МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях

Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology

№ 1(3)’ 2020

No. 1(3)’ 2020

Збірник наукових праць

Collection of Scientific papers

Видання засноване у 1961 р.

The edition was founded in 1961

Харків
НТУ «ХПІ», 2020

Kharkiv
NTU "KhPI", 2020

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». — Харків : НТУ «ХПІ», 2020. — № 1(3). — 124 с. — ISSN 2079-5459.

Видання публікує наукові результати та досягнення мультидисциплінарних досліджень молодих науковців широкого профілю у сферах машинобудування, енергетики, технологій органічних і неорганічних речовин, екології, інформаційних технологій і систем управління, техніки та електрофізики високих напруг, а також з фундаментальних аспектів сучасних технологій.

The journal publishes scientific results and accomplishments of multidisciplinary researches of young scientists of a wide profile in the field of machine building, energy, technologies of organic and inorganic substances, ecology, information technologies and control systems, high voltage techniques and electrophysics, as well as on the fundamental aspects of modern technologies.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації України
КВ № 23776-13616 від 14 лютого 2019 року.

Мова статей – українська, російська, англійська.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях *включено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії», затвердженого Наказом МОН України № 409 від 17.03.2020 р.*

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: «Нові рішення в сучасних технологіях» включений до зовнішніх інформаційних систем, у тому числі в наукометричну базу даних Index Copernicus (Польща), бібліографічну базу даних OCLC WorldCat (США), індексується пошуковими системами Google Scholar і Crossref; зареєстрований у світовому каталозі періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Офіційний сайт видання: http://vestnik2079-5459.khpi.edu.ua/

Засновник
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Founder
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

Редакційна колегія
Відповідальний редактор:
Сокол Є. І., д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України, НТУ «ХПІ», Україна
Члени редколегії:
Авдєєва О. П., НТУ «ХПІ», Україна
Брагіна Л. Л., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Буряковський С. Г., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Вєхов Є., Мерилендський університет, США
Гораш Є., проф., Університет Стратклайда, Великобританія
Демидов І. М., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Заковоротний О. Ю., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Клепіков В. Б., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Куліченко В. В., доц., НТУ «ХПІ», Україна
Ларін О. О., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Львов Г. І., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Мележик Є., Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАНУ, Україна
Меньшикова С.І. , НТУ «ХПІ», Україна
Піментел С. Р., проф., Федеральний Університет Гояс, Бразилія
Раскін Л. Г., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Томашевський Р. С., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Чжан К. Л., проф., Вроцлавський технологічний університет, Польща
Шевченко С. Ю., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Шестопалов О. В., доц., НТУ «ХПІ», Україна

Editorial staff
Associate editor:
Sokol E. I., dr. tech. sc., member-cor. of National Academy of Sciences of Ukraine, NTU "KhPI", Ukraine
Editorial staff members:
Avdieieva O. P., NTU "KhPI", Ukraine
Bragina L. L., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Buriakovskui S. G., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Vekhov Ye., University of Maryland, College Park, USA
Gorash Ye., prof., University of Strathclyde, UK
Demidov I. N., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Zakovorotniy A. Yu., prof., NTU "KPI", Ukraine
Klepikov V. B., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Kulichenko V. V., docent, NTU "KhPI", Ukraine
Larin A. A., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Lvov G. I., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Melezhik Ye., V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine
Menshikova S. I., NTU "KhPI", Ukraine
Pimentel S., prof., Federal University of Goias, Brazil
Raskin L. G., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Tomashevskyi R. S., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Chrzan K. L., prof., Wroclaw University of Technology, Poland
Shevchenko S. Yu., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Shestopalov A. V., docent, NTU "KhPI", Ukraine

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».
Протокол № 2 від 28 лютого 2020 р.

© Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2020

УДК 621.89: 621.762: 621.822 doi:10.20998/2413-4295.2020.03.01

АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ADI ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ

К. А. ГОГАЕВ[1], Ю. Н. ПОДРЕЗОВ[2], С. М. ВОЛОЩЕНКО[1], М. Г. АСКЕРОВ[1]*, Н. В. МИНАКОВ[2], Ю. Ф. ЛУГОВСКОЙ[3]

[1]отдел № 10, ИПМ НАН Украины, Киев, УКРАИНА
[2]отдел № 08, ИПМ НАН Украины, Киев, УКРАИНА
[3]отдел № 59, ИПМ НАН Украины, Киев, УКРАИНА
**e-mail: mukafatask@gmail.com*

АННОТАЦИЯ *Исследовано влияние температуры изотермического закаливания на механические свойства ADI материалов. Термообработка опытных образцов составляла с нагрева выше температуры превращения ферритной составляющей в аустените и изотермического закаливания при температурах от 280 до 380 ºС. В указанных диапазонах температур изучались пластические характеристики и параметры прочности образцов в зависимости от режимов термообработки. Особое внимание обращено на параметры деформационного упрочнения. Установлено, что при температурах изотермического закаливания в диапазоне 330-360 ºС при пластической деформации появляется TRIP эффект, появление которого сопровождается высокой скоростью упрочнения, за счет преобразования остаточного аустенита в мартенсит. Пластические характеристики меняются с увеличением температуры закалки. При 280 ºС прочность и твердость металла максимальная, а пластические свойства минимальны. Механические свойства исследованного бейнитного чугуна, закаленного при различных температурах удовлетворяют требованиям ASTM 897-90 кроме образцов закаленных при 400 °С. Твердость, предел текучести, предел прочности уменьшаются с повышением температуры закалки, пластичность и ударная вязкость увеличивается. При сжатии наблюдается два участка упрочнения: в области малых деформаций скорость изменения напряжения тем выше, чем ниже температура закалки, в области больших деформаций, наоборот, скорость упрочнения значительно выше в материалах, закаленных при более высоких температурах. Эффект объясняется изменением механизма упрочнения от дислокационного - при малых деформациях к TRIP эффекту при больших.*
Ключевые слова: *изотермическая закалка; ADI материалы; TRIP эффект; остаточный аустенит; мартенсит; пластическая деформация; температура закалки; бейнитный чугун*

ANALYSIS OF ADI STRAIN STRENGTHENING AT ISOTHERMAL TEMPERATURES HARDENING

K. GOGAEV[1], Y. PODREZOV[2], S. VOLOSCHENKO[1], M. ASKEROV[1], N. MINAKOV[2], Y. LUGOVSKOY[3]

[1]Department № 10, IPMS NAS of Ukraine, Kyev, UKRAINE
[2]Department № 08, IPMS NAS of Ukraine, Kyev, UKRAINE
[3]Department № 59, IPMS NAS of Ukraine, Kyev, UKRAINE

ABSTRACT *The effect of isothermal hardening temperature on the mechanical properties of ADI materials is investigated. The heat treatment of the test samples amounted to heating above the temperature of transformation of the ferrite component in austenite and isothermal hardening at temperatures from 280 to 380 °C. In the indicated temperature ranges, the plastic characteristics and strength parameters of the samples were studied depending on the heat treatment conditions. Particular attention is paid to the strain hardening parameters. It was found that at isothermal hardening temperatures in the range of 330-360 °C with plastic deformation, the TRIP effect appears, the appearance of which is accompanied by a high hardening rate due to the conversion of residual austenite to martensite. Plastic characteristics change with increasing quenching temperature. At 280 °C, the strength and hardness of the metal is maximum, and the plastic properties are minimal. The mechanical properties of the studied bainitic iron, quenched at various temperatures, satisfy ASTM 897-90 requirements except for samples quenched at 400 °C. Hardness, yield strength, and tensile strength decrease with increasing quenching temperature, ductility and impact strength increase. During compression, two sections of hardening are observed: in the region of small deformations, the rate of change of stress is higher, the lower the temperature of quenching, in the region of large deformations, on the contrary, the rate of hardening is much higher in materials quenched at higher temperatures. The effect is explained by a change in the hardening mechanism from dislocation - at small strains to the TRIP effect at large.*
Keywords: *isothermal hardening; ADI materials; TRIP effect; residual austenite; martensite; plastic deformation; hardening temperature; bainitic cast iron*

Введение

Высокопрочный чугун с шаровидной формой графита (ВЧШГ) - материал, который сочетает высокую прочность и удовлетворительную пластичность. В конце прошлого столетия созданием этого материала занимались такие украинские ученые как профессор К.И. Ващенко и его ученики,

© К. А. ГОГАЕВ, Ю. Н. ПОДРЕЗОВ, С. М. ВОЛОЩЕНКО, М. Г. АСКЕРОВ, Н. В. МИНАКОВ, Ю. Ф. ЛУГОВСКОЙ, 2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

работавшие в НАН Украины. [1-3]. Дальнейшее совершенствование этого материала связано с использованием специальной термической обработки, которая получила название аустемперинга (austempering), а полученный в результате такой обработки чугун был назван ADI (austempering ductile iron).

Изотермическая закалке чугуна при температурах 280 - 400 °С обеспечивает формирование ауст-ферритной структуры, которая склонна к распаду под действием пластической деформации с образованием мартенситной фазы [4,5]. Этот особый механизм упрочнения, получивший название TRIP - (transformation induce plasticity) эффект, способствует повышению сопротивления износу благодаря образованию высокопрочного деформированного слоя на поверхности трения, повышению усталостных характеристик [6-8].

Поскольку ADI является сложным материаловедческим объектом, проблема достижения необходимых служебных характеристик требует учета многих факторов, способных влиять на процесс структурообразования. Это позволяет в широком диапазоне варьировать технологические параметры для получения максимальных результатов. В частности, в предыдущих работах нами было: определен состав чугуна [6,9], оптимизированы условия его получения в литом состоянии, отработаны режимы термической обработки [9,10]; определен оптимальный состав модификаторов и разработана технология получения модификаторов путем прокатки порошков [11]; установленные режимы изотермического закаливания при которых образуется большое количество остаточного аустенита, склонного к распаду при пластическом деформировании [6,12]; установлены механизмы влияния остаточного аустенита на формирование механических свойств и параметров износа бейнитного высокопрочных чугунов [11,13]. Это позволило разработать технологические принципы производства бейнитного чугуна для его применения при изготовлении деталей сменного оборудования почвообрабатывающей сельхозтехники [11,14,15].

