministrov Ukrainyi, 2003.
3. Solodovnikova L.N. [Metrological support of ecological monitoring of radon in Ukraine]. Trudy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii Metrologiya i izmeritel'naya tehnika (Metrologiya-2012) t. II. [Proceedings of the VIII International Scientific and Technical Conference "Metrology and Measuring

- Technology" (Metrology-2012) t.II]. Kharkiv, NSC "Institute of Metrology", 2012, pp. 592-599.
4. Solodovnikova L.N., Tarasov V.A. Ekologo-himicheskie problemy i radonoopasnost othodov pri pererabotke uranovogo syrya v Ukraine [Ecological and chemical problems and radon hazard of waste during processing of uranium raw materials in Ukraine]. Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy [East-European magazine of advanced technologies], 2013, 2/11 (62), pp. 24-27.
5. Kovalenko G.D., Babaev M.V., Markina N.K., Solodovnikova L.N. Predvaritel'naya ekologicheskaya otsenka rekon-struksii i pereprofilirovaniya hvostohranilischa» k razrabotke proekta rekonstruktsii i pereprofilirovaniya II sektsii hvostohranilischa Suhachevskoe [Preliminary Environmental Assessment of Reconstruction and Conversion of the Tailings Storage Facility" to the development of the project for the reconstruction and re-profiling of the II section of the tailings pond Sukhachevskoe]. Kharkiv, Ukr.NIIEP, Reserch Work Report No 1923/1.8/3853, 2009, p. 87.
6. Vasilev I.A. Shestakov A.A. Itogovyy otchyot po projektu MNTTs KR-715 Issledovanie izmeneniy osnovnykh ekologicheskikh pokazateley territoriy, primykayuschih k uranovomu proizvodstvu v usloviyah ego chastichnoy konversii [Study of changes in the main environmental indicators of territories adjacent to uranium production under conditions of partial conversion]. Snezhinsk, RFNC-VNIITF, 2006, p. 85.
7. Solodovnikova L.N., Tarasov V.A. Radonoopasnost tehnogenno-usilennykh prirodnykh istochnikov ioniziruyushchego izlucheniya. [Radon hazard of technologically-enhanced natural sources of ionizing radiation]. Tret'ya mizhnarodna konferentsiya Himichna i radiatsiynna bezpeka: problemi i rishennya. Kyiv, 2015, pp. 42-43.
8. Chesanov V.L., Soroka K.U. Radiatsionnyye kriterii dlya territoriy, prednaznachennyykh dlya stroitelstva [Radiation criteria for territories intended for construction]. Visnik Pridniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnitstva ta arhitektury No 8 (149)/2010 [Bulletin of Pridneprovsk State Academy of Construction and Architecture №8 (149) / 2010]. Dnipropetrovsk, 2010, pp. 32-36.
9. Peter Schmidt, Dr. WISMUT experience in uranium tailings storage management. Moscow, Head Department of Environmental Monitoring Radiation Wismut GmbH, 2011, Oct.31- Nov.2.

Поступила (received) 23.10.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Особливості оцінки радонебезпеки Сухачівського хвостосховища радіоактивних відходів / Л. М. Солодовнікова, В. О. Тарасов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 81–86. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2220-4784.

Особенности оценки радоноопасности Сухачёвского хвостохранилища радиоактивных отходов / Л. Н. Солодовникова, В. А. Тарасов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 81–86. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2220-4784.

The peculiarities of assessing the radon hazard of the Sukhachev tailing dump of radioactive wastes / L. N. Solodovnikova, V. A. Tarasov // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI». 2017. – № 41(1263). – P. 81–86. – Bibliogr.: 9 titles. – ISSN 2220-4784.

Відомості про авторів/ Сведения об авторах/ About the Authors

Солодовнікова Лідія Миколаївна – Державна наукова установа «Науково-технологічний комплекс «Інститут монокристалів» Національної академії наук України»; завідувач відділу екології; тел. (050) 295-26-43; e-mail: lidy@ukr.net

Солодовникова Лидия Николаевна – Государственное научное учреждение «Научно-технологический комплекс «Институт монокристаллов» Национальной академии наук Украины»; заведующий отделом экологии; тел. (050) 295-26-43; e-mail: lidy@ukr.net

Solodovnikova Lidiya Nikolaevna – State scientific institution «Scientific and technological complex» «Institute for single crystals» National academy of science of Ukraine»; Head of the Department of Environment; tel. (050) 295-26-43; e-mail: lidy@ukr.net

Тарасов Володимир Олексійович – Інститут сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України, д.ф.-м.н. завідувач відділу сцинтиляційної радіометрії; тел. (057) 341-03-92; e-mail: tarasov@isk.kharkov.com

Тарасов Владимир Алексеевич – Інститут сцинтилляционных материалов Национальной академии наук Украины; д.ф.-м.н. заведующий отделом сцинтилляционной радиометрии; тел. (057) 341-03-92; e-mail: tarasov@isk.kharkov.com

Tarasov Volodymyr Alekseevich – Institute for scintillation materials of National academy of science of Ukraine; D.Sc. Head of Department of scintillation radiometry; tel. (057) 341-03-92; e-mail: tarasov@isk.kharkov.com

УДК 543.544:663.81

О. Ф. АКСЬОНОВА, С. І. БУХКАЛО, Є. Б. СОКОЛОВА, А. Г. АБАБОВА, А. В. ДУДА**ВИЗНАЧЕННЯ ОКРЕМИХ ПАРАМЕТРІВ ХАРЧОВОЇ БЕЗПЕКИ У ПАКЕТОВАНИХ ФРУКТОВО-ЯГІДНИХ СОКАХ**

Методом прямої потенціометрії визначено один з параметрів харчової безпеки (вміст нітратів) у пакетованих фруктових-ягідних соках вітчизняного виробництва торгівельних марок «Агуша», «Чудо-чадо», «Карпуз», «KidsRich», «Джусік», що рекомендовані у якості дитячого харчування. Вимірювання нітрат-іонів проводилися на фоні алюмокалієвих квасців, що додавалися безпосередньо у зразок перед вимірюванням. З проведених експериментальних досліджень встановлено, що вміст нітратів в усіх зразках не перевищує допустимі норми.

Ключові слова: характеристика харчової безпеки, соки, нітрати, пряма потенціометрія.

Методом прямої потенціометрії определен один из параметров пищевой безопасности (содержание нитратов) в пакетированных фруктово-ягодных соках отечественного производства торговых марок «Агуша», «Чудо-чадо», «Карпуз», «KidsRich», «Джусик», которые рекомендованы в качестве детского питания. Измерения нитрат-ионов проводились на фоне алюмокалиевых квасцов, которые добавлялись непосредственно в образец перед измерением. Из проведенных экспериментальных исследований установлено, что содержание нитратов во всех образцах не превышает допустимые нормы.

Ключевые слова: характеристика пищевой безопасности, соки, нитрати, прямая потенциометрия.

Issues of food safety, especially in the field of food products for children, require special attention. Fruit juices are a useful food product that contains a complex of vitamins and minerals. Juices are recommended to be used as the first supplement for infants and in the diet of older children. Since juices are made from plant material, there is the risk that they contain nitrate ions, which, at high concentrations, adversely affect the human body. As people get nitrates and nitrites, from different sources (drinking water, various foods), scientists say that it is necessary to take into account the total exposure of these compounds to the body, especially when it comes to infant nutrition. That is why it is necessary and actual to control these food products with respect to the content of nitrates. By the method of direct potentiometry, parameters of food safety (nitrate content) in fruit and berry juices of domestic production of «Agusha», «Chudo-child», «Karapuz», «Kids Rich», «Jusik», which are recommended as a baby food, are determined by direct potentiometry. Measurements of nitrate ions were carried out against a background of alum-alkali alums, which were added directly to the sample before measurement. It is determined that the content of nitrates in all samples does not exceed the permissible standards. All packaged fruit juices comply with food safety requirements and can be used for baby food.

Keywords: characteristics of food safety, juices, nitrates, direct potentiometry.

Вступ. Останнім часом питання харчової безпеки, особливо в області виробництва харчових продуктів для дітей потребують особливої уваги. Фруктово-ягідні соки – це корисний харчовий продукт, що містить цілий комплекс вітамінів та мінералів. Соки рекомендовано використовувати в якості першого прикорму для немовлят і у раціонах дітей старшого віку. Оскільки соки виготовляються із рослинної сировини, є ризик, що вони містять нітрат-іони, які за високих концентрацій негативно впливають на організм людини. Нітрати та нітриди головним чином потрапляють до людського організму разом із овочами, де ці речовини присутні природним чином. В якості ще одного джерела нітратів може назвати природну воду. Крім того, нітрати містяться у харчових продуктах, до яких їх вносять під час виробництва, як харчові добавки. Нітрати калію та натрію використовують у якості консервантів та антимікробних препаратів, оскільки нітрати та нітриди дозволяють зберегти аромат та колір, зумовлюють антимікробний ефект (особливо проти *Clostridium botulinum*). Нітрати та нітриди можуть бути присутні у сирому та переробленому м'ясі, молочних продуктах, рибі та рибних продуктах, а іноді навіть у спиртних напоях та лікерах. Нітрати та нітриди є небажаними сполуками у харчових продуктах. Безпосередньо нітрат-іони є нетоксичними, але вони легко перетворюються у шкідливі нітрит-іони шляхом мікробного. Нітриди можуть взаємодіяти із гемоглобіном, утворюючи метгемоглобін шляхом окиснення Fe^{+2} до стану Fe^{+3} .

Цей стан, який називається метгемоглобінемія («bluebaby syndrome»), є дуже небезпечним, особливо у немовлят, оскільки пов'язаний із ускладненнями дихання. Оскільки людина отримує нітрати та нітриди, як вже було зазначено із різних джерел, вчені говорять про необхідність враховувати сумарні потрапляння цих сполук до організму, особливо, коли мова йде про дитяче харчування. Саме тому необхідним і актуальним є контроль цих харчових продуктів щодо вмісту нітратів.

Аналіз останніх досліджень та літератури. Визнано, що наявність нітратів в харчовій сировині та харчових продуктах являє собою велику загрозу для здоров'я людини. Сучасні дослідження показують, що нітрати не несуть загрози самі по собі, оскільки вони дуже стабільні та нетоксичні, але вони стають шкідливими, коли в наслідок певних процесів перетворюються на нітриди. Приблизно 25% нітратів, що вживає людина разом із їжею та водою секретується у слині і біля 20% нітрату слинної секреції після цього перетворюється в нітрит мікроорганізмами в ротовій порожнині. Таким чином, для від 5 до 7% нітратів, що середня людина вживає із їжею перетворюється на нітриди у слині [1]. Єдиним доведеним негативним ефектом на сьогодні є небезпека надлишку нітратів/нітридів в раціонах дітей у віці до 12 місяців або дорослих людей із генетичною вадами. Перша міжнародна оцінка ризиків, пов'язаних із вживанням нітратів та нітридів була проведена Об'єднаним комітетом експертів ФАО/ВОЗ по харчовим добавкам (JECFA) у 1961 році.

Науковий комітет по продовольству (SCF) двічі у 1990 та у 1995 роках вивчав токсикологічний вплив нітратів та нітритів на людський організм та встановив норматив, який має назву «прийнятний щоденний прийом» (ADI) 0–3,7 мг/кг маси тіла для нітратів. Для нітритів у 1995 році було встановлено ADI 0–0,06 мг/кг маси тіла для нітриту. У 2002 році JECFA підтвердило ADI 0–3,7 мг/кг для нітратів та встановив 0–0,07 мг/кг. для нітритів. Але в нормативних документах JECFA стосовно нітратів та нітритів зазначено, що ADI не розповсюджується на дітей молодше 3 місяців [2].

Для немовлят та дітей є ризик перевищення показника ADI, оскільки кількість їжі, що вживає дитина на кілограм ваги є більшою, ніж у дорослої людини. Тому важливо визначити та враховувати параметри щоденного споживання нітратів та нітритів із різними продуктами, включаючи фруктові-ягідні соки, щоб запобігти негативного впливу нітратів та уникнути пов'язаного із цим ризику виникнення метгемоглобемії, оскільки цей стан може призвести навіть до летального результату. Немовлята є дуже чутливими до цього типу патології, який, як вже було зазначено вище, відомий як «blue baby syndrome», на відміну від дорослих, які більш захищені від низького рН, який встановлюється у шлунку внаслідок відновлення нітратів у нітрити за участю bacteria Nitrites. Нітрити, які є більш нестійкими, ніж нітрати, реагують із гемоглобіном із утворенням метгемоглобіна. Присутність нітритів може також спровокувати утворення різних N-нітрозосполук (нітрозамінів та нітрозамідів) шляхом взаємодії із вторинними амінами та амідами, які входять до харчових систем. Ці процеси можуть відбуватися, як під час вживання нітритів так і нітратів, які завдяки присутності слини можуть перетворюватися на нітрити [3;4].