Однако, в реальных условиях базовую информацию о свойствах ADI получают из механических испытаний. Согласно требованиям международного стандарта ASTM 897-90, распределения ADI материалов по категориям (grades) проводится с учетом пять основных механических характеристик: твердость, HB, ударную вязкость, KC, предел текучести, σ_{02}, предел прочности, σ_{max}, и деформацию до разрушения δ, (испытания на растяжение). Однако, при изменении технологических параметров (например, температуры закалки) все вышеуказанные характеристики меняются монотонно и по этим изменениям трудно определить условия, при которых реализуется TRIP эффект.

Цель работы

Исследование влияния температуры изотермической закалки на механические свойства и параметры деформационного упрочнения ADI. Особое внимание обращено на особенности механического поведения, которые напрямую связаны с мартенситным превращением под действием деформации.

Материал и методика

Исследования проводились на образцах чугуна (3,44% C; 2,62% Si; 0,73% Mn; 0,024Cr; 0,54% Cu; 0,71% Ni). Химический состав обеспечивал в основном перлитоферритную структуру металлической матрицы, при твердости в литом состоянии на уровне 315-320HB. Шаровидная форма графита была получена за счет применения модификатора, который состоял из 7,5% Mg, 35% СК25, 17% Al. Структура чугуна создавалась в результате аустенизуючого отжига при 900 ° С с выдержкой в течение 30 мин и последующей изотермической закалки в жидком олове при температурах 280, 310, 330, 350, 370 и 400 ° С с выдержкой в течение 90 мин.

На образцах, полученных по разным режимам термообработки, был проведен комплекс механических испытаний. Испытания на растяжение и сжатие выполнялись на испытательных машинах CERAMTEST и UTS - 100, измерения твердости, HB, методом Бринелля по стандартной методике, ударной вязкости на копре КД-300.

Результаты экспериментов

В табл. 1 приведены результаты механических испытаний, полученных в результате осреднения минимум 5 измерений.

Изменение твердости с температурой имеет тенденцию к уменьшению с ростом температуры закалки, но резкое снижение твердости наблюдается только при низких температурах закаливания. Минимальные значения ударной вязкости ~ 30 Дж/см^2 демонстрируют исходные образцы и образцы, которые закалены при 400 °С. После температуры закалки 380 °С материал демонстрирует наибольшую ударную вязкость 90 Дж/см^2. Эту температуру следует рассматривать, как верхнюю границу интервала, где формируется структура аустоперинга. В интервал температур закалки 350 - 280 °С ударная вязкость несколько снижается, но остается на уровне 55-45 Дж/см^2.

Табл. 1 – Механические свойства образцов ADI после изотермического закаливания при различных температурах

$T_{із витр.}$, °C	σ_{02}	σ_m	δ	HB	KC	H/ σ_{02}
	МПа	МПа	%		Дж/см^2	
280	1043	1432	2,4	447	49	0,428571
310	910	1237	3,4	397	51,5	0,436264
330	824	1116	2,8	345	45	0,418689
350	751	1041	3,2	347	55	0,462051
380	673	880	3,8	323	90	0,479941
400	602	876	1,1	357	26	0,593023

Предел текучести и предел прочности уменьшаются с ростом температуры изотермической закалки. Важно, что предел прочности меняется с температурой закаливания быстрее, чем предел текучести. Полученные значения деформации до разрушения для всех структурных состояний находятся в пределах 2,5 – 4 %. Наблюдается тенденция к незначительному повышению с ростом температуры закалки. Исключением является образец, закаленный при температуре 400 °C, который демонстрирует аномально низкую равномерную деформацию.

Обобщая полученные результаты, следует заметить, что свойства материалов, закаленных при 280 до 370 °C, укладываются в 5 grades по классификации ASTM 897-90. Образцы закаленные на 400 °C находятся за пределами регламентированных значений, что указывает на то, что эта термообработка не является эффективной для реализации преимуществ аустоперинга.

Из полученных данных видно, что чувствительность твердости к изменению температуры закалки значительно меньше, чем для предела текучести. Как следствие, соотношение между твердостью и пределом текучести существенно увеличивается с понижением температуры закалки. Этот эффект, как и более быстрая смена разрушающего напряжения по сравнению с пределом текучести, объясняется различиями в механизмах упрочнения материалов, закаленных при различных температурах.

Механические свойства образцов ADI, испытанных на сжатие, приведены в табл. 2.

Табл. 2 – Механические свойства образцов ADI, испытанных на сжатие

$T_{із.витр.}$, °C	σ_{02}	σ_{max}	δ	σ_8	$HB_{ср}$	HB/σ_8	θ
	МПа	МПа	%	МПа			МПа
вихідні	737,6	1697,9	24,96	1116	310	0.36	
280	1020,0	2217,7	12,85	1590	447	0.35	3130
310	876,5	2338,9	24,33	1317	399	0.33	3420
330	732,0	2229,6	22,29	1152	360	0,32	4340
350	739,0	1961,1	23,01	1117	344	0,34	3480
380	681,0	2116,7	26,77	1135	323	0,35	4610

Сравнительный анализ результатов испытаний на растяжение и сжатие показал, что характер изменения предела текучести с температурой в обоих случаях похож, хотя абсолютные значения при испытаниях на сжатие примерно на 10% выше, что свидетельствует о наличии SD-эффекта, который характеризует различие (stress diferential) в деформирующем напряжении при растяжении и сжатии. Чаще всего этот эффект наблюдается в дисперсно-упрочненных материалах и связан с образованием пор вокруг дисперсных частиц при концентрации дислокаций вблизи границ раздела.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Ввиду наличия графитовых включений, этот механизм может работать в чугунах с сфероидезованным графитом.

Значительные изменения соотношения H/σ_{02}, приведенные в табл. 1, можно объяснить, учитывая, что соотношение между твердостью и напряжением течения является постоянной величиной только при 8% деформации. При такой деформации коэффициент пропорциональности между этими величинами равен 0,3. Испытания на сжатие позволяют определить напряжения течения при деформации 8% и определить соотношение между этим напряжением и твердостью. Приведенные в табл. 2 экспериментально определенные значения этого соотношения близки к 0,3 и слабо меняются с температурой закалки. То есть, обнаруженная аномалия соотношения между твердостью и пределом текучести связана с различными законами упрочнения в материалах, закаленные при различных температурах. Поскольку при сжатии схема нагружения является более "мягкой", чем при растяжении, деформация до разрушения значительно больше и для всех температур изотермической закалки изменяется в диапазоне 25-30%. Это позволяет проанализировать влияние условий закаливания на закономерности упрочнения в широком интервале деформаций.

В работе [16] А. Нафаль первым обратил внимание на особое поведение кривых упрочнения (ADI) материалов. Из анализа кривых упрочнения в работе [16] сделан вывод, что при более высоких деформациях механизм меняется благодаря деформационным процессам, вызванных мартенситным превращением, которые активизируются, когда деформация аустенита исчерпана. Увеличение степени деформации, стимулирует мартенситное превращение.

Выводы

Механические свойства исследованного бейнитного чугуна, закаленного при различных температурах удовлетворяют требованиям ASTM 897-90 кроме образцов закаленных при 400 °С. Твердость, предел текучести, предел прочности уменьшаются с повышением температуры закалки, пластичность и ударная вязкость увеличивается.

При сжатии наблюдается два участка упрочнения: в области малых деформаций скорость изменения напряжения тем выше, чем ниже температура закалки, в области больших деформаций, наоборот, скорость упрочнения значительно выше в материалах, закаленных при более высоких температурах. Эффект объясняется изменением механизма упрочнения от дислокационного - при малых деформациях к TRIP эффекту при больших.

Список литературы

1. Ващенко К. И., Софрони Л. *Магниевый чугун*. Киев: Машгиз., 1960. 485 с.
2. Волощенко М. В. *Термическая обработка высокопрочного чугуна*. К.: Гостехиздат УССР, 1961. 97 с.
3. Найдек В. Л., Гаврилюк В. П., Неижко И. Г. *Бейнитный высокопрочный чугун.* К., 2008. 140 с.
4. Kim H., Lee J., Barlat F., Kim D., Lee M.-G. Experiment and modeling to investigate the effect of stress state. strain and temperature on martensitic phase transformation in TRIP-assisted steel. *Acta Materialia*. 2015. 97. P. 435-444. doi: 10.1016/j.actamat.2015.06.023.
5. Li X. H., Saal P., Gan W. M., Hoelzel M., Volk W., Petry W., Homann M. Strain-Induced Martensitic Transformation Kinetic in Austempered Ductile Iron (ADI). *Metallurgical and Materials Transactions A*. 2018. 49. P. 94-104. doi: 10.1007/s11661-017-4420-3.
6. Гогаєв К. О., Подрезов Ю. М., Волощенко С. М. *Новые области использования высокопрочных чугунов*. *Наука про матеріали: досягнення та перспективи*. Т.1. К.: Академпер., 2018. 652 с.
7. Yang C., Northwood D. O., Liu Ch. Effect of prior martensite on mechanical properties of austempered ductile iron. *International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements*. 2018. Vol. 6. No. 3. P. 455-462. doi: 10.2495/CMEM-V6-N3-455-462.
8. Babazadeh M., Pourasiabi H. Wear Characteristics of ADIs; A Comprehensive Review on Mechanisms and Effective Parameters. *J. Basic. Appl. Sci. Res.* 2013. 3(2). P. 646-656.
9. Волощенко С. М. Бейнітний високоміцний чавун для ґрунтообробної техніки. *Агроперспектива*. 2006. № 7. С. 50-51.
10. Волощенко С. М., Гогаев К. О., Радченко О. К., Аскеров М. Г., Варченко В. Т. Дослідження властивостей високоміцного чавуну для лемешів в залежності від хімічного складу та режимів термообробки. *Зб.наук.праць «Вісник Донбаської державної машинобудівної академії»*. Краматорськ. 2008. № 1(11). С. 56-61.
11. Волощенко С. М., Гогаєв К. О., Радченко О. К., Шейко О. І., Аскеров М. Г. Спосіб виготовлення модифікатора. Патент України № 88530. Бюл. № 20-2009.
12. Волощенко С. М., Непомнящий В. В., Аскеров М. Г., Мосина Т. В., Бега Н. Д. Влияние термической обработки на фазовый состав и свойства высокопрочного чугуна. *Сталь*. 2013. № 8. С. 64-69.
13. Гогаев К. А., Подрезов Ю. Н., Волощенко С. М., Гринкевич К. Є., Ткаченко И. В., Коваленко М. В. Влияние температуры и условий нагружения на характеристики износа бейнитного чугуна. *Проблеми тертя та зношування*. 2017. №3(76). С. 42-51.
14. Антонець С. С., Волощенко С. М., Гогаєв К. О., Миропольский О. М., Резинка Г. М., Семчук Г. І. Робочий орган культиватора. Патент України № 99964. Бюл. № 12 05.06.15.
15. Гогаєв К. О., Волощенко С. М. Бейнітний чавун для швидкозношуваних змінних деталей сільгосптехніки. *Вісник Національної академії наук України.* 2015. № 9. С. 64-68.
16. Nofal A. Advances in the Metallurgy and Applications of ADI. *Journal of Metallurgical Engineering (ME)*. 2012. Vol. 2. Issue 1. P. 1-18.

References (transliterated)

1. Vashhenko K. I., Sofroni L. *Magnievy`j chugun*. Kiev, Mashgiz, 1960, 485 p.

2. Voloshhenko M. V. *Termicheskaya obrabotka vy`sokoprochnogo chuguna*. K., Gostekhizdat USSR, 1961, 97 p.
3. Najdek V. L., Gavrilyuk V. P., Neizhko I. G. *Bejnitny`j vy`sokoprochny`j chugun*. K., 2008, 140 p.
4. Kim H., Lee J., Barlat F., Kim D., Lee M.-G. Experiment and modeling to investigate the effect of stress state. strain and temperature on martensitic phase transformation in TRIP-assisted steel. *Acta Materialia*, 2015, 97, pp. 435-444, doi: 10.1016/j.actamat.2015.06.023.
5. Li X. H., Saal P., Gan W. M., Hoelzel M., Volk W., Petry W., Homann M. Strain-Induced Martensitic Transformation Kinetic in Austempered Ductile Iron (ADI). *Metallurgical and Materials Transactions A*, 2018, 49, pp. 94-104, doi: 10.1007/s11661-017-4420-3.
6. Gogayev K. O., Podrezov Yu. M., Voloshhenko S. M. *Novy`e oblasti ispol`zovaniya vy`sokoprochny`kh chugunov. Nauka pro materi`ali: dosyagnennya ta perspektivi*. T.1, K., Akademper., 2018, 652 p.
7. Yang C., Northwood D. O., Liu Ch. Effect of prior martensite on mechanical properties of austempered ductile iron. I*nternational Journal of Computational Methods and Experimental Measurements*, 2018, Vol. 6, no. 3, pp. 455-462, doi: 10.2495/CMEM-V6-N3-455-462.
8. Babazadeh M., Pourasiabi H. Wear Characteristics of ADIs; A Comprehensive Review on Mechanisms and Effective Parameters. *J. Basic. Appl. Sci. Res.*, 2013, 3(2), pp. 646-656.
9. Voloshhenko S. M. Bejni`tnij visokomi`cznij chavun dlya g`runtoobrobnoyi tekhni`ki. *Agroperspektiva*, 2006, 7, pp. 50-51.
10. Voloshhenko S. M., Gogaev K. O., Radchenko O. K., Askerov M. G., Varchenko V. T. Dosli`dzhennya vlastivostej visokomi`cznogo chavunu dlya lemeshi`v v zalezhnosti` vi`d khi`mi`chnogo skladu ta rezhimi`v termoobrobki. *Zb.nauk.pracz` «Vi`snik Donbas`koyi derzhavnoyi mashinobudi`vnoyi akademi`yi»*, Kramatorsk, 2008, 1(11), pp. 56-61.
11. Voloshhenko S. M., Gogayev K. O., Radchenko O. K., Shejko O. I`., Askerov M. G. Sposi`b vigotovlennya modifi`katora. Patent Ukrayini № 88530. Byul. № 20-2009.
12. Voloshhenko S. M., Nepomnyashhij V. V., Askerov M. G., Mosina T. V., Bega N. D. Vliyanie termicheskoj obrabotki na fazovy`j sostav i svojstva vy`sokoprochnogo chuguna. *Stal`*, 2013, 8, pp. 64-69.
13. Gogaev K. O., Podrezov Y. M., Voloschenko S. M., Tkachenko I. V., Kovalenko M. V. The influence of temperature and loading conditions on wear parameters of bainitic cast iron. *Problems of friction and wear*, 2017, 3(76), pp. 42-51.
14. Antonecz` S. S., Voloshhenko S. M., Gogayev K. O., Miropol`skij O. M., Rezinka G. M., Semchuk G. I`. Robochij organ kul`tivatora. Patent Ukrayini № 99964. Byul. № 12. 05.06.15.
15. Gogayev K. O., Voloshhenko S. M. Bejni`tnij chavun dlya shvidkoznoshuvanikh zmi`nnikh detalej si`l`gosptekhni`ki. *Vi`snik Naczi`onal`noyi akademi`yi nauk Ukrayini*, 2015, 9, pp. 64-68.
16. Nofal A. Advances in the Metallurgy and Applications of ADI. *Journal of Metallurgical Engineering (ME)*, 2012, Vol. 2, Issue 1, pp. 1-18.

Сведения об авторах (About authors)

Гогаев Казбек Александрович - доктор технических наук, профессор, Институт проблем материаловедения НАН Украины, зав. отделом №10 ИПМ НАН Украины, г. Киев, Украина; e-mail: gogaev@ipms.kiev.ua.

Kazbek Gogaev - doctor of technical, professor, Institute of Problems of Materials Science of NAS of Ukraine, head of Department №10 of IPM of NAS of Ukraine, Kyev, Ukraine; e-mail: gogaev@ipms.kiev.ua.

Подрезов Юрий Николаевич - доктор физико-математических наук, Институт проблем материаловедения НАН Украины, зав. отделом №08 ИПМ НАН Украины, г. Киев, Украина; e-mail: yupodrezov@ukr.net.

Yuriy Podrezov - Doctor of Physics and Mathematics, Institute of Materials Science, NAS of Ukraine, Head of Department № 08 of the IPM NAS of Ukraine, Kyev, Ukraine; e-mail: yupodrezov@ukr.net.

Волощенко Сергей Михайлович - доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем материаловедения НАН Украины, старший научный сотрудник отдела №10 ИПМ НАН Украины, г. Киев, Украина; e-mail: volosch@ipms.kiev.ua.

Sergey Voloshchenko - doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, Institute for Problems of Materials Science of the National Academy of Sciences of Ukraine, Senior Researcher, Department №10 of IPM of NAS of Ukraine, Kyev, Ukraine; e-mail: volosch@ipms.kiev.ua.

Аскеров Мукафат Гейбат оглы - кандидат технических наук, Институт проблем материаловедения НАН Украины, старший научный сотрудник отдела №10 ИПМ НАН Украины, г. Киев, Украина; e-mail: mukafatask@gmail.com.

Askerov Mukafat Geibat ogly - candidate of technical sciences, Institute for Problems of Materials Science of the National Academy of Sciences of Ukraine, senior researcher of the department №10 of IPM of NAS of Ukraine, Kyev, Ukraine; e-mail: mukafatask@gmail.com.

Минаков Николай Вениаминович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, отдел №08 ИПМ НАН Украины, г. Киев, Украина; e-mail: mukafatask@gmail.com.

Nikolay Minakov **–** Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Department № 08 of IPM of NAS of Ukraine, Kyev, Ukraine; e-mail: mukafatask@gmail.com.

Луговской Юрий Федорович **–** доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, отдел №59 ИПМ НАН Украины, г. Киев, Украина; e-mail: mukafatask@gmail.com.

Yuri Lugovskoy **–** Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, Department №59 of IPM of NAS of Ukraine, Kyev, Ukraine; e-mail: mukafatask@gmail.com.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Гогаев К. А., Подрезов Ю. Н., Волощенко С. М., Аскеров М. Г., Минаков Н. В., Луговской Ю. Ф. Анализ деформационного упрочнения ADI при температурах изотермической закалки. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 3-8. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.01.

Please refer to this article as follows:

Gogaev K., Podrezov Y., Voloshchenko S., Askerov M., Minakov N., Lugovskoy Y. Analysis of strain hardening of ADI at isothermal hardening temperatures. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1 (3), pp. 3–8, doi:10.20998/2413-4295.2020.03.01.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю таким чином:

Гогаєв К. О., Подрєзов Ю. М., Волощенко С. М., Аскеров М. Г., Мінаков М. В., Луговський Ю. Ф. Аналіз деформаційного зміцнення ADI при температурах ізотермічного загартування. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 3-8. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.01.

АНОТАЦІЯ *Досліджено вплив температури ізотермічного загартування на механічні властивості ADI матеріалів. Термообробка дослідних зразків становила з нагріву вище температури перетворення феритної складової в аустеніті і ізотермічного загартування при температурах від 280 до 380оС. У зазначених діапазонах температур вивчалися пластичні характеристики і параметри міцності зразків в залежності від режимів термообробки. Особливу увагу спрямовано на параметри деформаційного зміцнення. Встановлено, що при температурах ізотермічного гартування в діапазоні 330-360оС при пластичної деформації з'являється TRIP ефект, поява якого супроводжується високою швидкістю зміцнення, за рахунок перетворення залишкового аустеніту в мартенсит. Пластичні характеристики змінюються зі збільшенням температури гарту. При 280оС міцність і твердість металу максимальна, а пластичні властивості мінімальні. Механічні властивості дослідженого бейнітного чавуну, загартованого при різних температурах задовольняють вимогам ASTM 897-90 крім зразків загартованих при 400 ° С. Твердість, межа плинності, межа міцності зменшуються з підвищенням температури гарту, пластичність і ударна в'язкість збільшується. При стисненні спостерігається дві ділянки зміцнення: в області малих деформацій швидкість зміни напруги тим вище, чим нижче температура гарту, в області великих деформацій, навпаки, швидкість зміцнення значно вище в матеріалах, загартованих при більш високих температурах. Ефект пояснюється зміною механізму зміцнення від дислокаційного - при малих деформаціях до TRIP ефекту при великих.*

Ключові слова: *ізотермічна гарт; ADI матеріали; TRIP ефект; залишковий аустеніт; мартенсит; пластична деформація; температура гарту; бейнітний чавун*

Поступила (received) 11.02.2020

УДК 658.22-658.511 doi:10.20998/2413-4295.2020.03.02

СОВРЕМЕННЫЙ ПУТЬ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ, КАК ОСНОВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ УКРАИНЫ

И. М. ДЕГТЯРЕВ[1*], А. А. НЕШТА[1], Н. Ф. САМАРДАК[2]

[1] кафедра технологии машиностроения, станков и инструментов, Сумский государственный университет, Сумы, УКРАИНА
[2] ПАО «Сумский завод «Насосэнергомаш», Сумы, УКРАИНА
[*]e-mail: ivan_dehtiarov@tmvi.sumdu.edu.ua