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

У Європейському Союзі норми вмісту нітратів в овочевій продукції регламентує регула ЕК №1258/2011. Згідно з цим документом встановлюються максимально допустимі кількості нітратів у шпинаті, качанному і листяному салатах, у хрусткому салаті (типу «айсберг»), у руколі. В огірках, томатах, зеленій цибулі, кавуні, дині й інших овочах, баштанних культурах вміст нітратів у Євросоюзі не лімітується. У країнах СНД для дорослої людини допустима добова доза нітратів становить 300–325 мг. Для дітей її визначають із розрахунку 5 мг на 1 кг маси тіла [6]. Овочі та фрукти, а також продукти харчування на їх основі є необхідною складовою дитячих раціонів, тому дослідження харчової безпеки продуктів для дітей викликають велику цікавість, тим більше, що таких досліджень останнім часом проводиться обмежена кількість. Авторами [5] були проведені дослідження щодо визначення вмісту нітратів та нітритів у 20 об'єктах, які позиціонувалися, як овочеві та фруктові

продукти для дитячого харчування (Ізмір, Туреччина. Концентрація нітратів коливалася від 3,32 до 99,73 мг/кг. Концентрація нітритів у зразках сягала 30,09 мг/кг. Було встановлено, що вміст нітратів у усіх зразках нижче, ніж встановлено законодавством.

Рівні вмісту нітратів (медіана = 60,4 мг/кг (ваги) на добу), виявлені в дитячих харчових продуктах рослинного походження регіону Валенсія (Іспанія), у всіх випадках нижче максимального рівня, запропонованого законодавством Європейського Союзу. Таким чином, очікуване щоденне споживання нітратів через дитяче харчування для немовлят віком від 0 до 1 року і 1–2 років становило відповідно 13% та 18% прийнятного добового споживання [7]. В роботі [8] на основі методу ВЕРХ було розроблено власну методику та проаналізовано зразки дитячого харчування в тому числі органічного, включаючи продукти на основі овочів, фруктові пюре та фруктові соки (n = 80). Вміст нітратів становив від 5 до 230 мг/кг із середньою концентрацією 102 мг/кг для дитячих харчових продуктів на основі рослинної сировини та середньою масою 5 мг/кг для фруктових пюре та соків. Лише один зразок овочевого дитячого харчування містив нітратів більше, ніж це було встановлено законодавством (200 мг/кг). Не було виявлено суттєвих відмінностей між середніми рівнями нітратів у аналізованих зразках, це стосується продуктів маркованих, як "органічні" так і без цього маркування. Розрахункове споживання нітратів із дитячою їжею для середньої концентрації нітратів у 47 мг/кг становило від 0,5 (15% ADI) до 1,3 мг/кг на добу (35% ADI).

Слід відзначити, що для виробництва фруктових-ягідних соків використовують сировину [9–12], яку залежно від ботанічних особливостей поділяють на: плоди – 1) сім'якові: яблука, груші, айва; 2) кісточкові: вишня, черешня, абрикоси, персики, слива, кизил; 3) тропічні і субтропічні; та ягоди – 4) справжні: виноград, смородина, журавлина, агрус, брусниця; 5) складні: малина і ожина; 6) ложні: суниця.

Вибір сировини проводять для кожної місцевості залежно від сорту, умов вирощування, кліматичних і ґрунтових умов регіону, агробіологічних і хіміко-технологічних її показників, способу доставки і зберігання. У процесі визрівання плодово-ягідної сировини безперервно змінюється будова рослинної тканини і її хімічний склад: у плодах накопичуються ароматичні і барвникові речовини, зменшується кількість кислот, протопектин переходить у пектин, тканина плоду стає менш грубою і більш доступною для харчування людини.

Характерними ознаками зрілості є розміри плоду, кольори, смак і аромат, питома маса, консистенція, розвиток насіння і інші показники. Розрізняють три стадії зрілості для плодовоовочевої сировини: споживна – сировина найбільш придатна для використання до їжі; технічна – забезпечує найкращу якість виготовлених з неї продуктів; фізіологічна – наявність у сировині зрілого насіння.

Плодово-ягідна сировина (табл. 1), речовин (4–25 %), дуже багата на поживні незважаючи на порівняно невеликий вміст сухих речовини.

Таблиця 1. Хімічний склад (%) і енергетична цінність (ЕЦ) плодово-ягідної сировини

Сировина	Вода	Вуглеводи	Білки	Вітамін С, мг%	Зола, %	ЕЦ, кДж
Абрикос	86,0	10,5	0,9	10	0,7	192
Вишня	85,5	11,3	0,8	15	0,6	205
Груша	87,5	10,7	0,4	5	0,7	176
Слива	87,0	9,9	0,8	10	0,5	180
Яблуко	86,0	11,3	0,4	13	0,5	192
Апельсин	87,5	8,4	0,9	60	0,5	159
Виноград	80,2	17,5	0,4	6	0,4	289
Клюква	89,5	4,8	0,5	15	0,3	117
Обліпіха без кісток	75,0	5,5	0,9	200	0,7	126
Шиповник	66,0	24,0	1,6	470	2,2	423

Плодово-ягідні соки отримують з плодів або ягід віджимом або дифузєю і використовують у якості натуральних соків та напоїв, виробництві безалкогольних газованих напоїв, сидру, желе, сиропів і ін. У виробництві плодових і овочевих соків для їх відокремлення від м'якоті використовують преси та екстрактори. Консервовані соки класифікують за основними типами: натуральні – отримують з одного виду сировини, без додавання інших соків, цукру, консервантів; купажовані – отримують додаванням інших видів сировини або купажуванням різних сортів такого ж виду сировини; з цукром – для зм'ягчення кислого смаку соків, для соків без м'якоті або з цукровим сиропом – для соків з м'якоттю для надання такому продукту консистенції напою; фруктові напої – виготовляють з двох-чотирьох видів плодових соків (30 – 50 %) з додаванням цукрового сиропу невеликої концентрації; концентрати – згущені соки, отримані з натуральних шляхом видалення частки води; та інші.

Соки без м'якоті поділяють на освітлені прозорі і неосвітлені: освітлений сік – це густа прозора рідина, для якої допускається наявність ущільненого осаду з пектинових і білкових речовин або кристалів винного камню (кисла виннокам'яна сіль); неосвітлений сік – це в'язкий непрозорий продукт рідкої консистенції. До сировини пред'являють наступні вимоги: свіжа з приємним смаком і красивим забарвленням; без гнилі і плісняви; технічної стадії зрілості і ін. Вміст соку у м'якоті плодів (С) визначають з відношення сухих речовин (або кислотності) плодів (a_1) і віджатого соку (a_2): $C = (a_1 / a_2) \cdot 100$, %. Фізико-хімічні властивості плодових соків (табл. 2) складаються з таких показників: 1 – масова частка сухих речовин (%; не менше); 2 – титруєма кислотність (у перерахунку на яблучну, %, не менше); 3 – масова доля осаду білкових і пектинових речовин (%; не більше); 4 – масова доля сорбінової кислоти (%; не більше).

Таблиця 2. Фізико-хімічні показники плодових соків

Сік	1	2	3	4
Яблучний освітлений	70	2,5	0,5	0,1
Яблучний неосвітлений	55	2,0	1,0	0,1
Виноградний	70	1,	–	0,1
Вишневий	70	5,0	–	0,1
Клюквенний	54	15,0	–	0,1

Плодові соки це складні полідисперсні системи, які складаються з крупних і дрібних завислих часток; а також – колоїдно-, молекулярно- і іоннорозчинні речовини. Крупні частки швидко осідають і легко видаляються механічною дією – сепаруванням, відстоюванням, грубим фільтруванням і ін. Дрібні частки і колоїдно-розчинні речовини – пектин, дубильні, барвникові і інші речовини – обумовлюють мутність соку і потребують спеціальних методів для їх видалення, які руйнують або осаджують колоїдні речовини.

При виготовленні неосвітлених соків застосовують тільки очистку, а при виготовленні освітлених соків додатково ще застосовують спеціальні методи для освітлення – ферментний і фізико-хімічний. Освітлення соків проводять з наступними цілями: попереднє освітлення для облегшення проведення процесів видалення завислих часток м'якоті у сепараторі; видалення речовин, які приводять до подальшого помутніння; поліпшення органолептичних властивостей продукту. На ефект освітлення має вплив доза і властивості освітлюючих речовин, а також рН соку і його температура. Більш висока кислотність соку підвищує ефект освітлення при однакових дозах освітлюючих речовин, а температуру треба підтримувати на постійному рівні для скорішого осаджування зависі.

До складу колоїдних часток соку, які дають мутність, входять пектинові речовини – захисні колоїди для завислих часток, крохмаль, білки, поліфенольні сполуки і інші. Освітлення соку ферментами проводять періодичним або безперервним способом з застосуванням пектолітичних ферментів (0,01 – 0,03 % від маси соку), які деполімерізують пектин, і амілолітичних ферментів, які розщеплюють крохмаль. Процес освітлення проводять 2 – 3 ч при температурі 18 – 20 °С або 1 ч при 40 – 45 °С у ферментерах або збірниках з мішалкою закритих і с термоізоляцією.

Для освітлення соків застосовують миттєве нагрівання до температури 80 – 90 °С, витримку при такій температурі 1 хв., швидке охолодження до температури 35 – 40 °С і сепарування.

Нагрівання можна поєднувати з іншими способами освітлення, що приводить до збільшення коагуляції білкових речовин, порушення стійкості колоїдної системи і перехід колоїдів у осад. Процес проводять на пластичастих пастеризаторах-охолоджувачах або у трубчастих трьохсекційних підігрівачах.

За методом консервування соки поділяють на: пастеризовані, холодного зберігання і асептичного консервування. Кількість осаду у плодово-ягідних соках визначають висушуванням на фільтрі нерозчинених у 100 см³ соку речовин до постійної маси при температурі 100 – 105 °С. Для соків з м'якоттю, її вміст визначають центрифугуванням 10 г суміші у спеціальних пробірках протягом 20 хв. при частоті обертання 1500 хв⁻¹ з наступним ваговим визначенням кількості м'якоті в осаді.

Дослідження продуктів дитячого харчування, щодо показників харчової безпеки є актуальним через низький рівень продовольчої безпеки в Україні. Тому дослідження фруктово-ягідних соків щодо виявлення рівнів вмісту нітратів є своєчасним та важливим. Проведені дослідження показують, що у продуктах дитячого харчування вміст нітратів знаходиться у межах, визначених законодавством, але для більш детального коригування раціонів дітей необхідно знати фактичний вміст нітратів у найбільш популярних продуктах, до яких належать фруктово-ягідні соки, для врахування можливих ризиків отруєння нітратами через сумарне споживання цих контамінантів не тільки із соками а з усіма продуктами, що потрапляють до організму.

Мета і постановка задачі дослідження. Метою роботи було дослідження показників харчової безпеки, зокрема вмісту нітратів у пакетованих фруктово-ягідних соках вітчизняного виробництва найбільш популярних торговельних марок «Агуша», «Чудо-чадо», «Карапуз», «KidsRich», «Джусік», що рекомендовані для дитячого харчування за допомогою методу прямої потенціометрії із використанням іонселективного електрода.

Матеріали та методи дослідження. В дослідженнях використовували 0,1М розчин калій нітрату в якості основного розчину, з якого у подальшому готували розчини із концентраціями 0,01; 0,001; 0,0001 моль/дм³. Також було використано квасці алюмокалієві (ч.д.а) та 1% розчин алюмокалієвих квасців. Аналіз на вміст нітратів проводився в електрохімічній комірці без переносу методом прямої потенціометрії за загальноприйнятою методикою [6]. В якості індикаторного електрода використовувався нітрат-селективний електрод з ПВХ-мембраною ЕЛІС-121, електродом порівняння був хлорсрібний електрод.