АННОТАЦИЯ *Анализируется проблема подготовки специалистов заведениями высшего образования в области проектирования и изготовления насосного оборудования для предприятий Украины. В работе детально рассмотрена организационная структура, присущая предприятиям машиностроения Украины и стран СНГ, и выполнено ее сравнение со структурой предприятий развитых стран с рыночной экономикой. Выявлены причины низкой конкурентоспособности машиностроительных предприятий Украины и предложены пути их решения. Приведены примеры организации структуры предприятий Украины специализирующихся на изготовлении насосного оборудования, а также показано влияние их структуры на конкурентоспособность. На основе анализа структурных схем взаимодействия отделов и бюро предприятий насосостроения Украины и развитых стран, а также потребностей рынка труда определен круг обязанностей современного инженерно-технического работника для конкурентоспособного предприятия. Показана роль современных инженерно-технических работников в конкурентоспособности продукции. Предложен новый термин – «инженер-разработчик», который наиболее точно характеризует современного инженерно-технического работника и отвечает потребностям рынка труда. Сформированы требования к инженерно-техническим работникам предприятий Украины в области насосостроения. Предложено объединение функций конструкторских, технологических подразделений и отдела маркетинга в подразделение инженера-разработчика для сокращения времени выпуска продукции, что позитивно отразится на конкурентоспособности предприятия. В работе приведена методика подготовки данных кадров с точки зрения потребностей производства на базе заведений высшего образования в рамках углубленного межкафедрального сотрудничества на основе кафедр технического направления при содействии кафедр управления и экономики. В методике приведены этапы подготовки будущих специалистов, включающие отбор и формирование групп, руководство, и процесс трудоустройства, а также перечень базовых, и дополнительных дисциплин для студентов образовательно профессиональной программы «Гидравлические машины и аппараты» и смежных с ней.*
Ключевые слова: *машиностроение; насосостроение; конкурентоспособность; опытный образец; инженер-разработчик; эффективность; предприятие*

THE MODERN WAY OF ENGINEERING WORKERS TRAINING AS THE BASIS FOR THE COMPETITIVENESS INCREASING OF UKRAINE'S MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

I. DEHTIAROV[1], A. NESHTA[1], N. SAMARDAK[2]

[1] Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools, Sumy State University, Sumy, UKRAINE
[2] PAO «Sumy plant «Nasosenergomash» Sumy, UKRAINE

ABSTRACT *It is analyzed the problems of specialists training by higher education institutions in the field of designing and manufacturing pumping equipment for enterprises in Ukraine. In the work examines details organizational structure inherent in engineering enterprises of Ukraine and the CIS countries, and comparativeness it with the structure of enterprises in developed countries with a market economy. The reasons for the low competitiveness of engineering enterprises in Ukraine are identified and ways to solve them are proposed. Examples of the organization structure of Ukrainian enterprises specializing in pumping equipment manufacture are given, and the influence of their structure on competitiveness is shown. Based on the analysis of the structural schemes of interaction between departments and bureaus of pumping enterprises in Ukraine and developed countries, as well as the needs of the labor market, the responsibilities of a modern engineering worker for a competitive enterprise are determined. The role of modern engineering workers in the competitiveness of products is shown. In article proposed a new term – "engineer-creator", which most accurately characterizes the modern engineering and technical worker and meets the needs of the labor market. Requirements for engineering and technical workers of Ukrainian enterprises in the field of pump engineering have been formed. It is proposed to combine the functions of design, technological units and the marketing department into a subdivision of a engineer-creator to reduce production time, which will be positively affects by the competitiveness of the enterprise. In the article presents a methodology for training these personnel from the point of view of production needs on the basis of higher education institutions as part of in-depth inter-department cooperation on the basis of technical departments with the assistance of management and*

© И. М. ДЕГТЯРЕВ, А. А. НЕШТА, Н. Ф. САМАРДАК, 2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

economics departments. The methodology describes the stages of training of future specialists, including the selection and formation of groups, management, and the process of employment, as well as a list of basic and additional disciplines for students of the educational and professional program "Hydraulic Machines and Devices" and related ones.
Keywords: *mechanical engineering; pump engineering; competitiveness; prototype; engineer-creator; efficiency; enterprise*

Введение

В современном мире машиностроение является одной из главных образующих отраслей экономики любого развитого государства. С развитием других отраслей экономики (добывающая, аграрная и др. отрасли), которые являются потребителями продукции машиностроения, его важность для технического прогресса страны постоянно возрастает. Изобретение материалов с новыми свойствами и запросы потребителей вынуждает машиностроительную отрасль постоянно совершенствовать подходы к изготовлению качественной и конкурентоспособной продукции, как для внутреннего, так и для внешнего рынка.

В настоящее время в машиностроении страны все еще продолжается переход к организации деятельности и управления в условиях рыночных отношений. При этом одну из главных ролей играет тот факт, что структура данного сектора мирового рынка уже сложилась, на нем действует жесткая конкуренция по всем видам продукции. В связи с этим перед предприятиями Украины стоит важная проблема – занять на мировых рынках подобающее место. Но на большинстве крупных предприятий Украины до сих пор не проведены изменения их структуры, которая диктуется основными требованиями рынка – минимальные сроки изготовления и максимальная технологичность продукции. Для этого необходимо совершенствовать управление предприятиями во всех аспектах их деятельности: планирование, производство и реализация продукции.

Машиностроение является большой отраслью с множеством разных направлений, а именно автомобилестроение, авиастроение, тракторостроение, станкостроение, приборостроение, общее машиностроение и т. д. Общее машиностроение включает в себя транспортное машиностроение (кроме автомобилестроения), производство технологического оборудования для промышленности и строительства, сельскохозяйственное машиностроение (кроме тракторостроения) и др. [1].

В Украине существующая структура серийных машиностроительных предприятий является результатом полученного от СССР наследства. Как и в других государствах СНГ, предприятия по регионам располагались в зависимости от наличия месторождений ресурсов, потребительского рынка и других факторов.

Для использования максимально достоверной и конкретной информации в дальнейшем будем, в качестве примера, анализировать насосостроение, которое относится к наиболее распространенной части – общему машиностроению и в Сумской области представлено предприятиями: ПАО «Сумский завод «Насосэнергомаш», ПАО «Сумское НПО», ЧАО «Свесский насосный завод» и разработчиком их основной продукции АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт атомного и энергетического насосостроения» (ВНИИАЭН).

Благодаря такой концентрации потенциала в области проектирования и изготовления насосного оборудования город Сумы на данный момент в Украине является ведущим в области насосостроения.

Современное машиностроение характеризуется большой номенклатурностью продукции. Средние и крупные машиностроительные предприятия Украины на сегодняшний день не способны составить конкуренцию предприятиям развитых стран по многим причинам:

- высокие энергозатраты на выпуск изделий (примерно на 50–70% выше, чем аналогичные показатели предприятий развитых стран) [2-4];
- не соответствующее требованиям сегодняшнего дня, качество изготавливаемой продукции;
- большие затраты времени на выпуск продукции [5], в том числе связанные с организационной подготовкой при разработке и изготовлении новых изделий [6].

Первая причина может быть устранена лишь покупкой высокоэффективного оборудования и использованием заготовок с высоким коэффициентом использования материала.

Вторая причина устраняется путем введения и выполнения системы международных стандартов на предприятии и организации системы управления проектированием и производством машиностроительной продукции с использованием инструментария для контроля, анализа и управления согласно нормативным документам ДСТУ ISO 9000 [7].

Третья причина может быть устранена путем сокращения времени на конструкторскую, технологическую и организационную подготовку производства, что особенно актуально при большой номенклатуре выпуска изделий.

Одновременно с этим нужно учитывать, что и внутри страны формируется рынок продукции машиностроения с типовыми рыночными механизмами и отношениями, на котором действуют соответствующие субъекты: производители, потребители, институциональные органы. На нем, как и на мировом, действует жесткая конкуренция по всем видам продукции. В связи с этим перед машиностроительными предприятиями Украины стоит острейшая проблема – существенно повысить

эффективность своей деятельности. Так как основными характеристиками конкурентоспособного производства является минимальная цена и минимальные сроки выпуска продукции в сравнении с конкурентами. Как правило, эти два фактора являются противоположными, но в некоторых случаях потребители продукции в первую очередь нуждаются в минимальных сроках поставки, что является основным фактором. Это требование может быть обеспечено предприятиями, изготавливающими продукцию насосостроения, с новым для Украины подходом к проектированию и изготовлению продукции на предприятиях данного типа, с наличием отдела инженерно-технических работников новой формации, что позволит сократить сроки конструкторско-технологической подготовки производства и при прочих равных условиях иметь преимущество при проведении тендеров на изготовление продукции насосостроения.

По данным работы [8] в Украине с 2010 по 2016 годы наблюдается существенное снижение объемов производства в целом и продукции машиностроения в частности около 60% по сравнению с 2010 годом.

Повышение эффективности не может достигаться только экстенсивными методами, то есть только за счет роста инвестиций в отрасль. К тому же в настоящее время ресурсы в нашей стране весьма ограничены. В связи с этим для решения задач повышения эффективности основной деятельности машиностроительным предприятиям необходимо использовать, прежде всего, возможности, предоставляемые внутренними факторами. Среди этих факторов особое место занимает организация основной деятельности, которая формализуется в организационной структуре предприятия.

Единственной наилучшей организационной структуры не существует, изменение условий внутренней и внешней среды, как правило, требует ее перестройки [9,10]. Рыночная экономика существенно отличается от плановой в части организации как производства, так и управления, поэтому в машиностроительной промышленности нашей страны в настоящее время идет процесс совершенствования структур и систем управления. Поиск наилучших организационных решений не является проблемой отдельного предприятия, это массовое явление масштаба национальной экономики [11].

Более того, в последние годы выявлено достаточно много существенных недостатков в организации управления машиностроительными предприятиями. Отмечаются сложившаяся годами и до сих пор сохраняющаяся громоздкость аппарата управления, статичность организационной системы на этапах согласования с заказчиком (маркетинговый отдел), проектирования (конструкторский отдел) и изготовления (технологический отдел). Все эти недостатки приобретают особую остроту в условиях высокого темпа изменений и нестабильности как внешней среды, так и внутренних переменных организаций, когда требуется оперативная адаптация к изменившимся условиям, то есть оперативное решение задач, поставленных заказчиком.