Хід аналізу включав приготування 1 л 1% розчину алюмокалієвих квасців, який було використано в якості фоновому електроліту при калібрування нітрат-селективного електрода для того, щоб врахувати вплив сульфат-іонів на значення рівноважного потенціалу нітрат-селективного електрода. Калібрування нітрат-селективного

електрода проходило наступним чином: готували стандартні розчини калій нітрату. Для цього на аналітичних вагах відбирали точну наважку калій нітрату масою 1,011 г, переносили її в мірну колбу ємністю 100,0 мл, додавали спочатку 40-50 мл 1% розчину алюмокалієвих квасців, а після розчинення наважки доводили до мітки тим же розчином квасців. Концентрація цього вихідного стандартного розчину дорівнює 0,1 моль/дм³. Кожен наступний стандартний розчин для калібрувального графіку готували шляхом послідовного розведення попереднього розчину в 10 разів. Для побудови калібрувального графіка промивали електроди дистильованою водою, а потім витримували їх в розчині квасців 5–10 хв. Потім висушували електроди фільтрованим папером і опускали їх в стандартний розчин з відомою концентрацією нітрату калію: 0,0001 моль/дм³. Проводили вимірювання рівноважного потенціалу на нітрат-селективному електроді. Аналогічно проводили вимірювання рівноважного потенціалу в стандартних розчинах з іншими концентраціями нітрат - іонів. За визначеними значеннями будували калібрувальні графіки в координатах E , мВ (рівноважний потенціал) – $\lg C$. Після побудови калібрувального графіка було визначено потенціал нітрат-селективного електрода в досліджуваних зразках фруктово-ягідних соків, до 100г яких перед вимірюванням додавали 1г алюмокалієвих квасців. За допомогою калібрувального графіка визначали концентрації нітрат-іона у зразках пакетованих фруктово-ягідних соків.

Результати досліджень. Всі досліджувані зразки пакетованих фруктово-ягідних соків належать до середнього цінового сегменту, та є доступними широкому колу споживачів, які виготовляються із рослинної сировини вітчизняного виробництва. Враховуючи ці переваги фруктово-ягідні соки «Агуша», «Чудо-чадо», «Карапуз», «Джусік» можна вважати одними з найбільш популярних харчових продуктів, що позиціонуються, як продукти дитячого призначення. Крім соків було проаналізовано нектар «KidsRich» (яблуко, виноград, ябина, малина). Вміст нітратів у ньому складає 5,2 мг/кг. Дані, щодо дослідження вмісту нітрат-іонів у зразках пакетованих фруктово-ягідних соках наведено у табл. 3: 1 – ТМ «Агуша», грушевий сік; 2 – ТМ «Чудо-чадо», сік яблуко-вишня; 3 – ТМ «Чудо-чадо», сік яблуко-вишня; 4 – ТМ «Джусік», виноград-яблуко.

Таблиця 3. Результати кулонометричного визначення вмісту нітрат-іонів

Назва показника	Зразки			
	1	2	3	4
Вміст нітрат-іонів, (мг/кг)	5,9	10,8	6,0	3,2

Визначення вмісту нітрат-іонів дозволить скоригувати раціони, зокрема раціони дітей та

немовлят, для запобігання потрапляння до організму зависоких, а тому й небезпечних кількостей нітратів.

Висновки та перспективи досліджень.

Питання безпечності харчових продуктів, особливо в галузі харчових продуктів для дітей, потребують особливої уваги. Фруктові соки є корисним харчовим продуктом, який містить комплекс вітамінів і мінералів. Соки рекомендовано використовувати як перше доповнення для немовлят та діти старших дітей. Оскільки соки виготовляються із рослинного матеріалу, існує ризик того, що вони містять іони нітрату, які при високих концентраціях негативно впливають на організм людини. Для галузі вироблення дитячих соків з плодово-ягідної сировини є декілька напрямків інтенсифікації виробництва:

- розвинення технології безвідходної комплексної переробки сировини з метою максимального здобування корисних речовин з неї;

- асептичне консервування – переробку і фасування напівфабрикатів у дрібну тару проводять у районах споживання;

- втілення у виробництво сучасних комплектних ліній і обладнання підвищеної потужності з максимальною механізацією і автоматизацією технологічних процесів;

- розширення застосування нових видів тари і пакування для продуктів і ін.

Отримані експериментальні дані свідчать про таке: всі пакетовані фруктові-ягідні соки відповідають вимогам щодо харчової безпеки та можуть бути використані для дитячого харчування.

Але треба зазначити, що під час складання дитячих раціонів треба враховувати сумарний вміст нітратів та нітритів, що входять до складу всіх продуктів, які вживаються дитиною. Тому контроль якості харчових продуктів і особливо харчових продуктів для дітей є важливою та актуальною задачею.

Список літератури:

1. Chan T. Y. K. Vegetable-borne nitrate and nitrite and the risk of methaemoglobinaemia [Text] / T. Y. K. Chan // *Toxicology Letters*. 2011. – V. 200. – P. 107–108.
2. Opinion SCF. Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the European Commission to perform a scientific risk assessment on nitrate in vegetables // *The EFSA Journal*. 2008. – V. 689. – P. 1–79.
3. Gangolli S. D. Assessment of nitrate, nitrite, and N-nitroso compounds [Text] / S. D. Gangolli, P. Van DenBrandt, V. Feron, C. Janzowsky, J. Koeman, G. Speijers, J. Wishnok // *European Journal of Pharmacology: Environmental Toxicology and Pharmacology*. 1994. – V. 292. – P. 1–38.
4. Pannala A. S. The effect of dietary nitrate on salivary, plasma, and urinary nitrate metabolism in humans [Text] / A. S. Pannala, A. R. Mani, J. P. E. Spencer, V. Skinner, K. R. Bruckdorfer, K. P. Moore, C. A. Rice-Evans // *Free Radical Biology and Medicine*. 2003. – V. 34. – P. 576–584.
5. Ozdestan O. Nitrate and nitrite contents of baby foods / O. Ozdestan, A. Uren // *AkademikGida*. 2012. – V. 10. – P. 11–18.
6. Дубініна А. А. Токсичні речовини і методи їх визначення [Текст] / А. А. Дубініна [та ін.]. – Х.: ХДУХТ, 2016. – 106 с.
7. Pardo-Marin O. Monitoring programme on nitrates in vegetables and vegetable-based baby foods marketed in the Region of Valencia, Spain: Levels and estimated daily intake / O. Pardo-Marin, V. Yusa-Pelecha, P. Villalba-Martin, J. A. Perez-Dasi // *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2010. – V. 27. – P. 478–486.
8. Vasco E. R. Occurrence and infant exposure assessment of nitrates in baby foods marketed in the region of Lisbon, Portugal [Text] / E. R. Vasco, P. C. Alvito // *Food Additives and Contaminants: Part B*. 2011. – V. 4. – P. 218–225.
9. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О. та ін.. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах та задачах. Підручник

з грифом МОНУ: – Київ: Центр учбової літератури, 2011. – 832 с.

10. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості: тестові завдання (підручник з грифом МОН України), Київ: Центр учбової літератури, 2014. – 412 с.
11. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості: інноваційні заходи (підручник з грифом МОН України), Київ: Центр учбової літератури, 2014. – 456 с.
12. Товажнянський Л.Л., Капустенко П.О., Ведь В.Є. Бухкало С.І. Напрямки розвитку Української асоціації хімічної і харчової інженерії // *Вісник НТУ «ХП»*. – Х.: НТУ «ХП», 2017. – Вип. 18(1240). – С. 3–8.

Bibliography (transliterated):

1. Chan T. Y. K. Vegetable-borne nitrate and nitrite and the risk of methaemoglobinaemia [Text] / T. Y. K. Chan // *Toxicology Letters*. 2011. – V. 200. – P. 107–108.
2. Opinion SCF. Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the European Commission to perform a scientific risk assessment on nitrate in vegetables // *The EFSA Journal*. 2008. – V. 689. – P. 1–79.
3. Gangolli S. D. Assessment of nitrate, nitrite, and N-nitroso compounds [Text] / S. D. Gangolli, P. Van DenBrandt, V. Feron, C. Janzowsky, J. Koeman, G. Speijers, J. Wishnok // *European Journal of Pharmacology: Environmental Toxicology and Pharmacology*. 1994. – V. 292. – P. 1–38.
4. Pannala A. S. The effect of dietary nitrate on salivary, plasma, and urinary nitrate metabolism in humans [Text] / A. S. Pannala, A. R. Mani, J. P. E. Spencer, V. Skinner, K. R. Bruckdorfer, K. P. Moore, C. A. Rice-Evans // *Free Radical Biology and Medicine*. 2003. – V. 34. – P. 576–584.
5. Ozdestan O. Nitrate and nitrite contents of baby foods / O. Ozdestan, A. Uren // *AkademikGida*. 2012. – V. 10. – P. 11–18.
6. Dubinina A. A. Toksichni rehovini i metodi ih viznachennja [Tekst] / A. A. Dubinina [ta in.]. – H.: HDUHT, 2016. – 106 p.
7. Pardo-Marin O. Monitoring programme on nitrates in vegetables and vegetable-based baby foods marketed in the Region of Valencia, Spain: Levels and estimated daily intake / O. Pardo-Marin, V. Yusa-Pelecha, P. Villalba-

- Martin, J. A. Perez-Dasi // Food Additives & Contaminants: Part A. 2010. – V. 27. – P. 478–486.
8. Vasco E. R. Occurrence and infant exposure assessment of nitrates in baby foods marketed in the region of Lisbon, Portugal [Text] / E. R. Vasco, P. C. Alvito // Food Additives and Contaminants: Part B. 2011. – V. 4. – P. 218–225.
9. *Tovazhnjans'kij L.L., Buhkalo S.I., Kapustenko P.O. ta in.. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah ta zadachah. Pidruchnik z grifom MONU: – Kіiv: Centr uchbovoї literaturi, 2011. – 832 p.*
10. *Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti: testovi zavdannja (pidruchnik z grifom MON Ukraїni), Kіiv: Centr uchbovoї literaturi, 2014. – 412 p.*
11. *Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti: innovacijni zahodi (pidruchnik z grifom MON Ukraїni), Kіiv: Centr uchbovoї literaturi, 2014. – 456 p.*
12. *Tovazhnjans'kij L.L., Kapustenko P.O., Ved' V.C. Buhkalo S.I. Naprjamki rozvitku Ukraїns'koї asociacii himichnoї i harchovoї inzhenerii // Visnik NTU «HPI». – H.: NTU «HPI», 2017. – Vip. 18(1240). – P. 3–8.*

Поступила (received) 23.10.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Визначення окремих параметрів харчової безпеки у пакетованих фруктових соках / О. Ф. Аксьонова, С. І. Бухкало, Є. Б. Соколова, А. Г. Абабова, А. В. Дуда // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 87–92. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2220-4784.

Определение отдельных параметров пищевой безопасности в пакетированных фруктовых соках / О. Ф. Аксенова, С. И. Бухкало, Е. Б. Соколова, А. Г. Абабова, А. В. Дуда // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 87–92. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2220-4784.

Determination of food safety parameters in packaged fruit and berry juices / O. F. Aksenova, S. I. Bukhkalov, E. B. Sokolova, A. G. Ababova, A. V. Duda // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students's scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 41(1263). – p. 87–92. Bibliog.:12 titles. – ISSN 2220-4784.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Аксьонова Олена Федорівна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків; тел.: (050) 576-40-56; e-mail: aksenova@hduht.edu.ua

Aksonova Olena Fedorivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Associate Professor at the Department of Chemistry, Microbiology and Hygiene of Food; tel.: (050) 576-40-56; e-mail: aksenova@hduht.edu.ua

Аксёнова Елена Федоровна – кандидат технических наук, доцент, Харьковский государственный университет питания и торговли, г. Харьков; тел.: (050) 576-40-56; e-mail: aksenova@hduht.edu.ua

Бухкало Світлана Іванівна – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», тел.: +380673010613; e-mail: bis.khr@gmail.com

Bukhkalov Svetlana Ivanovna – Phd, candidate of technical sciences, Professor, Department of Integrated technologies, processes and apparatus National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel. : +380673010613; e-mail: bis.khr@gmail.com

Бухкало Светлана Ивановна – кандидат технических наук, профессор кафедры интегрированных технологий, процессов и аппаратов, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», тел.: +380673010613; e-mail: bis.khr@gmail.com

Соколова Євгенія Борисівна – старший викладач, Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків; тел.: (099) 683-34-71; e-mail: evgenia-sokolova@ukr.net

Sokolova Evgenia Borisovna – senior lecturer, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Department of commodity science, quality management and ecological safety; tel.: (099) 683-34-71; e-mail: evgenia-sokolova@ukr.net

Соколова Евгения Борисовна – старший преподаватель, Харьковский государственный университет питания и торговли, г. Харьков; тел.: (099) 683-34-71; e-mail: evgenia-sokolova@ukr.net

Абабова Аліна Геннадіївна – асистент, Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків; тел.: (099) 107-97-02; e-mail: alina_ababova@ukr.net

Ababova Alina Gennadyivna – assistant, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Department of commodity science, quality management and ecological safety; tel.: (099) 107-97-02; e-mail: alina_ababova@ukr.net

Абабова Алина Геннадиевна – ассистент, Харьковский государственный университет питания и торговли, г. Харьков; тел.: (050) 576-40-56; e-mail: aksenova@hduht.edu.ua

Дуда Анна Валеріївна – студентка ФУТПМД, Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків; тел.: 057 3494531; e-mail: dekanat_tovaroved@ukr.net

Duda Anna Valeriivna – student (Faculty of Managing Commercial, Business and Customs Activities), Kharkiv State University of Food Technology and Trade, tel.: (050) 576-40-56; e-mail: aksenova@hduht.edu.ua

Дуда Анна Валерьевна – студентка ФУТПМД, Харьковский государственный университет питания и торговли, г. Харьков; тел.: 057 3494531; e-mail: dekanat_tovaroved@ukr.net

УДК 691.175.2

**А. І. КАРЄВ, Ю. М. ДАНЧЕНКО, Д. Г. ЯВОРСЬКА, В. В. ЛЕБЕДЄВ, О. Г. ТРОШИН,
С. І. ЗАВІНСЬКИЙ**

КИСЛОТНО-ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНІ ОРГАНІЧНИХ НАПОВНЮВАЧІВ ДЛЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

В статті наведені дослідження хімічного складу та потенціометричних досліджень кислотно-основних властивостей поверхні наповнювачів, на основі яких можна стверджувати, що загальна кислотність поверхні наповнювачів рослинного походження у більшій мірі залежить від сумарного вмісту основних компонентів. Встановлено, що при збільшенні суми основних компонентів целюлози і лігніну, поверхнева кислотність частинок наповнювачів зростає.

Ключові слова: наповнювач, кислотно-основні властивості, властивості, полімерні матеріали.

В статье приведены исследования химического состава и потенциометрических исследований кислотно-основных свойств поверхности наполнителей, на основе которых можно утверждать, что общая кислотность поверхности наполнителей растительного происхождения в большей степени зависит от суммарного содержания основных компонентов. Установлено, что при увеличении суммы основных компонентов целлюлозы и лигнина, поверхностная кислотность частиц наполнителей растёт.

Ключевые слова:

Ключевые слова: наполнитель, кислотно-основные свойства, свойства, полимерные материалы.

The article deals with the study of the chemical composition and potentiometric studies of the acid-base properties of the surface of the filler, on the basis of which it can be argued that the total acidity of the surface of vegetable fillers depends to a greater extent on the total content of the main components. It was established that when the sum of the main components of cellulose and lignin is increased, the surface acidity of the filler particles increases.

Keywords: filler, acid-basic properties, properties, polymer materials.

Вступ.

Полімерні матеріали відіграють важливу роль в житті кожної людини. З кожним роком їх виробництво збільшується. Однак обмеженість ресурсів і високі ціни на нафту, призводять до підвищення вартості багатьох полімерних матеріалів. Виходячи з цього, виникає потреба пошуку нових шляхів подальшого розвитку полімерної промисловості. Тому особливе значення надається кількісному і якісному використанню наповнювачів, для виробництва нових полімерних композиційних матеріалів (ПКМ).

В даний час широке розповсюдження на світовому ринку отримали деревно-полімерні композити (ДПК), основу яких складають термопластичні полімери та органічні целюлозовмістні наповнювачі (деревне борошно та ін.). До основних компонентів додаються мінеральні наповнювачі, а також апретуючі речовини [1].

Постановка проблеми у загальному вигляді

У ролі термопластичного зв'язуючого використовуються такі полімери як полівінілхлорид (ПВХ), поліетилен (ПЕ), поліпропілен (ПП), полістирол (ПС) та ін. Термопластичні полімери самі по собі мають властивості задовільняючі різним вимогам, проте можливість зниження цін на вироблену продукцію, а в деяких випадках і поліпшення властивостей, зумовило широке використання наповнювачів. Для виробництва ДПК, також використовуються вторинні полімери, тим самим вирішуючи завдання раціонального використання полімерних відходів [2].

Органічні і неорганічні наповнювачі у виробництві ДПК використовуються у дисперсному вигляді. До числа найважливіших вимог, що

пред'являються до дисперсних наповнювачів при виробництві ДПК, відносяться здатність поєднуватися з полімером і диспергуватися в ньому, задовільна змочуваність розплавом полімеру, відсутність схильності до агломерації частинок, а також низька вологість (як правило, необхідна сушка).

У виробництві ДПК використовується широкий спектр органічних наповнювачів і їх сумішей з мінеральними наповнювачами, кількість яких змінюється в широких межах [3 - 4]. Основним видом наповнювача для ДПК на термопластичній матриці традиційно є деревне борошно [4 - 5]. Останнім часом окрім деревини, набуло популярності використання целюлозних і лігніноцелюлозних наповнювачів не деревного походження. Їх широке застосування обумовлено перш за все економічними та екологічними причинами: наповнювачі не деревного походження є поновлюваними ресурсами (щорічно на відміну від деревини) з відносно низькою собівартістю. Наприклад, проводяться дослідження щодо можливості використання відходів і продуктів переробки сільськогосподарської промисловості. Це продукти переробки зернових – лущиння рису, гречки, вівса, пшениці [5]. Відходи переробки деяких рослинних культур – лляне волокно [5], стебла бавовни, стебла соняшника [2]. Відходи деревообробки – борошно хвої [1-2], пальмове і ананасове листя [5].

Таким чином, після проведення огляду та аналізу літературних джерел за темою, має інтерес

© Карєв А.І., Данченко Ю.М., Яворська Д.Г., Лебедев В.В., Трошин О.Г., Завінський С.І., 2017

провести дослідження наповнювачів для ДПК з відходів рослинної біомаси, які в достатку є в Україні та в Харківському регіоні (лушпиння гречки, вівса).

Виклад основного матеріалу дослідження

У даній роботі були досліджені наступні наповнювачі: деревинне борошно, борошно хвої – вибір даних наповнювачів обґрунтовується тим що, добавки целюлози і хвої широко застосовуються для розробки ДПК на основі термопластичних полімерів [1–5], тому результати випробувань можуть бути співставлені та порівняні з результатами існуючих досліджень, а також органічні технологічні відходи рослинної біомаси не деревного походження. Сировина являє собою побічний продукт переробки сільськогосподарських культур, багатотоннажні органічні відходи у вигляді лушпиння гречки і вівса. Для прикладу, завод по обробці плодів гречки продуктивністю 100 т / добу, працюючий протягом року, має такі обсяги вироблюваних побічних

продуктів: мучки – 770 т; зерновідходів – 2310 т; лушпиння – 8624 т.

При переробці зерна гречки в крупу обсяг відходів становить не менше 26% від загального обсягу зерна, що переробляється. Ці побічні продукти (зернові відходи, мучка, лузга) не завжди використовуються в подальшій переробці, а їх утилізація, як правило, ускладнена [2].

У звичайному вигляді лушпиння має досить великі розміри і його не можна віднести до дисперсних наповнювачів. Для надання частинкам лушпиння дисперсних розмірів, вихідну сировину дробили в млинах дисмембранного типу з отриманням на виході дисперсного матеріалу. Фото наповнювачів представлені на рис. 1. На основі літературних джерел [1–5] складена порівняльна характеристика приблизного хімічного складу досліджуваних наповнювачів за деякими відомими компонентами та представлена у табл. 1.



Рис. 1. Фотографії наповнювачів: а – ДБ, б, в – БХ, г, д – ГЛ, е, е – ВЛ в звичайному (б, г, е) і дисперсному (а, в, д, е) вигляді

Таблиця 1. Хімічний склад наповнювачів, мас. %

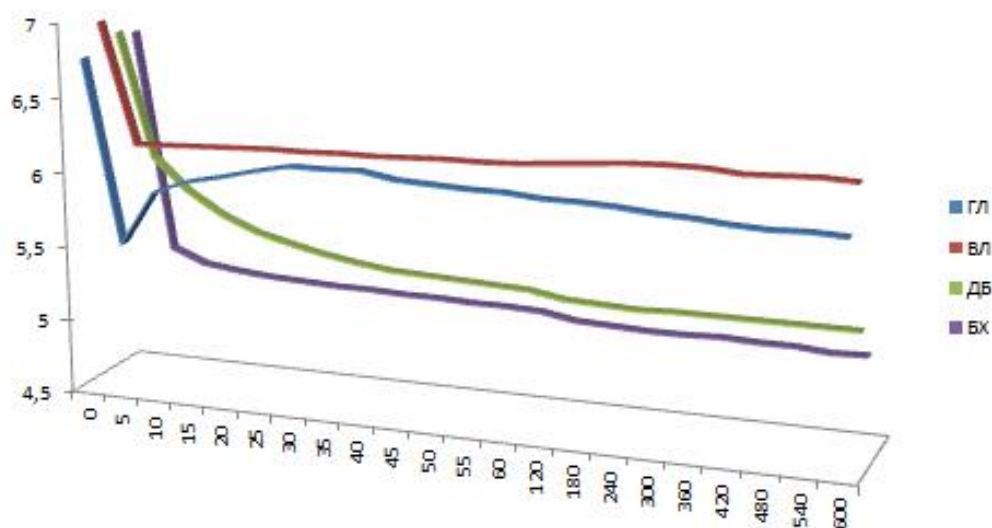
Наповнювач	Целюлоза	Лігнін	Білки	Ліпіди	Крохмаль	Зольність
ГЛ	29–39	30–35	1–5	1–5	1–2	4–5
ВЛ	45–50	17–20	4–7	0,5–2	–	3–4
ДБ	65–70	22–28	–	–	–	0,2–2
БХ	44–52	27–30	1–5	4–5	–	0,2–1,5

З даних табл. 1 слідує, що для усіх досліджуваних наповнювачів основними хімічними компонентами є два види органічних речовин: полісахарид целюлоза та лігнін – суміш ароматичних полімерів. Целюлоза та лігнін не розчиняються і не гідролізуються у воді внаслідок великої молекулярної маси та утворенню численних внутрішньо та міжмолекулярних водневих зв'язків. Складні молекули цих речовин містять велику кількість різноманітних функціональних груп: гідроксильні, метоксильні, групи простих та складних етерів, альдегідні, карбонільні. При виході на поверхню функціонали створюють широкий

спектр активних центрів з різною функцією кислотності [2].

Також було проведено потенціометричні дослідження кислотно-основних властивостей поверхні органічних дисперсних наповнювачів. Для потенціометричного аналізу наповнювачів рослинного походження обрано рН-метричний метод визначення рН_{сусп.} водних суспензій за способом А. П. Нечипоренко [2].

Результати дослідження органічних дисперсних наповнювачів за способом А. П. Нечипоренко представлені на рис. 2 та у табл. 2.

Рис. 2. Залежності зміни $pH_{\text{сусп}}$ водних суспензій від тривалості контакту наповнювачів з водою

Таблиця 2. Результати експериментального визначення інтегральної (загальної) кислотності поверхні наповнювачів

Наповнювач	pH_0	$pH_{\text{сусп}}^p$	$pH_{\text{пт}}$	Час встановлення рівноважного стану, с
ГЛ	6,76	5,53	5,83	40
	6,76	6,16	6,30	
ВЛ	6,96	6,15	6,18	100
	6,96	6,30	6,32	
ДБ	6,85	5,29	5,52	180
БХ	6,81	5,02	5,36	120

В ході дослідження було визначено, що на поверхні ГЛ існують два типи активних центрів: слабо-кислотні ($pK_a \approx 5,53-5,83$) і практично нейтральні ($pK_a \approx 6,16-6,30$).

Поверхня ВЛ має характер близький до нейтрального з кислотною силою активних центрів $pK_a \approx 6,15-6,32$.

Поверхні ДБ та БХ мають загальний слабко-кислотний характер з центрами $pK_a \approx 5,29-5,52$ та $pK_a \approx 5,02-5,36$ відповідно.

Загалом інтегральна кислотність поверхні наповнювачів зменшується у ряду:



Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Таким чином, з проведених досліджень можна зробити висновки: проаналізувавши отримані результати хімічного складу та потенціометричних досліджень кислотно-основних властивостей

поверхні наповнювачів, можна стверджувати, що загальна кислотність поверхні для обраних нами полімерних композитів з наповнювачами рослинного походження у більшій мірі залежить від сумарного вмісту основних компонентів.

Встановлено, що при збільшенні суми основних компонентів целюлози і лігніну, поверхнева кислотність частинок наповнювачів зростає.

Перспективи подальшого розвитку даного напрямку досліджень, перш за все, зв'язані з розширенням видів натуральних наповнювачів (відходів) рослинного походження для полімерних композицій.

Список литературы:

1. Володин В.П. Экструзия профильных изделий из термопластов. – СПб.: Профессия, 2005. – 480с.
2. Шкуро, А. Е. Получение и изучение древесно-полимерных композитов с наполнителями из отходов растительного происхождения [Текст] / А. Е. Шкуро, В. В. Глухих, Н. М. Мухин // Лесной вестник. 2016. – № 3. – С. 101–105.
3. Карев, А. І. Перспективи використання рослинних відходів у виробництві полімерних композитів [Текст] / А. І. Карев, Ю. М. Данченко // Матеріали IX Міжнародної науково-технічної WEB-конференції «Композиційні матеріали». – К, 2016. – С. 81–82.
4. Карев, А. І. Вплив природи дисперсних органічних наповнювачів на фізико-механічні властивості композитів з вторинного поліпропілену [Текст] / А. І. Карев, Ю. М. Данченко // Матеріали II Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції «Ресурсозбереження та енергоефективність інженерної інфраструктури урбанізованих територій та промислових підприємств». – Х.: ХНУГХ ім. А.Н. Бекетова, 2016. – С.104–107.
5. Клёсов А. А. Древесно-полимерные композиты. – СПб: Научные основы и технологии, 2010. – 736 с.