Цель работы

Обоснование возможности сокращения времени выпуска продукции путем объединения функций конструкторского, технологического бюро и отдела маркетинга в отделе инженера-разработчика.

Реализацией указанного пути будет подготовка данных специалистов на базе заведений высшего образования (ЗВО) в рамках углубленного межкафедрального сотрудничества на основе кафедр технического направления при частичном содействии кафедр экономики и управления.

Изложение основного материала

Исторически сложилось, что в Украине за годы независимости на большинстве средних и крупных машиностроительных предприятий остались схемы организации и работы отделов и бюро, как было организовано во времена плановой экономики.

Эта организация подразумевала при проектировании любого изделия (принципиально нового или схожего с аналогом) обязательный этап проектирования и изготовления опытного образца. Как правило, созданием новых изделий занимались научно-исследовательские институты, которые непосредственно создавались для обеспечения научно-проектной составляющей на предприятиях. Жизненный цикл создания нового насоса, а именно этапы проектирования, изготовления и испытаний занимал около 5 лет. При этом серийное производство начиналось только после окончания испытаний и получения на опытном образце технических характеристик согласно техническому заданию. В общем виде схема изготовления насосов предусматривала наличие конструкторского, технологического бюро, отдела маркетинга и отдела по производству и испытанию опытного образца со схемой взаимосвязей (рис. 1) [12].

Данная схема и в наше время практически не изменилась, так как продукция предприятий была направлена в основном на внутренний рынок и рынки государств СНГ, где действовали такие же организационные схемы и требования к качеству, а также связи предприятий, образовавшиеся ранее.

Но в связи с тем, что все государства живут в условиях рыночной экономики, стали существенно повышаться требования к качеству и срокам выпуска продукции [13-15]. В связи с этим, а также с необходимостью осваивать новые рынки сбыта, предприятиям Украины нужно быть конкурентоспособными на фоне предприятий других стран.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Рис. 1 – Структурная схема изготовления насосов на средних и крупных машиностроительных предприятиях в условиях плановой экономики

По результатам исследований [16,17] количество машиностроительных предприятий, занимающихся инновационной деятельностью постоянно уменьшается; доля реализованной инновационной продукции в общем объеме составляет лишь 3,5–4 %, а объем импорта высокотехнологичной продукции значительно превышает размеры собственного производства; уровень наукоемкости промышленного производства всего 0,3 %. Все это тормозит процесс создания конкурентоспособной продукции и как следствие – неспособность обеспечить другие отрасли экономики высокоэффективной собственной продукцией, занять определенную нишу мирового машиностроения.

В странах западной Европы, США, Канады, Китая и других развитых странах большую часть как по количеству, объемам производства продукции и соответственно своего вклада в государственный бюджет занимают малые и средние предприятия. Так, например численность людей, занятых на малых предприятиях в Германии достигает 70%, Франции – 80%, США – 60%, Китае – 75%. В странах СНГ этот показатель не превышает 35% [18].

На предприятиях такого класса работает не более 250 человек, следовательно, каждый работник должен вносить максимальную эффективность в деятельность предприятия. То есть для поддержания конкурентоспособности организации штат сотрудников максимально оптимизирован, с четким распределением обязанностей и минимальными сроками выполнения.

В связи с этим на данных предприятиях с целью уменьшения непроизводственного времени, а именно времени на заключение договоров и согласование технического задания с заказчиками, разработкой конструкторской документации, разработкой технологической документации, техническим сопровождением выполнения заказа и проведением испытаний занимается одно структурное подразделение. Данное подразделение инженерно-технических работников состоит из сотрудников одинаковой квалификации и компетенции в рамках сферы деятельности предприятия. Каждый из сотрудников занимается собственным проектом, но является «взаимозаменяемым» с другими работниками отдела.

Таким образом, схема взаимосвязей отделов и бюро на предприятиях по изготовлению насосов в условиях рыночной экономики должна представлять собой структуру (рис. 2).

Как видно, данная схема предполагает отсутствие этапов опытного образца, участие в производстве отдела нормоконтроля и технологического контроля, что делает недопустимым ошибки со стороны разработчика на этапе проектирования.

Поэтому в связи реструктуризацией производства роль инженерно-технического работника крайне важна. В условиях современной рыночной экономики и ситуации на рынке труда Украины возникла потребность в высококвалифицированных современных инженерах в области насосостроения с формированием достаточно широкого круга обязанностей [19-21], которые как правило, выходят за рамки типовых должностных инструкций инженера-конструктора и инженера-технолога [22]. Потребность в данных сотрудниках продиктована необходимостью повышения эффективность деятельности предприятия за счет сокращения непроизводственных затрат времени, связанных с выпуском продукции.

Удовлетворение запросов рынка труда в области насосостроения может быть достигнуто двумя путями.

Первый путь – это привлечение на предприятие высококвалифицированных специалистов из сторонних организаций, в основном мелких частных фирм. Так как в настоящий момент данные специалисты могут развить необходимый уровень только на мелких предприятиях, где каждый сотрудник имеет несколько должностных обязанностей с высоким уровнем ответственности. Основным преимуществом данного пути является наличие высокой квалификации сотрудника и минимальные сроки адаптации к условиям работы предприятия. Недостатком является необходимость выплачивать большую зарплату во избежание «переманивания» сотрудника на предприятия-конкуренты.

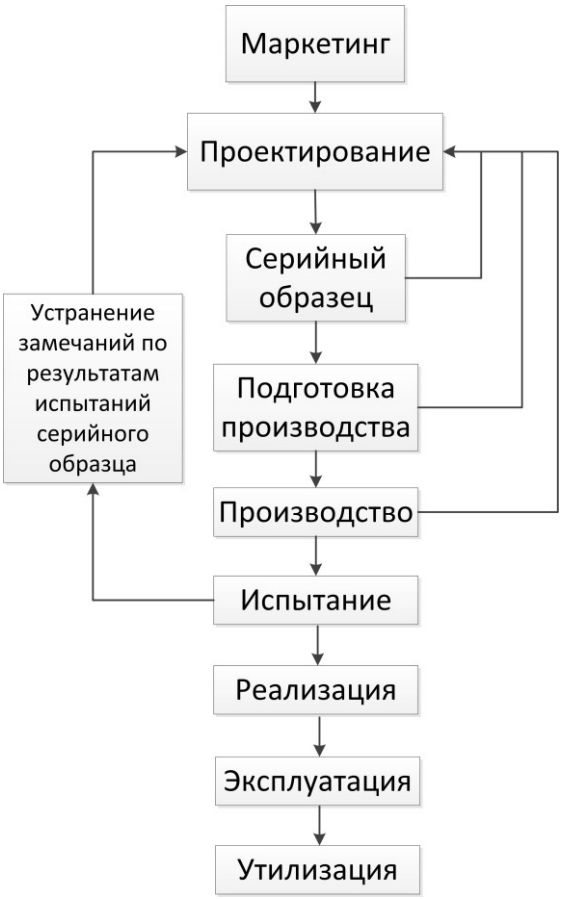


Рис. 2 – Структурная схема изготовления насосов на машиностроительных предприятиях в условиях рыночной экономики

Второй путь – это воспитание высококвалифицированного специалиста в ЗВО в рамках углубленного межкафедрального сотрудничества с внедрением будущего специалиста в производственный процесс на этапе обучения. Такая подготовка должна проводится непосредственно под задачи предприятия–заказчика данного специалиста. Основным преимуществом такого варианта является отсутствие сроков адаптации к условиям производства, так как специалист приходит на рабочее место, зная свои обязанности и структуру работы предприятия. Первое рабочее место и создание комфортных условий труда с достойной заработной платой и поощрениями будут способствовать профессиональному развитию сотрудника и формирования доверительных отношений с предприятием. При этом процесс обучения нужно сформировать по специальному графику, с основным упором на выполнение учебных задач, привязанных к конкретному производству, например насосостроение, которое и рассматривается в статье. Недостатком такого подхода к воспитанию специалиста, с точки зрения предприятия, является необходимость заранее проводить переговоры с будущим сотрудником и с ЗВО, а также около 2-х лет ожидать и оказывать всяческое содействие ЗВО в его подготовке.

В связи с вышесказанным для долгосрочной перспективы работы руководству предприятия более целесообразно выбрать второй путь создания надежного кадрового потенциала высокой квалификации при тесном сотрудничестве с ЗВО и решением производственных задач студентами в рамках хоздоговорных тематик. Участие в хоздоговорных тематиках студентов, занимающихся по специальному графику, поможет ускорить процесс их подготовки и постепенного вливания в структуру предприятия. Кроме того у предприятия появляется возможность решения актуальных производственных задач, в рамках уже профинансированной подготовки студентов занятых в хоздоговорной тематике.

Реальная потребность со стороны предприятий в высококвалифицированных инженерно-технических работниках новой формации, ставит перед ЗВО задачу готовности к возникшим запросам и возможности их выполнить.

Исходя из вышесказанного, обязанности инженерно-технических работников подвергнутся сильным изменениям и расширению. В связи с этим предлагается в терминологии отойти от традиционных названий квалификаций инженерно-технических работников согласно перечню (например инженер-конструктор, инженер-технолог) и ввести термин – **инженер-разработчик.**

Также стоит отметить, что с переходом на другое название общеобразовательных квалификационных программ для студентов уровней бакалавр и магистр не предусмотрено название квалификации инженер-конструктор и инженер-технолог.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Обсуждение результатов

Так как вводится новый термин, то необходимо выделить круг полномочий и обязанностей, которые будут входить в функции инженера-разработчика:

1) Разработка технического задания на изготовление изделия и участие в переговорах. Это предполагает ведение прямых переговоров с представителями заказчика по техническим вопросам, срокам изготовления/поставки. Прямые переговоры должны делегироваться инженеру-разработчику юридическим лицом от предприятия в процессе выполнения договора (контракта).

2) Руководство или самостоятельная разработка конструкции изделия согласно техническому заданию. Под этим следует понимать, что разработка технической документации проводится непосредственно одним человеком. В случае масштабного проекта ответственный инженер-разработчик собирает рабочую группу из минимально необходимого количества специалистов для выполнения заказа в установленные сроки.

3) Контроль выполнения календарного плана на этапе проектирования/разработки. Этот пункт предполагает ежедневное отслеживание сроков, указанных в календарном плане и оперативное принятие мер в случае форс-мажорных ситуаций с конечной целью выпуска изделия в оговоренный с заказчиком срок. Ответственность за невыполнение сроков полностью лежит на инженере-разработчике.