Bibliography (transliterated):

1. Volodin V.P. Extrusion of profiled products from thermoplastics. – SPb.: Profession, 2005. – 480 p.
2. Skuro, A. E. Preparation and study of wood-polymer composites with fillers from vegetable waste [Text] / A. E. Shkuro, V. V. Glukhikh, N. M. Mukhin // Forest Address. 2016. – No. 3. – P. 101–105.
3. Karev, A.I. Prospects for the use of plant wastes in the production of polymer composites [Text] / A. Kariev, Yu. M. Danchenko // Materials of the IX International Scientific and Technical WEB-Conference "Composite Materials". – K, 2016. - P. 81–82.
4. Kariev, A.I. The influence of the nature of dispersed organic fillers on the physical and mechanical properties of secondary polypropylene composites [Text] / A. I. Kariev, Yu. M. Danchenko // Materials of the II International Scientific and Technical Internet Conference "Resource Saving and energy efficiency of the engineering infrastructure of urban areas and industrial enterprises". – Kh. KhNUGH them. AN Beketov, 2016. – p.104–107.
5. Kliesov A. A. Wood-polymer composites. – SPb: Scientific Foundations and Technologies, 2010. – 736 p.

Поступила (received) 23.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Кислотно-основні властивості поверхні органічних наповнювачів для полімерних композитів / А.І. Карев, Ю.М. Данченко, д. Г. Яворська, В.В. Лебедєв, О.Г. Трошин, С. І. Завінський // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 93–97. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2220-4784.

Кислотно-основные свойства поверхности органических наполнителей для полимерных композитов / А.И. Карев, Ю.М. Данченко, д. Г. Яворская, В.В. Лебедев, О.Г. Трошин, С. И. Завинский // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 93–97. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2220-4784.

Acid-basic properties of the surface of organic fillers for polymer composites / AI Kariev, Yu.M. Danchenko, G. Yavorska village, VV Lebedev, O.G. Troshin, S.I. Zavinsky // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 41(1263). – p. 93–97. Bibliog.:5 titles. – ISSN 2220-4784.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Карсв Артем Ігорович – аспірант, кафедра загальної хімії, Харківський національний університет будівництва та архітектури, тел.: 066-997-06-05, E-mail: armkarev@gmail.com

Kariev Artem – Postgraduate student, Department of General Chemistry, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, tel.: 066-997-06-05, E-mail: armkarev@gmail.com

Карсв Артем Игоревич – аспірант, кафедра общей химии, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, тел.: 066-997-06-05, E-mail: armkarev@gmail.com

Данченко Юлія Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент, кафедра загальної хімії, Харківський національний університет будівництва та архітектури, тел.: 066-322-47-45, E-mail: u_danchenko@ukr.net

Danchenko Yuliya – PhD, Associate Professor, Department of General Chemistry, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, tel.: 066-322-47-45, E-mail: u_danchenko@ukr.net

Данченко Юлия Михайловна – кандидат технических наук, доцент, Кафедра общей химии, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, тел.: 066-322-47-45, E-mail: u_danchenko@ukr.net

Яворська Даяна Григорівна – студентка, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, тел.: 063-126-27-38 E-mail: dayana.yavor@gmail.com

Yavors'ka Dayana – Student, Karazin Kharkiv National University, tel.: 063-126-27-38, E-mail: dayana.yavor@gmail.com

Яворская Даяна Григорьевна – студентка, Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, тел.: 063-126-27-38, E-mail: dayana.yavor@gmail.com

Лебедев Володимир Володимирович – доцент, кандидат технічних наук, кафедра технологи пластичних мас та біологічно активних полімерів Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» E-mail: vladimirlebedev@bk.ru тел.: (057) 707-61-09

Lebedev Vladimir – PhD, Associate Professor, Department of Technology of Plastics and biological active polymer, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" E-mail: vladimirlebedev@bk.ru tel.: (057) 707-61-09

Лебедев Владимир Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедра технологии пластических масс и биологически активных полимеров Национальный технический университет «Харьковский Политехнический Институт», тел.: +38 (057) 707-61-09 E-mail: vladimirlebedev@bk.ru

Трошин Олексій Георгійович – доцент, кандидат технічних наук, кафедра інтегрованих технологій процесів та апаратів Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» E-mail: troshin@i.ua тел.: (050)400-70-97

Troshin Olexiy – Associate Professor, Department of Integral Technology processes and apparatus, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" E-mail: troshin@i.ua Contact tel.: 050-400-70-97

Трошин Алексей Георгиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры интегрированных технологий, процессов и аппаратов, Национальный технический университет «Харьковский Политехнический Институт», тел.: 050-400-70-97 E-mail: troshin@i.ua

Завінський Сергій Іванович – асистент кафедри інтегрованих технологій процесів та апаратів Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» E-mail: sawinskiy@i.ua, тел.: (096)-590-22-10

Sawinskiy Sergiy – assistant Department of Integral Technology processes and apparatus, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" E-mail: sawinskiy@i.ua tel.: (096)-590-22-10

Завинский Сергей Иванович – асистент кафедры интегрированных технологий, процессов и аппаратов, Национальный технический университет «Харьковский Политехнический Институт» тел.: (096)-590-22-10, E-mail: sawinskiy@i.ua

УДК 665.1

В. С. МАЗАЕВА, И. Н. ДЕМИДОВ, В. О. ГОЛОДНЯК**ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ТРЁХКОМПОНЕНТНОЙ ЖИРОВОЙ СМЕСИ МЕТОДОМ ДСК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ «STATISTICA»**

В статье приведены исследования процессов плавления и кристаллизации трехкомпонентных жировых смесей. При помощи симплексо-решотчатого плана Шеффе для многокомпонентных систем были получены регрессионные зависимости, между температурой плавления (застывания) и концентрацией компонентов в смеси. Для полученных моделей была произведена проверка на адекватность с помощью дисперсионного анализа. А также получены поверхности для всех моделей. Полученные таким методом необходимые соотношения компонентов, обеспечивают быстрое нахождения нужного сырья и получение жировых основ маргаринов или специальных жиров с заданными свойствами.

Ключевые слова: переэтерифицированные жиры, температура плавления, температура застывания, математическое планирование, дисперсионный анализ.

У статті наведено дослідження процесів плавлення і кристалізації трикомпонентних жирових сумішей. За допомогою симплексо-решотчатого плану Шеффе для багатокомпонентних систем були отримані регресійні залежності, між температурою плавлення (застигання) і концентрацією компонентів в суміші. Для отриманих моделей була проведена перевірка на адекватність за допомогою дисперсійного аналізу. А також отримані поверхні для всіх моделей. Отримані таким методом необхідні співвідношення компонентів, забезпечують швидке знаходження необхідної сировини і отримання жирових основ маргаринів або спеціальних жирів із заданими властивостями.

Ключові слова: переестерифікованні жири, температура плавлення, температура застигання, математичне планування, дисперсійний аналіз.

In the article studies of melting and crystallization processes of three-component fat mixtures are given. With the help of the Sheffe simplex-lattice plan for multicomponent systems, regression dependences were obtained, between the melting point (solidification) and the concentration of the components in the mixture. For the obtained models, the adequacy test was carried out by means of analysis of variance. And also surfaces for all models are received. The necessary proportions of components obtained by this method ensure the rapid finding of the necessary raw materials and the production of fatty bases of margarines or special fats with specified properties.

Key words: interesterified fats, melting point, solidification point, mathematical planning, dispersion analysis.

1. Введение.

Жиры и масла играют очень важную роль в процессах изготовления самых разных пищевых продуктов. Большое число пищевых продуктов нельзя произвести без жира или масла. Многие характеристики таких продуктов как кондитерские, хлебобулочные изделия, маргарины, продукция молочной, пищевого концентрата, кулинарной и других отраслей определяются масложировым составом и ингредиентами в их рецептурах. Жиры и масла влияют на структуру, стабильность, вкус, сроки хранения, органолептические характеристики и товарный вид готового изделия.

Разработка новых видов масложировой продукции для различных отраслей пищевой промышленности зависит от множества взаимодействующих факторов. В настоящее время многие масложировые продукты вырабатываются под заказ в целях удовлетворения требований определенного заказчика, а также для обеспечения привлекательного товарного вида готовых продуктов. [1]

Глубокое знание функций и свойств различных масложировых продуктов является основным ключом к созданию рецептур продуктов с желаемыми свойствами. Жиры и масла получают из очень разных видов сырья, для которых были созданы методы переработки, позволяющие получить продукты максимально пригодные для нужд пищевой промышленности [2].

2. Постановка проблемы

В последнее время на рынке Украины наблюдается ограниченный ассортимент жировой продукции. Работы по получению жиров с

заданными свойствами ведутся давно и являются приоритетными в жировой промышленности. В основном, усилия направлены на создание рецептур различных жиров, таких как кондитерские, кулинарные, жировые основы маргаринов и др.

Жиры и масла обладают особыми физическими свойствами, важными для технологического процесса обработки и конечного использования как природных, так и предварительно обработанных пищевых продуктов. Состав жиров влияет на функциональные свойства пищевых продуктов и пищевых ингредиентов даже при умеренном содержании жира.

Разработка нового продукта для определенного применения начинается с определения ключевых функциональных свойств, которые этот продукт должен обеспечить в конечном пищевом продукте. Использование имеющихся знаний для оценки и определения физических и химических показателей, которые с наибольшей вероятностью обеспечат наличие предполагаемых функциональных свойств. Выделение первоочередных и второстепенных функциональных свойств и пренебрежение незначимыми свойствами является важным моментом в разработке продукта или его жировой основы. В процессе исследований получают информацию по физико-химическим показателям, которые сравнивают со стандартными показателями, для уже существующих продуктов или жировых основ. Но разработанный продукт должен иметь улучшенные характеристики по сравнению с уже существующими продуктами или оригиналом. Так же

© Мазеева В.С., Демидов И.Н., Голодняк В.В., 2017

существует ограничения по некоторым показателям для готовой продукции или жировых основ, которые должны обязательно учитываются при составлении рецептур пищевого или его жировых основ [1].

3. Литературный обзор

Пальмовое масло обладает несколькими весьма полезными свойствами, такими как низкая цена, простота формирования кристалла β -типа, высокая термическая устойчивость к окислению и пластичность при комнатной температуре [2]. Поэтому пальмовое масло и его фракции считается наиболее экономичным и распространенным во всем мире пищевым маслом [3] и широко используется в качестве масла для приготовления пищи, маргарина, разрыхлителя в кулинарии, кондитерской, хлебобулочной промышленности и т.д. Пальмовый стеарин (ПС) и пальмовый олеин (ПО), произведенные сухим фракционированием имеют различный состав триацилглицеролов. В результате чего, маргарин и разрыхлитель на основе масла представляют сложное поведение кристаллизации и различные физические свойства.

Достаточно большой спектр показателей для жиров можно получить с помощью термоаналитических методов. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) представляет собой термоаналитический метод, широко используемый в исследованиях жиров и масел, а так же их смесей [4]. Басфилд и Прошого наблюдали несколько тепловых переходов пальмового стеарина в пределах их профилей ДСК [5]. В [6] проводились исследования ПО и ПС методом ДСК, которые показали что жирнокислотный состав имеет существенное влияние на процесс кристаллизации.

В [7, 8] показаны ДСК граммы различных масел. А также возможности применения этого метода в разработке рецептур и составление жировых смесей для различных продуктов питания. Использование этих масел в разных продуктах питания и влияние на их структуру.

Основная часть. Цель и задачи исследования.

При перэтерификации жиров их состав заметно усложняется. Такое усложнение, способствует решению задач настоящего исследования. С целью усложнения системы в состав смеси был включён компонент, содержащий транс-жирные кислоты.

Изучение процессов плавления и кристаллизации перэтерифицированной трехкомпонентной смеси, методом ДСК и получение регрессионных зависимостей между составом жировой смеси и некоторыми её свойствами – цель данного исследования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- получить смеси с заданной концентрацией и провести перэтерификацию этих смесей в одинаковых условиях;
- определить такие показатели как, температура плавления и застывания стандартными методами и методом ДСК;

- получить математическую модель «состав-свойство» с помощью программы STATISTICA;

Материалы и методы.

В данной работе использовались такие материалы как: пальмовый олеин (рафинированный, дезодорированный согласно с ДСТУ 4438:2005), пальмовый стеарин (рафинированный, дезодорированный – ДСТУ 4439:2005) и саломас МЗ (рафинированный, дезодорированный – ДСТУ 5040:2008)

Процесс перэтерификации проводился при следующих условиях:

- температура 105 – 115 °С;
- остаточное давление (0,4–0,9) кПа;
- продолжительность 1,5 ч.;
- дозирование катализатора 0,1 % в пересчете на метал.

Остатки катализатора были удалены с помощью адсорбционной очистки с использованием адсорбента Tonsil Standard 310 FF при температуре 90 °С, дозировка адсорбента 2% от массы трехкомпонентной смеси [9].

Для изучения процессов плавления и кристаллизации был выбран метод ДСК. Процессы проводились согласно с ISO 11357-3 в температурном режиме от -45 до 85 °С. Скорость нагрева и охлаждения для всех образцов была 7,5 °С/мин.

Так же были получены точки плавления методом открытого капилляра согласно с ДСТУ ISO 6321:2003 и температуры застывания с помощью прибора Жукова – ДСТУ 4463:2005.

Определения ТАГ состава выполнены на газовом хроматографе HP-6890 производства Agilent Technologies с пламенно-ионизационным детектором и автосамплером [10].

Результаты исследований.

Использование методов планирования эксперимента позволяет значительно сократить объем эксперимента при изучении многокомпонентных систем, так как свойства можно определять из уравнений. Симплекс-решотчатый планы Шеффе обеспечивают равномерный разброс экспериментальных точек по симплексу, что позволяет брать все возможные комбинации уравнений с заданными значениями концентраций. [11]. Для получения зависимости в виде состав-свойство в виде уравнений регрессии был выбран симплекс-решотчатый план Шеффе третьего порядка для трехкомпонентной смеси в котором x – это пальмовый олеин (ПО), y – пальмовый стеарин (ПС), z – саломас МЗ (С). После перэтерификации были определены такие показатели как температура плавления методом открытого капилляра (y_1) и температура застывания на приборе Жукова (y_2). Для этих же смесей были сделаны ДСК граммы которые представлены на рисунке 1, на которых были выбраны пики, которые соответствуют процессу плавления (y_3, y_4, y_5) и кристаллизации (y_6, y_7, y_8).

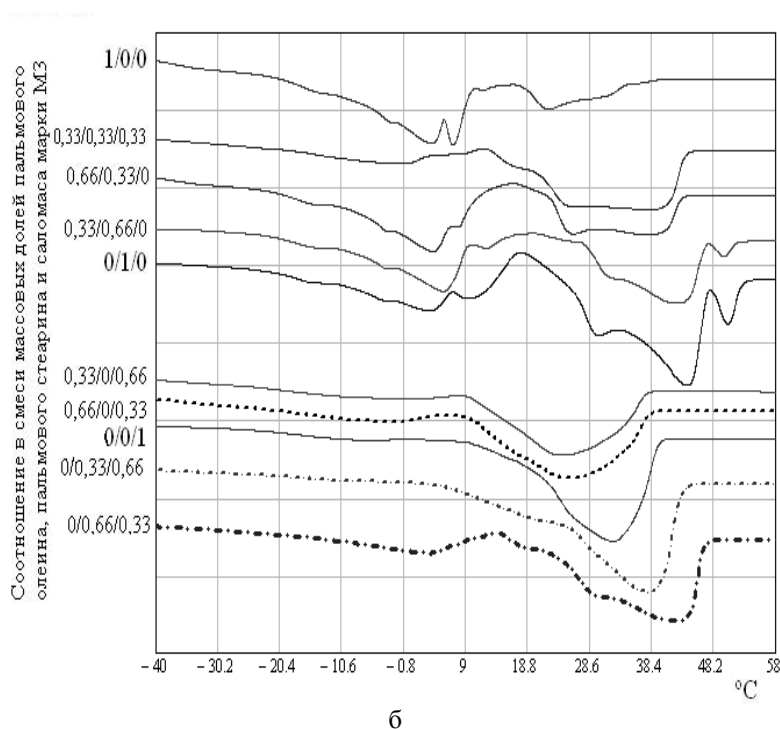
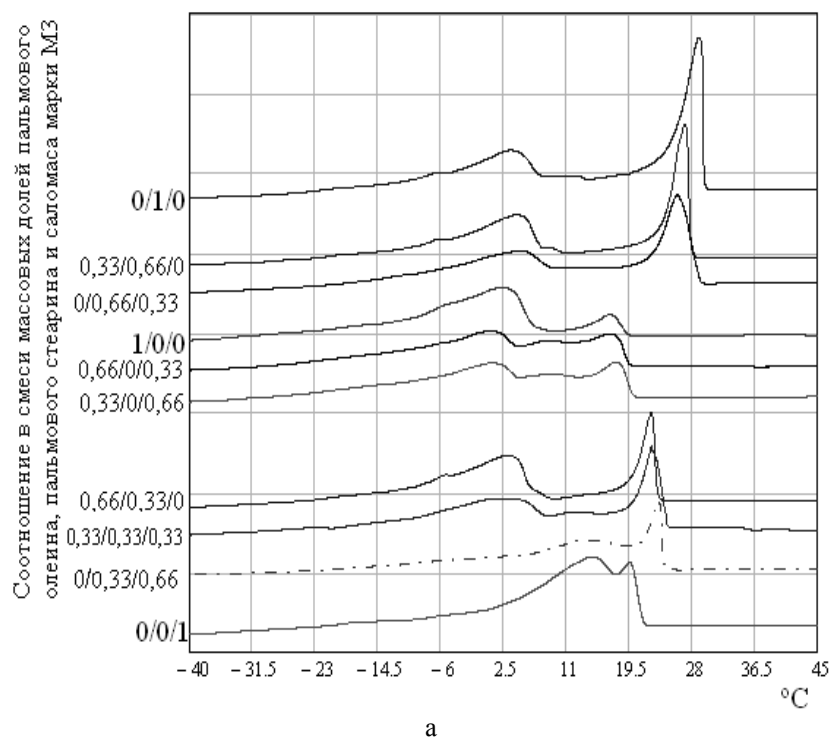


Рис. 1. Графики ДСК для а – процесса кристаллизации, б – процесса плавления.

На графиках ДСК кристаллизации смесей (рис 1а) видно, что полученные смеси для выбранного симплекс-решетчатого плана Шеффе делятся на четыре группы по содержанию компонентов. Первая группа сверху содержит в себе пальмовый олеин, который превышает 50%. Это количество влияет на физико-химические показатели, а так же на кривые ДСК грамм. Влияние саломаса марки МЗ на кристаллизацию смесей, которые содержат в себе

фракции пальмового масла незначительное, несмотря на его немалое содержание.

Полученная температуры застывания с помощью прибора Жукова не всегда попадает в пределы первого пика кристаллизации. Это можно объяснить тем, что в приборе ДСК навеска находится в запечатанной кювете, в которой не происходит перемешивания исследуемого образца. Это все позволяет минимизировать влияние дополнительных факторов на процесс

кристаллизации. Но при этом процесс кристаллизации может происходить с небольшим переохлаждением. Потому что высокоплавкие ТАГ быстро переохлаждаются и стихийно кристаллизуются, образуя твердую фазу в жидкой. Что можно наблюдать по углу наклона первого экзотермического пика.

При плавлении (рис. 1б) влияние саломаса марки МЗ в смеси достаточно заметно на графиках ДСК. При добавлении к пальмовому oleину или стеари́ну саломаса МЗ в количестве от 33% и выше вид ДСК грамм меняется. Для таких смесей имеет

место четкий один пик, который присущий саломасу МЗ. Так же была определена температура плавления метода открытого капилляра. Эта температура на диаграммах ДСК находится в пределах последнего пика плавления. На участке от максимума до конца плавления.

После обработки графиков ДСК, из них были взяты начальные (y_5 , y_6) конечные (y_3 , y_8) и максимальные (y_4 , y_7) температуры. Эти температуры были взяты с того тика, на котором находится температура сделанная по стандартному образцу. Эти все данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Симплекс-решетчатый план Шеффе третьего порядка для трехкомпонентной смеси и результаты эксперимента.

№ опыта	x	y	z	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8
1	1	0	0	28.5	19	35,26	22,14	16,55	19,71	16,97	9,5
2	0	1	0	50	36.6	52,64	50,45	47,69	29,71	29,03	24,66
3	0	0	1	35.5	30.5	39,76	32,33	-0,57	21,51	19,56	17,71
4	0.33	0.67	0	44.4	32	47,47	42,98	34,88	27,93	27,11	23,59
5	0.33	0	0.67	31.2	22	37,42	24,45	8,29	20,08	17,81	12,56
6	0	0.33	0.67	38.8	30.8	43,28	37,7	25,37	24,17	23,54	19,42
7	0.67	0.33	0	40	27	43,68	38,11	30,78	23,42	22,51	19,62
8	0.67	0	0.33	31.3	26	38,11	25,93	6,8	19,5	16,98	11,23
9	0	0.67	0.33	43.6	33.3	46,55	43,06	32,08	29,17	26,09	22,28
10	0.33	0.33	0.33	40.3	29.3	43,62	38,52	29,6	24,78	22,62	20,24

По результатам исследований была произведена математическая обработка данных с помощью программы STATISTICA [11]. Для всех данных были получены математические модели в виде уравнений регрессии. Результаты, представленные в табл. 2 и характеризуют отклики системы. Как видно из табл. 2 для первых 6-и уравнений характерна модель

первого порядка, для двух последних – модель второго порядка. Для всех моделей была проверена адекватность с помощью дисперсионного анализа. Все модели адекватны, так как коэффициенты детерминации достаточно близки к единице, а r -критерий не превышает 0,05.

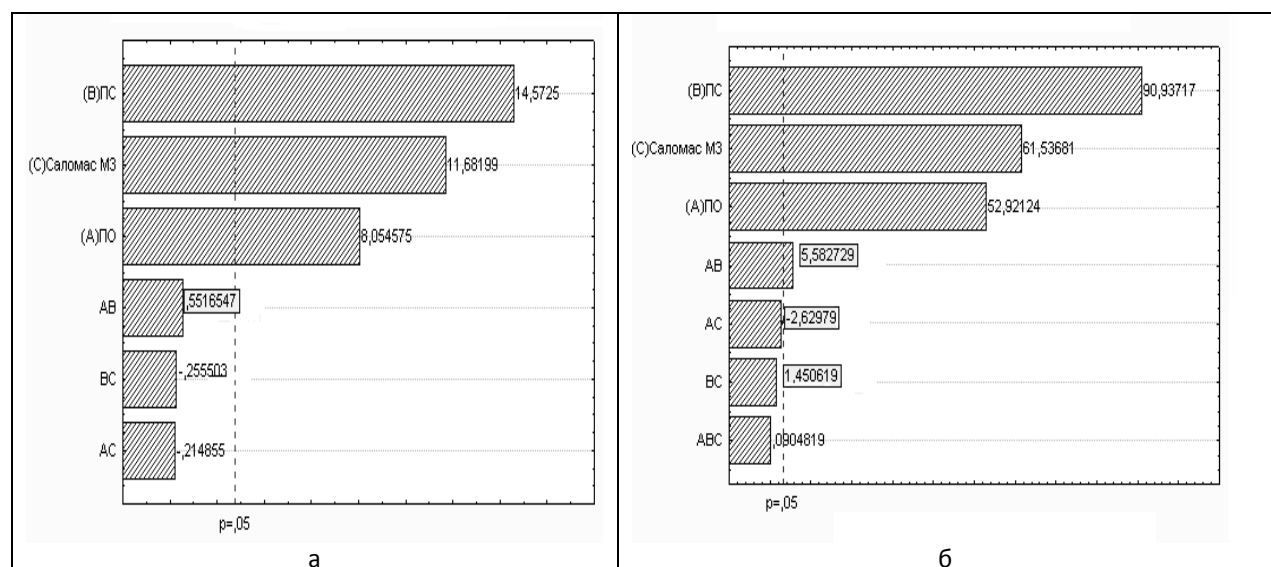


Рис. 2. Диаграммы Парето (а – температура застывания стандартным методом y_2 , б – максимум пика на ДСК грамме y_7)

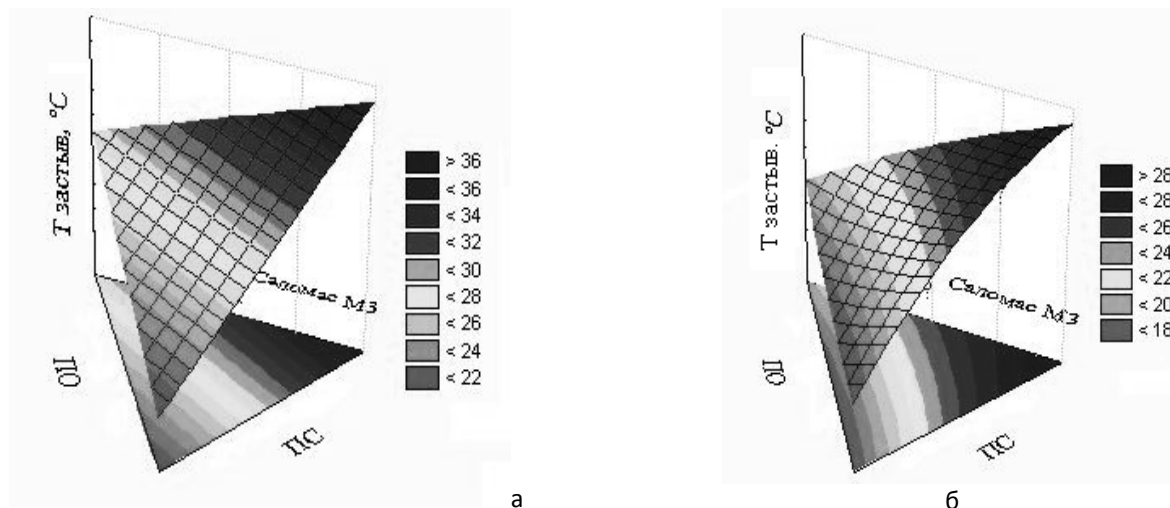


Рис. 3. Зависимость температуры застывания от содержания компонентов в смеси (а – температура застывания стандартным методом y_2 , б – максимум пика на ДСК грамме y_7)

Табл. 2. Уравнение регрессии для полученных данных.