4) Сопровождение и контроль процесса подготовки производства. Инженер-разработчик должен донести до начальника производства содержание разработки. В ответ начальник производства должен оценить возможности производства на предмет изготовления разработанного изделия и в случае затруднений с качественным выполнением и сроками изготовления изложить их инженеру-разработчику. При этом инженер-разработчик должен способствовать убеждению соответствующих служб в необходимости финансирования при решении имеющихся проблем для обеспечения качества и сроков изготовления.

5) Техническое сопровождение производственного процесса изготовления изделия. Это предполагает при необходимости проводить оперативные консультации на рабочих местах в цехе касательно изготовления, сборки изделия, а также вносить оперативные изменения в соответствующую документацию.

6) Техническое сопровождение испытаний изделия. Предполагает при необходимости проводить оперативные консультации в процессе испытаний и вносить изменения в конструкторскую документацию с целью обеспечения оговоренных техническим заданием показателей и характеристик изделия.

7) Техническое сопровождение пуско-наладочных работ на территории заказчика. Это предполагает полный контроль за процессом и сроками установки и наладки изделия согласно техническому заданию и договору.

8) Контроль подписания актов выполненных работ. Предполагает преследование интересов предприятия и контроль за подписанием актов выполненных работ.

9) Техническое сопровождение регламентного обслуживания согласно договору (если такое предусмотрено пунктами договора).

Вследствие достаточно обширного круга обязанностей инженера-разработчика и его востребованности на предприятиях насосостроения, а также отсутствие опыта подготовки таких специалистов в ЗВО необходимо предложить методику подготовки данных кадров ЗВО в рамках углубленного межкафедрального сотрудничества на базе кафедр технического направления при частичном содействии кафедр экономики и управления.

Методика необходима для понимания процесса становления инженера-разработчика, а также необходимой материально-технической и образовательной составляющих для этого.

Методика подготовки инженерно-технических работников включает в себя описание процесса отбора студентов, наличие необходимого перечня базовых дисциплин, что предшествуют подготовке и дисциплин для изучения, которые необходимы для обучения современных инженеров. Далее приведена методика подготовки инженеров-разработчиков в области насосостроения, которая включает в себя:

1. Отбор студентов 3-го курса с помощью анкетирования. При анкетировании должны быть отобраны заинтересованные в профессии инженера-разработчика студенты в области насосостроения.

2. По результатам тестового контроля базовых дисциплин и собеседования отбираются группы не более 7 человек [23,24].

В перечень базовых дисциплин при данном контроле должны входить дисциплины, которые изучались студентами по их образовательно профессиональных программах на 1–3 курсах:

- начертательная геометрия и инженерная графика;
- высшая математика;
- высшая физика;
- гидравлика и гидропневмоприводы;
- технологические основы машиностроения;
- иностранный язык;
- взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения;

При этом общее количество студентов, которые должны проходить подготовку инженера-разработчика, должно минимум в 2–3 раза превышать

востребованное предприятием количество будущих сотрудников.

3. Для отобранных студентов образовательно профессиональной подготовки «Гидравлические машины и аппараты» необходимо сформировать специальный график, с упором на выполнение учебных задач, привязанных к конкретному производству.

4. Заключение с предприятиями договора о целевой подготовке группы студентов. Решение о последующем трудоустройстве необходимого количества для предприятия инженеров-разработчиков принимается по результатам защиты дипломного проекта и прохождении собеседования на предприятии.

5. Составление отдельного расписания занятий в университете для отобранной группы студентов и графика их посещения предприятии.

6. Назначение руководителей от ЗВО и предприятия для управления процессом подготовки группы студентов.

7. В качестве дополнительных дисциплин к дисциплинам образовательно профессиональной программы «Гидравлические машины и аппараты» есть:

- технология обработки типовых деталей и сборки машин;
- теоретические основы технологии производства деталей и сборки машин;
- научные основы сборки машин;
- размерный анализ конструкций;
- технологическая оснастка;
- металлообрабатывающее оборудование;
- экономика предприятия;
- менеджмент предприятия;
- основы конструирования контрольно-измерительных приспособлений;

8. Изучение студентами структуры предприятия, технологических процессов проектирования и изготовления насосов с использованием возможностей, заложенных в существующих договорах о филиалах кафедр на предприятии.

9. Совместная разработка с руководителем от предприятия тем дипломных проектов, направленных на решение актуальных производственных задач.

10. Проведение защиты дипломных проектов на предприятии с демонстрацией решенных производственных задач или их частей.

11. Отбор необходимого количества инженеров-разработчиков в процессе собеседования после защиты дипломных проектов и их трудоустройство.

Выводы

Выполнен анализ организационной структуры, которая была присуща серийным машиностроительным предприятием Украины и стран СНГ. Сравнение ее со структурой предприятий развитых стран с рыночной экономикой позволило выделить проблемы в управлении современных предприятий насосостроения Украины и привести пути их решения.

Предложено объединение функций конструкторских, технологических подразделений и отдела маркетинга в подразделение инженера-разработчика для сокращения времени выпуска продукции.

Составлены требования к инженерам-разработчикам для предприятий Украины в области насосостроения.

Предложен термин «инженер-разработчик», как наиболее соответствующий совокупности функций современных инженерно-технических работников.

Разработана методика подготовки инженеров-разработчиков на базе заведений высшего образования в рамках углубленного межкафедрального сотрудничества на базе кафедр технического направления при содействии кафедр экономики и управления. Это позволит довести квалификацию выпускников образовательно профессиональной программы «Гидравлические машины и аппараты» до требований, предъявляемых к инженерам-разработчикам в области насосостроения.

Дальнейшие исследования будут направлены на конкретизацию и корректировку методики подготовки инженеров-разработчиков в рамках сотрудничества с предприятиями-заказчиками и распространения опыта внедрения методики на другие области машиностроения.

Список литературы

1. Ковшев А. Н. *Технология машиностроения*. М.: Машиностроение, 1987. 320 с.
2. Баранчикова С. Г. *Управление машиностроительным предприятием : учебное пособие*. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 252 с.
3. Zahraee S. M., Hashemi A., Abdi A. A., Shahpanah A., Rohani J. M. Lean manufacturing implementation through value stream mapping: A case study. *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)*. 2014. № 68 (3). P. 119-124. doi: 10.11113/jt.v68.2957.
4. Venkataraman K., Vijaya Ramnath B., Muthu Kumar V., Elanchezhian C. Application of value stream mapping for reduction of cycle time in a machining process. *3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation (ICMPC 2014*), *Procedia Materials Science.* 2014. 6. P. 1187-1196. doi: 10.1016/j.mspro.2014.07.192.
5. Rahani A. R., Al-Ashraf M. Production flow analysis through value stream mapping: a lean manufacturing process case study. *2nd International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors*. Sarawak, Malaysia, 2012. № 41. P. 1727-1734. doi: 10.1016/j.proeng.2012.07.375.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

6. Aniket B., Pawar C., Waghmare A. Improving productivity by reducing cycle time through value stream mapping in pump manufacturing industry. *Proceedings of 7th IRF International Conference, 27th April-2014.* Pune, India. 2014. P. 25-28.
7. Ванько В. М., Приходько О. М. Шляхи побудови системи управління якістю машинобудівного підприємства на підставі ефективної методології якості та чинного нормативного забезпечення. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2018. № 79 (1). С. 70-75.
8. Kolinko N. Analysis of the machine-building sector in Ukraine and generation of the factor characteristics for the evaluation of the enterprise management effectiveness. *Технологический аудит и резервы производства.* 2016. № 5/4 (31). С. 16-20.
9. Kumar A., Rajenthirakumar D. Lean implementation through enhancing productivity in a pump industry. *International Journal of Engineering Research*. 2016. № 5 (5), P. 429-432. doi : 10.17950/ijer/v5s5/521.
10. Kathiriya J. J., Amareliya V. D., Kapadiya S. H. Production process analysis on manufacturing of hydraulic gear pump. *Mechanical Engineering: An International Journal (MEIJ)*. 2014. № 1. P. 39-55. doi: 10.5281/zenodo.3579641.
11. Шишкин Е. В. *Совершенствование организационной структуры управления машиностроительным предприятием:* дис. канд. техн. наук : 08.00.05, Шишкин Евгений Владимирович. Владимир, 2003. 146 с.
12. ДСТУ 8634: 2016. *Система розроблення та постановлення продукції на виробництво. Настанови щодо розроблення та поставлення на виробництво нехарчової продукції.* Київ: Держспоживстандарт України, 2016. 21 с.
13. Araujo L., Spring M. Services, products, and the institutional structure of production. *Industrial Marketing Management*. 2006. № 35 (7). P. 797-805. doi: 10.1016/j.indmarman.2006.05.013.
14. Joksic J., Nesic Z., Nusev S. Organization and management of the production process of the company. *10th International Scientific Conference "Science and Higher Education in Function of Sustainable Development" 06–07 October 2017*. Mećavnik– Drvengrad, Uzice. 2017. P. 7-12.
15. Schroeder A., Nebl T., Mainzinger C. Theoretical foundations of efficiently organizing production processes: using the example of combining organizational forms of component manufacture and internal transport. *Journal of Industrial Engineering*. 2014. № 2014, P. 1-27. doi:10.1155/2014/513190.
16. Zbyrannyk O. The formation of the competitiveness of the enterprises of machine-building complex of Ukraine. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2016. № 2 (4). P. 35-40.
17. Sattarova K. T., Kokareva V. V., Pronichev N. D. Analysis of organization of production process on the basis of value stream mapping. *VII International Scientific Practical Conference «Innovative Technologies in Engineering» Materials Science and Engineering*. 2016. № 142. P. 1-6. doi: 10.1088/1757-899X/142/1/012102.
18. Захарова Н. В., Лабудин А. В. Малое и среднее предпринимательство в европейских странах: основные тенденции развития. *Управленческое консультирование.* 2017. № 12. P. 64-77. doi:10.22394/1726-1139-2017-12-64-77.
19. Сообщество менеджеров e-xecutive.ru. URL: https://www.e-xecutive.ru/career/hr-management/1553325-inzhenery-pochemu-ih-net-i-ne-budet (дата звернення: 21.02.2020).
20. Сайт поиска работы №1 в Украине work.ua. URL: https://www.work.ua/ru/jobs-инженер+машиностроения/ (дата звернення: 21.02.2020).
21. Исследовательский центр superjo. URL: https://www.superjob.ru/research/articles/1210/inzhener-tehnolog/ (дата звернення: 21.02.2020).
22. Рубцова М. В. Проблема обеспечения управляемости в современных организациях и пути ее решения. *Санкт-Петербургский Университет телевидения и кино.* 2015. С. 211-217.
23. Гостенина В. И. *Социология управления: учебное пособие. Стандарт третьего поколения.* СПб.: Питер, 2013. 368 с.
24. Гладков И. С. *Менеджмент: учебное пособие. – 3-е издание, перераб. и доп.* Москва: ИЕ РАН Проспект, 2016. 216 с.

References (transliterated)

1. Kovshov A. N. *Technologia machinostroyenia* [Manufacturing engineering]. Moscow. Manufacturing, 1987. 320 p.
2. Baranchikova S. G. *Upravleniye mashinostroitel'nym predpriyatiyem: uchebnoye posobiye* [Engineering Management: a tutorial book], Ekaterinburg: Ural University Publ., 2015. 252 p.
3. Zahraee S. M., Hashemi A., Abdi A. A., Shahpanah A., Rohani J. M. Lean manufacturing implementation through value stream mapping: A case study. *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)*, 2014, Vol. 68, no. 3, pp. 119-124. doi: 10.11113/jt.v68.2957.
4. Venkataraman K., Vijaya Ramnath B., Muthu Kumar V., Elanchezhian C. Application of value stream mapping for reduction of cycle time in a machining process. *3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation (ICMPC 2014*), *Procedia Materials Science*, 2014, 6, pp. 1187-1196, doi: 10.1016/j.mspro.2014.07.192.
5. Rahani A. R., Al-Ashraf M. Production flow analysis through value stream mapping: a lean manufacturing process case study. *2nd International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors*. Sarawak, Malaysia, 2012, Vol. 41, pp. 1727-1734, doi: 10.1016/j.proeng.2012.07.375.
6. Aniket B., Pawar C., Waghmare A. Improving productivity by reducing cycle time through value stream mapping in pump manufacturing industry. *Proceedings of 7th IRF International Conference, 27th April-2014.* Pune, India Publ. 2014, pp. 25-28.
7. Vanko V. M., Prihodko O. M. Shlyakhy pobudovy systemy upravlinnya yakistyu mashynobudivnoho pidpryyemstva na pidstavi efektyvnoyi metodolohiyi yakosti ta chynnoho normatyvnoho zabezpechennya [Ways to build a quality management system for a machine-building enterprise on the basis of effective quality methodology and current regulatory support]. *Measurement Engineering and Metrology*, 2018, Vol. 79, no. 1, pp. 70-75.
8. Kolinko N. Analysis of the machine-building sector in Ukraine and generation of the factor characteristics for the evaluation of the enterprise management effectiveness.

Technological audit and production reserves, 2016, Vol. 5/4, no. 31, pp. 16-20.
9. Kumar A., Rajenthirakumar D. Lean implementation through enhancing productivity in a pump industry. *International Journal of Engineering Research*, 2016, Vol. 5, no. 5, pp. 429-432, doi : 10.17950/ijer/v5s5/521.
10. Kathiriya J. J., Amareliya V. D., Kapadiya S. H. Production process analysis on manufacturing of hydraulic gear pump. *Mechanical Engineering: An International Journal (MEIJ)*. 2014, Vol. 1, pp. 39-55, doi: 10.5281/zenodo.3579641.
11. Shishkin E. V. Sovershenstvovaniye organizatsionnoy struktury upravleniya mashinostroitel'nym predpriyatiyem [Improving the organizational structure of machine-building enterprise management]: Ph. D. theases: 08.00.05, Shishkin Evgeny Vladimirovich. Vladimir Publ., 2003. 146 p.
12. DSTU 8634: 2016. *Systema rozroblennya ta postanovlennya produktsiyi na vyrobnytstvo. Nastanovy shchodo rozroblennya ta postavlennya na vyrobnytstvo nekharchovoyi produktsiyi* [System of products development and launching into manufacture guidelines for drafting and launching into manufacture]. Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine Publ., 2016. 21 p.
13. Araujo L., Spring M. Services, products, and the institutional structure of production. *Industrial Marketing Management*, 2006, Vol. 35, no. 7, pp. 797-805, doi: 10.1016/j.indmarman.2006.05.013.
14. Joksic J., Nesic Z., Nusev S. Organization and management of the production process of the company. *10th International Scientific Conference "Science and Higher Education in Function of Sustainable Development" 06–07 October 2017*. Mecavnik– Drvengrad, Uzice, 2017, pp. 7-12.
15. Schroeder A., Nebl T., Mainzinger C. Theoretical foundations of efficiently organizing production processes: using the example of combining organizational forms of component manufacture and internal transport. *Journal of Industrial Engineering*, 2014, Vol. 2014, pp. 1-27, doi: 10.1155/2014/513190.
16. Zbyrannyk O. The formation of the competitiveness of the enterprises of machine-building complex of Ukraine. *Baltic Journal of Economic Studies*, 2016, Vol. 2, no. 4, pp. 35-40.
17. Sattarova K. T., Kokareva V. V., Pronichev N. D. Analysis of organization of production process on the basis of value stream mapping. *VII International Scientific Practical Conference "Innovative Technologies in Engineering" Materials Science and Engineering*, 2016, Vol. 142, pp. 1-6, doi: 10.1088/1757-899X/142/1/012102.
18. Zakharova N. V., Labudin A. V. Maloye i sredneye predprinimatel'stvo v yevropeyskikh stranakh: osnovnyye tendentsii razvitiya [Small and medium-sized enterprises in European countries: the main development trends.]. *Management consulting,* 2017, Vol. 12, pp. 64-77. doi: 10.22394/1726-1139-2017-12-64-77.
19. Community managers e-xecutive.ru. Available at: https://www.e-xecutive.ru/career/hr-management/1553325-inzhenery-pochemu-ih-net-i-ne-budet (accessed: 21.02.2020).
20. Job search site No. 1 in Ukraine work.ua. Available at: https://www.work.ua/ru/jobs-инженер+машиностроения/ (accessed: 21.02.2020).
21. Research Center superjob. Available at: https://www.superjob.ru/research/articles/1210/inzhener-tehnolog/ (accessed: 21.02.2020).
22. Rubtsova M. V. Problema obespecheniya upravlyayemosti v sovremennykh organizatsiyakh i puti yeye resheniya [The problem of ensuring manageability in modern organizations and ways to solve it]. *St. Petersburg University of Television and Cinema,* 2015, pp. 211-217.
23. Gostenina V. I. *Sotsiologiya upravleniya: uchebnoye posobiye. Standart tret'yego pokoleniya* [Sociology of Management: a tutorial book. Third generation standard]. St. Petersburg: Piter Publ., 2013, 368 p.
24. Gladkov I. S. *Menedzhment: uchebnoye posobiye. – 3-ye izdaniye, pererab. i dop.* [Management: a tutorial book. - 3rd edition, revised and add.]. Moscow. IE RAN Prospect Publ., 2016, 216 p.

Сведения об авторах (About authors)

Дегтярев Иван Михайлович – кандидат технических наук, Сумский государственный университет, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, станков и инструментов, г. Сумы, Украина; ORCID: 0000-0001-8535-987X; e-mail: ivan_dehtiarov@tmvi.sumdu.edu.ua.

Ivan Dehtiarov – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Lecturer, Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools, Sumy State University, Sumy, Ukraine; ORCID: 0000-0001-8535-987X; e-mail: ivan_dehtiarov@tmvi.sumdu.edu.ua.

Нешта Анна Александровна – кандидат технических наук, Сумский государственный университет, ассистент кафедры технологии машиностроения, станков и инструментов, г. Сумы, Украина; e-mail: anna_neshta@tmvi.sumdu.edu.ua.

Anna Neshta – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Assistant, Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools, Sumy State University, Sumy, Ukraine; e-mail: anna_neshta@tmvi.sumdu.edu.ua.

Самардак Николай Филиппович – инженер, ПАО «Сумский завод «Насосэнергомаш», г. Сумы, Украина; e-mail: samardaknik@gmail.com.

Nikolai Samardak – engineer, PAO «Sumy plant «Nasosenergomash» Sumy, Ukraine e-mail: samardaknik@gmail.com.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Дегтярев И. М., Нешта А. А., Самардак Н. Ф. Современный путь подготовки инженерно-технических работников, как основа для повышения конкурентоспособности машиностроительных предприятий Украины. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 9-18. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.02.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Please cite this article as:

Dehtiarov I., Neshta A., Samardak N. The modern way of engineering workers training as the basis for the competitiveness increasing of Ukraine's machine-building enterprises. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1 (3), pp. 9-18, doi:10.20998/2413-4295.2020.03.02.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Дегтярьов І. М., Нешта А. О., Самардан М. П. Сучасний шлях підготовки інженерно-технічних працівників, як основа для підвищення конкурентоспроможності машинобудівних підприємств України. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 9-18. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.02.

АНОТАЦІЯ *Аналізується проблема підготовки фахівців закладами вищої освіти в області проектування і виготовлення насосного обладнання для підприємств України. У роботі детально розглянута організаційна структура, притаманна підприємствам машинобудування України і країн СНД, і виконано її порівняння зі структурою підприємств розвинених країн з ринковою економікою. Виявлено причини низької конкурентоспроможності машинобудівних підприємств України та запропоновано шляхи їх вирішення. Наведені приклади організації структури підприємств України, що спеціалізуються на виготовленні насосного обладнання, а також показано вплив їх структури на конкурентоспроможність. На основі аналізу структурних схем взаємодії відділів і бюро підприємств насособудування України і розвинених країн, а також потреб ринку праці визначено сферу обов'язків сучасного інженерно-технічного працівника для конкурентоспроможного підприємства. Показана роль сучасних інженерно-технічних працівників в конкурентоспроможності продукції. Запропоновано новий термін - «інженер-розробник», який найбільш точно характеризує сучасного інженерно-технічного працівника і відповідає потребам ринку праці. Сформовано вимоги до інженерно-технічних працівників підприємств України в області насособудування. Запропоновано об'єднання функцій конструкторських, технологічних підрозділів та відділу маркетингу в підрозділ інженера-розробника для скорочення часу випуску продукції, що позитивно відобразиться на конкурентоспроможності підприємства. В роботі наведено методику підготовки даних кадрів з точки зору потреб виробництва на базі закладів вищої освіти в рамках поглибленої міжкафедральної співпраці на основі кафедр технічного напряму за сприяння кафедр управління та економіки. У методиці наведені етапи підготовки майбутніх фахівців, що включають відбір і формування груп, керівництво, і процес працевлаштування, а також перелік базових, і додаткових дисциплін для студентів освітньо-професійної програми «Гідравлічні машини та апарати» та суміжних з нею.*