№	Уравнения регрессии,
y_1	$v=30,44 \cdot x+50,66 \cdot y+33,98 \cdot z; (R^2=0,94 \text{ } p<0.05)$
y_2	$v=20,61 \cdot x+36,85 \cdot y+28,49 \cdot z; (R^2=0,87 \text{ } p<0.05)$
y_3	$v=36,795 \cdot x+52,529 \cdot y+39,013 \cdot z; (R^2=0,96 \text{ } p<0.05)$
y_4	$v=24,523 \cdot x+51,985 \cdot y+30,193 \cdot z; (R^2=0,92 \text{ } p<0.05)$
y_5	$v=30,44 \cdot x+50,66 \cdot y+33,98 \cdot z; (R^2=0,94 \text{ } p<0.05)$
y_6	$v=19,554 \cdot x+31,142 \cdot y+21,298 \cdot z; (R^2=0,96 \text{ } p<0.05)$
y_7	$v=16,89 \cdot x+29,02 \cdot y+19,64 \cdot z+8,38 \cdot x \cdot y-3,88 \cdot x \cdot z+2,21 \cdot y \cdot z; (R^2=0,998 \text{ } p<0.005)$
y_8	$v=9,66 \cdot x+24,39 \cdot y+17,24 \cdot z+21,93 \cdot x \cdot y-5,67 \cdot x \cdot z+1,49 \cdot y \cdot z; (R^2=0,99 \text{ } p<0.005)$

Так же для всех моделей были построены карты Парето, на которых в графической форме показано значимые и не значимые коэффициенты, входящие в уравнение регрессии. Те коэффициенты, которые пересекают вертикальную линию, которая представляет собой 95-процентную доверительную вероятность, считаются значимыми. Все остальные, которые не пересекают, эту линию считаются не значимыми и на систему влияют не значительно. На рис. 2 приведены диаграммы Парето для линейной и квадратичной модели. Как видно на рис. 2а, только три параметра пересекают доверительную вероятность, остальные три являются не значимыми. Из этого можно сделать вывод, что это модель первого порядка. На рис. 2б незначительными являются всего два параметра, и это свидетельствует о более сложной модели. Так же были построены зависимости температуры застывания от содержания

компонентов в смеси рис. 3, для изучения влияния факторов на показатели смеси. Полученные уравнения позволяют решить и обратную задачу. По этим поверхностям и уравнениям регрессии можно определить содержание компонентов для смеси, с нужной температурой плавления и застывания, которая находится в любой точки поверхности.

Выводы

Выбор симплекс-решётчатого плана Шеффе для многокомпонентных систем позволяет сократить экспериментальную часть и обеспечить достоверность полученных результатов. По этому плану были определены температуры плавления и застывания методом ДСК, а также стандартными методами. Программа STATISTICA позволяет получить уравнения регрессии, а также провести ее проверку на адекватность различными методами в рекордно быстрые сроки. Так были получены уравнения регрессии для всех температур плавления и застывания. Адекватность моделей проверена с помощью дисперсионного анализа, который показал, что все уравнения адекватны.

Полученные таким методом необходимые соотношения компонентов, обеспечивают быстрое нахождения нужного сырья и получение жировых основ маргаринов или специальных жиров с заданными свойствами. Это позволяет сократить затраты времени на подбор сырья для получения жировых смесевых систем с заданными свойствами.

Список литературы

1. O'Brien, Richard D. Fats and oils: formulating and processing for applications / by Richard D. O'Brien. – 3rd ed. Second Edition, Inc. USA. 2008, p. 744.
2. Hodate, Y.; Ueno, S.; Yano, J.; Katsuragi, T.; Tezuka, Y.; Tagawa, T.; Yoshimoto, N.; Sato, K. Ultrasonic velocity measurement of crystallization rates of palm oil in oil-water emulsions / Colloid. Surf. A 1997, 128, p. 217–224.
3. Tan, K.T.; Lee, K.T.; Mohamed, A.; Bhatia, S. Palm oil: Addressing issues and towards sustainable development./ Renew. Sust. Energy Rev. 2009, 13, p. 420 – 427.
4. Santana, A., Fernández, X., Larrayoz, M.A., & Recasens, F. Vegetable fat hydrogenation in supercritical-fluid solvents: Melting behavior analysis by DSC and NMR./ Journal of the Supercritical Fluids, 2008, 46, p. 322 – 328.
5. Busfield, W.K.; Proscho, P.N. Thermal analysis of palm stearine by DSC./ J. Am. Oil Chem. Soc. 1990, 67, 171 – 175.
6. Xia Zhang, Lin Li, He Xie, Zhili Liang, Jianyu Su, Guoqin Liu and Bing Li. Comparative analysis of thermal behavior, isothermal

- crystallization kinetics and polymorphism of palm oil fractions./ *Molecules* 2013, 18, p. 1036 – 1052.
7. Differential scanning calorimetry applications in fat and oil technology/ edited by Emma Chiavaro // CRC Press Taylor & Francis Group, Inc. USA. 2015, p. 272.
 8. Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses / edited by Frank D. Gunstone. – 2nd ed. // CRC Press Taylor & Francis Group, Inc. USA. 2002, p. 337.
 9. Ситнік Н. С., Дослідження ефективності нового каталізатору переетерифікації олій та жирів з використанням хроматографічного аналізу / Н. С. Ситнік, І. М. Демидов, К. В. Куниця // Технологічний аудит і резерви виробництва – № 6/4(26), 2015 с. 8 – 13.
 10. Демидов І. Н., Мазеєва В. С., Ситнік Н. С., Голодняк В. А., Кищенко В. А., Голубець О. В. Ацилглицерольний состав жиров и реакция переэтерификации. «Масложировый комплекс». «Эксперт-Агро». 2013. № 4(43). с. 28 – 29.
 11. Криволапов О. М. Підвищення ефективності технології переетерифікації жирів. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Харків – 2007.
 12. Ахназаров С. Л., Кафаров В. В., Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: Учеб. пособие для хим.-технол. спец. вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1985. с. 327, с. 268 – 273.
 13. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: 2-е изд. СПб.: Питер, 2003. с. 688.
 4. Santana, A., Fernández, X., Larrayoz, M.A., & Recasens, F. Vegetable fat hydrogenation in supercritical-fluid solvents: Melting behavior analysis by DSC and NMR./ *Journal of the Supercritical Fluids*, 2008, 46, p. 322 – 328.
 5. Busfield, W.K.; Proscho, P.N. Thermal analysis of palm stearine by DSC / *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1990, 67, 171 – 175.
 6. Xia Zhang, Lin Li, He Xie, Zhili Liang, Jianyu Su, Guoqin Liu and Bing Li. Comparative analysis of thermal behavior, isothermal crystallization kinetics and polymorphism of palm oil fractions./ *Molecules* 2013, 18, p. 1036 – 1052.
 7. Differential scanning calorimetry applications in fat and oil technology/ edited by Emma Chiavaro// CRC Press Taylor & Francis Group, Inc. USA. 2015, p. 272.
 8. Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses / edited by Frank D. Gunstone. – 2nd ed. // CRC Press Taylor & Francis Group, Inc. USA. 2002, p. 337.
 9. Sitnik N.S. Doslidzhennja efektyvnosti novogo katalizatoru pereeterifikacii olij ta zhiriv z vikoristannjam hromatografichnogo analizu / N. S. Sitnik, I.M. Demidov, K.V. Kunicja // Tehnologicheskij audit i rezervy proizvodstva – № 6/4(26), 2015 p. 8 – 13.
 10. Demidov I. N., Mazaeva V. S., Sytnik N. S., Golodnyak V. A., Kishhenko V. A., Golubec O. V. Acilglycerol'nyj sostav zhirovi i reakcija perejeterifikacii. «Maslozhirovoj kompleks». «Jekspert-Agro». 2013. № 4(43). p. 28 – 29.
 11. Krivolapov O. M. Pidvishhennja efektyvnosti tehnologii pereeterifikacii zhiriv. Disertacija na zdobuttja naukovoogo stupenja kandidata tehnicnih nauk. Harkiv – 2007.
 12. Ahnazarov S. L., Kafarov V. V. Metody optimizacii jeksperimenta v himicheskij tehnologii: Ucheb. posobie dlja him.-tehnol. spec. vuzov. – 2-e pererab. i dop. – M.: Vyssh. shk., 1985. – p. 327, p. 268 – 273.
 13. Borovikov V. STATISTICA. Iskusstvo analiza dannyh na komp'jutere: Dlja professionalov. 2-e izd. SPb.: Piter, s. 2003. p. 688.

Bibliography (transliterated)

1. O'Brien, Richard D. Fats and oils: formulating and processing for applications / by Richard D. O'Brien. – 3rd ed. Second Edition, Inc. USA. 2008, p. 744.
2. Hodate, Y.; Ueno, S.; Yano, J.; Katsuragi, T.; Tezuka, Y.; Tagawa, T.; Yoshimoto, N.; Sato, K. Ultrasonic velocity measurement of crystallization rates of palm oil in oil-water emulsions/ *Colloid. Surf. A* 1997, 128, r. 217–224.
3. Tan, K.T.; Lee, K.T.; Mohamed, A.; Bhatia, S. Palm oil: Addressing issues and towards sustainable development./ *Renew. Sust. Energy Rev.* 2009, 13, p. 420 – 427.

Поступила (received) 14.12.17

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Визначення властивостей трикомпонентної жирової суміші методом ДСК з використанням прикладних програм «STATISTICA» / В. С. Мазеєва, І. Н. Демидов, В. О. Голодняк // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 98–103. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2220-4784.

Изучение свойств трёхкомпонентной жировой смеси методом ДСК с использованием прикладных программ «STATISTICA» / В. С. Мазеєва, І. Н. Демидов, В. О. Голодняк // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 41(1263). – С. 98–103. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2220-4784.

Study of the properties of the three-component fatty mixture by DSC method with the use of applied programs "STATISTICA" / V. S. Mazaeva, I. N. Demidov, V. O. Golodnyak // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 41(1263). – p. 98–103. Bibliog.: 13 titles. – ISSN 2220-4784.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мазеєва Вікторія Сергіївна – мл. н. співробітник, лаб. досліджень хімії жирів масложирових производств, Український НІИМЖ Національної академії аграрних наук України, тел.: 097-70-70-271; e-mail: vika1988977@gmail.com

Мазеєва Вікторія Сергіївна – молодший науковий співробітник, лабораторія досліджень хімії жирів олійно-жирових виробництв, Український науково-дослідний інститут олій та жирів Національної академії аграрних наук України тел.: 097-70-70-271; e-mail: vika1988977@gmail.com

Mazaeva Viktoriia Sergeevna – Jr. Researcher, laboratory of studies of fats chemistry of oils and fats production, Ukrainian Research Institute of Oils and Fats National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, tel.: 097-70-70-271, e-mail: vika1988977@gmail.com

Демидов Ігорь Николаевич – д. т. н., проф. кафедри технології жирів та продуктів броження, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», тел.: 098-44-28-614, e-mail: demigon50@ukr.net

Демидов Ігорь Николаевич – доктор технічних наук, професор кафедри технології жирів та продуктів броження, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», тел.: 098-44-28-614, e-mail: demigon50@ukr.net

Demidov Igor Nikolaevich - Phd, Doctor of technical sciences, Professor, Department of Technology of fats and fermentation products National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», тел.: 098-44-28-614, e-mail: demigon50@ukr.net

Голодняк Володимир Александрович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник науково-дослідницької частини, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», тел.: 050-32-53-357, e-mail: gol.saturn@gmail.com

Голодняк Володимир Александрович – канд. техн. наук, ст. н. співробітник науково-дослідницької частини, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», тел.: 050-32-53-357, e-mail: gol.saturn@gmail.com

Golodnyak Vladimir Aleksandrovich – Phd, Candidate of technical sciences, Sr. Researcher, Scientific research part National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», тел.: 050-32-53-357, e-mail: gol.saturn@gmail.com

ЗМІСТ

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ Й НАУКОВІ РОЗРОБКИ

1. <i>O. P. ARSENYEVA, P. O. KAPUSTENKO, O. A. VASILENKO, J. M. TRAN, E. Y. KENIG.</i> THE ESTIMATION OF HEAT TRANSFER AREA OF PILLOW-PLATE HEAT EXCHANGERS FOR WATER HEATING.....	3
2. <i>NIKULSHIN VLADIMIR, DENYSOVA ALLA, DENYSOVA ANASTASIIA.</i> ADVANCED THERMODYNAMIC ANALYSIS ON EXERGY FLOW GRAFS.....	10
3. <i>С. І. БУХКАЛО.</i> СИНЕРГЕТИЧНІ ПРОЦЕСИ УТИЛІЗАЦІЇ-МОДИФІКАЦІЇ ПОЛІМЕРНОЇ ЧАСТКИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ	17
4. <i>В. Д. ПЕТРАШ, Ю. Н. ПОЛУНИН, А. А. ПОЛОМАННЫЙ.</i> ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ УТИЛИЗИРУЕМОЙ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ	28

МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ

5. <i>А. Е. ДЕНИСОВА, Л. В. ИВАНОВА, А. В. ДОРОШЕНКО, А. С. ГОНЧАРЕНКО.</i> НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИСПАРИТЕЛЬНЫЕ ВОДООХЛАДИТЕЛИ. РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ	34
6. <i>N. V. KONDRATJUK, S. I. OKOVYTY, Y. P. PYVOVAROV, M. O. BILICHENKO, Y. A. POLYVANOV</i> QUANTUM-CHEMICAL MODELING OF URONATE POLYSACCHARIDES DIMERS IN THE STRATEGY OF CREATING FOOD BIODEGRADATED COATINGS.....	47
7. <i>О. А. КЛИМЧУК, А. Є. ДЕНИСОВА, Г. А. БАЛАСАНЯН</i> КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ВПРОВАДЖЕННЯ ПЕРЕРИВЧАСТОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В БУДІВЛЯХ ГРОМАДСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	52

ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ЯК ЗАДАЧІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ІННОВАЦІЙ

8. <i>О. В. БЛОУС, С. І. БУХКАЛО</i> ДЕЯКІ ПИТАННЯ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ БІОХІМІЯ ХАРЧУВАННЯ ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ФІЗИЧНА КУЛЬТУРА І СПОРТ».....	58
9. <i>Г. К. ВОРОНОВ, В. І. БЛЯКОВ, Д. О. ФЕДОТОВ, О. Г. БОБРОВ</i> ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ТЕПЛОЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ІЧ- СІГНАТУРИ БРОНЕТЕХНІКИ.....	65
10. <i>О. В. САВВОВА, В. Л. ТОПЧИЙ, С. О. РЯБІНІН, Л. С. КУРАШ, В. Д. ТИМОФЄЄВ</i> ЗАЛЕЖНІСТЬ УДАРОСТІЙКОСТІ ВІД ШВИДКОСТІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ХВИЛЬ В ЛІТІЙАЛЮМОСИЛКАТНИХ СКЛОКРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛАХ.....	71
11. <i>М. І. БОЙКО, Т. О. БЕРЕЗКА, С. М. МОЛЬЧЕНКО</i> РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ПИВА З НОВИМИ ОРГАНОЛЕПТИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ.....	76

ІННОВАЦІЙНІ ЗАХОДИ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ У НАВЧАННІ

12. <i>Л. Н. СОЛОДОВНИКОВА, В. А. ТАРАСОВ</i> ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ РАДОНООПАСНОСТИ СУХАЧЁВСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ	81
13. <i>О. Ф. АКСЬОНОВА, С. І. БУХКАЛО, Є. Б. СОКОЛОВА, А. Г. АБАБОВА, А. В. ДУДА</i> ВИЗНАЧЕННЯ ОКРЕМИХ ПАРАМЕТРІВ ХАРЧОВОЇ БЕЗПЕКИ У ПАКЕТОВАНИХ ФРУКТОВО-ЯГІДНИХ СОКАХ.....	87
14. <i>А. І. КАРЄВ, Ю. М. ДАНЧЕНКО, Д. Г. ЯВОРСЬКА, В. В. ЛЕБЕДЄВ, О. Г. ТРОШИН,</i> <i>С. І. ЗАВІНСЬКИЙ</i> КИСЛОТНО-ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНІ ОРГАНІЧНИХ НАПОВНЮВАЧІВ ДЛЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ.....	93
15. <i>В. С. МАЗАЕВА, И. Н. ДЕМИДОВ, В. О. ГОЛОДНЯК</i> ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ ЖИРОВОЙ СМЕСИ МЕТОДОМ ДСК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ «STATISTICA»	98
ЗМІСТ.....	104
ІНФОРМАЦІЯ.....	105

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ

«ІНСТИТУТ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ»

61145, Харківська обл., м. Харків, вул. Клочківська, буд. 111-а, оф. 6-4,

тел/факс 8 (057) 763 24 91, E-mail: _lidy_@ukr.net

Розрахунковий рахунок 26009021938 в ПАТ «СУБ «ГРАНТ» , м. Харків

Код ЄДРПОУ 32239645, МФО 351607

ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРЕДМЕТ ДІЯЛЬНОСТІ ТОВАРИСТВА

Науково-технічна та науково-виробничо-впроваджувальна діяльність визначається за складовими досліджень у різновидах об'єктів:

- Фізико-хімічні дослідження для оцінки впливу техногенних джерел на екологічний стан природного середовища;
- Вимір і оцінка радіоактивного стану ґрунтів і порід у районах розташування шахт, природних відвалів;
- Визначення вмісту радону в природних водах у районах тектонічних порушень, де відбувається розвантаження підземних вод, у шахтній воді і у відстійниках з шахтних вод підприємств та атомних станцій;
- Розробка методик виконання вимірювань радіаційного випромінювання та ін.;
- Науково-технічна та науково-виробничо-впроваджувальна діяльність;
- Здійснення різних комерційних проектів, впровадження нових технологій та реалізація технічних проектів на власній базі або на базі замовника;
- Виробництво, реалізація, ремонт та калібрування засобів вимірювальної техніки та контролю для об'єктів в енергетики, сільського господарства, екології та ін.;
- Розробка та виготовлення програмного забезпечення за означеними темами;
- Переклад та редагування письмової та усної нормативно-довідкової, науково-технічної і художньої літератури;
- Підготування та редагування інновацій і нововведеннями;
- Різновиди торгівельної діяльності у сфері оптової торгівлі, яка здійснюється шляхом транзитних операцій;
- Різновиди маркетингової діяльності та послуг у різновидах сфері оптової та роздрібної комерційної та комісійної торгівлі;
- Розробка приладів та устаткування контролю й управління різними технологічними процесами.

ІНФОРМАЦІЙНИЙ ЛИСТ

Європейська федерація хімічної інженерії (EFCE) являє собою об'єднання національних неприбуткових федерацій (асоціацій) хімічної інженерії. Вона була створена у 50-х роках минулого сторіччя з метою сприяння кооперації у Європі національних неприбуткових професійних наукових та технічних об'єднань для забезпечення прогресу хімічної інженерії та розробки сучасних засобів та технологій.

Структура EFCE включає в себе робочі групи та секції з основних напрямків хімічної та харчової інженерії. Найменування секцій: 1) проектування та інженерія цільового продукту; 2) харчової інженерії; 3) мембранної інженерії; 4) сталого розвитку.

Робочі групи федерації: 1) освіти; 2) комп'ютерної процесної інженерії; 3) безпеки на виробництві та мінімізації шкідливих промислових викидів; 4) інженерія хімічних реакцій; 5) сепарація рідин; 6) електрохімічна інженерія; 7) кристалізація; 8) течія багатофазних середовищ; 9) змішання; 10) механіка подрібнених твердих фаз; 11) статична електрика у промисловості; 12) сушка; 13) роздроблення та класифікація; 14) системи характеризації частинок; 15) технології високого тиску; 16) інженерія полімерних реакцій; 17) агломерація; 18) інтенсифікація процесів; 19) термодинаміка та транспортні властивості; 20) дизайн та якість.

Українська асоціація хімічної і харчової інженерії (CFE-UA) являється структурно складовою частиною EFCE. Вчені України представлені в робочих групах – 2 (проф. П.О. Капустенко, НТУ «ХП»), – 4 (проф. А.А. Фокін, НТУУ «КПІ»), та – 15 (академік АА. Долинський, ІТ НАН України).

З ціллю підвищення визнання досягнень української хімічної і харчової інженерії вченими Європейської спільноти задачами CFE-UA вважаються: 1) підвищення рівня цитування наукових робіт у міжнародних науково-метричних базах; 2) зміцнити представництво України в робочих групах та секціях EFCE делегатами від асоціації CFE-UA за означеними напрямками; 3) сприяти безкоштовної публікації наукових розробок членів асоціації у провідних європейських журналах; 4) публікація матеріалів рекламного напрямку виробників та розробників хімічної і харчової продукції у виданнях; 5) надання регулярної інформації про проведення різного рівня міжнародних конференцій, форумів та семінарів в Україні та Європі; 6) утворення сприятливих умов для участі молодих вчених у Європейських конференціях за рахунок, наприклад, зниження суми організаційних внесків; 7) сприяння підвищенню професійного та етичного рівня своїх членів шляхом надання їм безкоштовної методологічної і консультаційної допомоги, організація і проведення лекцій, семінарів та інших заходів; 8) надання майданчиків і площ для проведення занять, тренувальних заходів і оздоровчих практик; 9) розробка пропозицій до державних програм, законодавчих актів, спрямованих на розвиток і удосконалення громадського суспільства в Україні, Євросоюзі та інших країн, сприяння втіленню їх у життя, і т.і.

CFE-UA сприятиме співробітництву вчених та виробників хімічної та харчової промисловості України з EFCE для загального розвитку хімічної та харчової промисловості. Члени Української асоціації хімічної і харчової інженерії своєчасно сплачувати вступні (400–1000 грн від регіонального осередку) та членські внески (400–1000 грн від регіонального осередку) в розмірах та строки, що встановлюються Правлінням Організації (протягом поточного місяця). Додаткову інформацію та реквізити для сплати членських внесків можна знайти на сайті асоціації cfe.org.ua

Громадська організація «Українська асоціація хімічної і харчової інженерії»

ОКПО 41071591

п/р 2600800119725 в ПАТ «СКАЙ БАНК», МФО 351254

Адреса: 61002, м. Харків, вул. Багалія, буд.21

ФІП та організація платника

Тел: +380577202223

Обов'язково на сайті cfe.org.ua треба заповнити анкету. Для листування можна використовувати адресу кафедри ІТПА НТУ «ХП» як адресу Українській асоціації хімічної і харчової інженерії: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХП», каф. ІТПА, секретар проф. Бухкало С.І.; тел. [+380932430788](tel:+380932430788), email: cfe.ukraine@gmail.com

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХПІ»**

Збірник наукових праць

Серія:
Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів

№ 41 (1263) 2017

Науковий редактор: канд. техн. наук, чл-кор. АН вищої освіти України, проф. С.І. Бухкало

Заст. редактора: д-р техн. наук, проф. О.П. Арсеньєва

Технічний редактор ст. викл. О.І. Ольховська

Відповідальний за випуск канд. техн. наук І. Б. Обухова

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХПІ».
Кафедра інтегрованих технологій, процесів та апаратів.
Тел.: (057) 707-63-04; e-mail: bis.khr@gmail.com

Підп. до друку 13.07.16 р. Формат 60×90 1/8. Папір офсетний.
Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. . Облік.-вид. арк.
Тираж 300 пр. 1-й з-д 1-100. Зам. № Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ДК № 3657 від 24.12.2009 р.
61002, Харків, вил Фрунзе, 21

Видавництво «Смугаста типографія»
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
серія ДК №4863 від 12.03.2015 р.
61019, Харків, вул. Чернишевська, 28-а, тел. (057) 754-49-42