Ключові слова: *машинобудування; насособудування; конкурентоспроможність; дослідний зразок; інженер-розробник; ефективність; підприємство*

Поступила (received) 22.02.2020

УДК 539.3:621.9 doi:10.20998/2413-4295.2020.03.03

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРУЖНІХ ХАРАКТЕРИСТИК АРМОВАНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ НА МІЦНІСТЬ ГВИНТОВОГО З'ЄДНАННЯ З КРУГЛОЮ РІЗЬБОЮ

А. Ю. ДОВГОПОЛОВ[1*], С. С. НЕКРАСОВ[1], Д. О. ЖИГИЛІЙ[2]

[1] кафедра технології машинобудування верстатів та інструментів, Сумський державний університет, Суми, УКРАЇНА
[2] кафедра загальної механіки і динаміки машин, Сумський державний університет, Суми, УКРАЇНА
[*]e-mail: d_a_y_@ukr.net

АНОТАЦІЯ *З метою дослідження впливу пружніх характеристик армованого композиційного матеріалу на міцність роз'ємного гвинтового з'єднання з круглою різьбою, був проведений комплекс експериментів із його визначення. Оскільки, запропонована авторами в попередніх наукових працях скінченно-елементна імітаційна модель роз'ємного гвинтового з'єднання з круглою різьбою, була підтверджена експериментальним дослідженням, було вирішено використати її, для дослідження впливу пружніх характеристик армованого композиту на міцність представленого гвинтового з'єднання з круглою різьбою. Дослідження проводилося із використанням імітаційної моделі гвинтового з'єднання в системі скінчено елементного аналізу LS-DYNA. В нашому випадку армований матеріал вважався – односпрямованим ортотропним матеріалом, для якого згідно з розрахунковими залежностями С. М. Верещаки, найбільший вплив на пружні характеристики має параметр* ψ_1 *– відносна площа арматури в площині перерізу в поздовжньому напрямку. Саме її було вирішено змінювати в дозволених межах, щоб отримати дані про вплив пружніх характеристик на міцність гвинтового з'єднання в армованому композиті. Основні параметри гвинтового з'єднання для проведення дослідження вибирали за конкретною схемою, яка підходить для повного факторного експерименту за класичною схемою його виконання. У нашому випадку побудова матриці повного факторного експерименту була реалізована на двох рівнях за трьома факторами. Таким чином була реалізована матриця типу* 2^3*. У зазначеному дослідженні глибина профілю різьби t змінювалася в межах* $0,5 \le t \le 1,0$*, крок різьби p – у межах* $1,0 \le p \le 4,0$*, а параметр* ψ_1 *– в межах* $0,1 \le \psi_1 \le 0,7$*. В результаті проведеного в роботі дослідження отримали, що максимальні показники міцності будуть для гвинтового з'єднання з такими основними геометричними параметрами: значення кроку - p = 4 мм, а значення глибини профілю різьби - t = 0,8 мм, значення відносного об'ємного вмісту арматури шару в поздовжньому напрямку -* $\psi_1=0,7$*. Значення максимальної сили яку витримає з'єднання із основними параметрами зазначеними вище, складатиме* $R_{max}= 22,5$ *кН.*

Ключові слова: *армовані композиційні матеріали (АКМ); роз'ємне гвинтове з'єднання; моделювання; міцність; кругла різьба; пружні характеристики*

RESEARCH ON EFFECT OF FIBER REINFORCED COMPOSITE MATERIAL'S ELASTIC CHARACTERISTICS ON STRENGTH OF ROPE THREADED JOINT

A. DOVGOPOLOV[1*], S. NEKRASOV[1], D. ZHYHYLII[2], A. NESHTA[1]

[1] Department of Technology of machine building, machine tools and tools, Sumy State University, Sumy, UKRAINE
[2] Department of General mechanics and dynamics of machines, Sumy State University, Sumy, UKRAINE

ABSTRACT *A series of experiments was conducted in order to investigate the influence of the elastic characteristics of the reinforced composite material on the strength of the detachable rope threaded joint. Since the finite element simulation model of the detachable rope threaded joint was confirmed by an experimental study, it was decided to use it to investigate the influence of the elastic characteristics of the reinforced composite on strength of the presented detachable rope threaded joint. The study is conducted using a simulation model of the threaded joint using a finite element analysis system LS-DYNA. The fibre reinforced material is considered to be a unidirectional orthotropic material, for which according to the calculated by Vereshchaka S. dependencies the greatest influence on the elastic characteristics of which has a parameter* ψ_1*. It is the fiber area ratio in the cross-sectional plane along the longitudinal direction. This parameter is varied within the permitted limits to obtain data on the effect of elastic characteristics on the strength of the threaded joint in the reinforced composite. The basic parameters of the threaded joint are chosen according to a specific scheme, which is suitable for a full factorial experiment according to the classical execution scheme. The construction of the matrix of the full factor experiment is implemented at two levels by three factors. Thus, the type 23 matrix was implemented. The thread depth t is varied within* $0.5 \le t \le 1.0$*, the thread pitch p – within* $1.0 \le p \le 4.0$ *and parameter* ψ_1 *- within* $0.1 \le \psi_1 \le 0.7$*. As a result of the study, it has been obtained that the maximum strength is for a threaded joint with the following basic geometric parameters: the thread pitch p = 4 mm, and the thread depth of the profile t = 0.8 mm, the value of the relative volumetric content of the reinforcement in the longitudinal layer direction* $\psi_1 = 0.7$*. So that the maximum force, which joint can withstand, is up to* $R_{max} = 22.5$ *kN.*

Keywords*: fibre-reinforced composite materials; detachable rope threaded joint; simulations; strength; rope thread; elastic characteristics*

Вступ. Постановка проблеми

Сучасні потреби машинобудування і технічно передових галузей виробництва вимагають широкого використання нових матеріалів. Застосування нових матеріалів у машинобудуванні дозволяє вивести виробництво на якісно новий рівень і підвищити його ефективність. У той самий час складання деталей

© А. Ю. ДОВГОПОЛОВ, С. С. НЕКРАСОВ, Д. О. ЖИГИЛІЙ, 2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

машин потребує великої кількості роз'ємних з'єднань, оброблення поверхонь яких мало досліджене, тому на цьому етапі розвитку використовують в основному нероз'ємні з'єднання деталей, виготовлених з армованих композиційних матеріалів (АКМ). Проведення досліджень, пов'язаних із формоутворенням поверхонь роз'ємних з'єднань деталей машин, дозволяє розширити використання армованих композитів у машинобудуванні. На сьогоднішній день, більшість досліджень проводять для визначення напружено-деформованого стану класичних нероз'ємних з'єднань деталей з АКМ, таких як болтові, заклепкові, клейові, детально результати деяких із них описані в працях [1-3].

Що ж стосується роз'ємних з'єднань деталей, виготовлених з АКМ то найбільш застосовуваними є гвинтові з'єднання, які мають свою специфіку виготовлення та застосування, але сама конструкція цього типу з'єднання являється роз'ємною [4].

Цей тип з'єднання деталей, виготовлених з армованих композитів, реалізується або за допомогою виготовлення різьби на поверхнях з'єднуваних деталей, або за допомогою розміщення в деталях з АКМ металевих кріпильних вставок в яких уже виконана різьба, через яку й відбувається подальше з'єднання. Конструкція різьби, якщо вона формоутворюється на деталі з армованого композита (її діаметр і профіль), відрізняється від конструкції стандартних типів різьб [5], а це, у свою чергу викликає додаткові труднощі під час її виготовлення. Саме тому більшість конструкцій, виготовлених з армованих композиційних матеріалів, що передбачають сполучення елементів за допомогою різьби, з'єднуються за допомогою металевих елементів з виконаною в них різьбою, які в подальшому заформовуються в цей матеріал.

Останніми роками була опублікована велика кількість наукових праць присвячених дослідженню різьбових вставок, заформованих в АКМ, на міцність. Серед яких L. Adam у роботі [6] провів експериментально-числове дослідження міцності цих вставок, заформованих у різні типи армованих композиційних матеріалів. Із його дослідження одержана залежність між результатами моделювання та експериментальними даними з точки зору кривих навантажень і прогнозування руйнування.

У науковій праці [7] проведено експериментально-числове дослідження різних типів руйнування склопластику в місцях заформовування вставок залежно від типу використовуваної матриці (епоксидної смоли). Аналогічне дослідження було проведене в роботі [8], але в цьому разі використовували композиційний матеріал, армований вуглецевими волокнами.

Що стосується дослідження міцності гвинтового з'єднання зі спеціальним профілем, в якому гвинтова поверхня формоутворюється на деталях з АКМ, то на сьогодні вони залишаються мало дослідженими. У роботі [9] авторами, було проведене моделювання напружено-деформованого стану гвинтового з'єднання із круглою різьбою методом скінчено елементного аналізу, було встановлено, що отримані в результаті показники міцності на досить високому рівні. У свою чергу практична перевірка результатів описана авторами в роботі [10], в результаті якої були підтвердженні отримані при моделюванні високі показники міцності роз'ємного гвинтового з'єднання із круглою різьбою.

За рахунок того, що практична перевірка, підтвердила адекватність моделі запропонованої авторами в роботі [9], було вирішено провести дослідження впливу пружніх характеристик армованого композиційного матеріалу на міцність гвинтового з'єднання з круглою різьбою із використанням імітаційної моделі з'єднання в системі скінчено елементного аналізу LS-DYNA.

Мета роботи

Дослідження впливу пружніх характеристик армованого композиційного матеріалу на міцність гвинтового з'єднання з круглою різьбою із використанням імітаційної моделі з'єднання в системі скінчено елементного аналізу LS-DYNA.

Викладення основного матеріалу

Згідно з розрахунковими залежностями С. М. Верещаки в науковій праці [11] для односпрямованого ортотропного матеріалу найбільший вплив на пружні характеристики армованого композиту має параметр ψ_1 – відносна площа арматури в площині перерізу в поздовжньому напрямку, методика визначення якого за ASTM D3171–15 [12].

На основі адекватності запропонованої в роботі [9] імітаційної моделі авторами було вирішено провести дослідження впливу відносної площі арматури в площині перерізу в поздовжньому напрямку ψ_1 на несучу здатність гвинтового з'єднання з круглою різьбою (профіль різьби із зазначенням основних параметрів наведений на рис. 1).

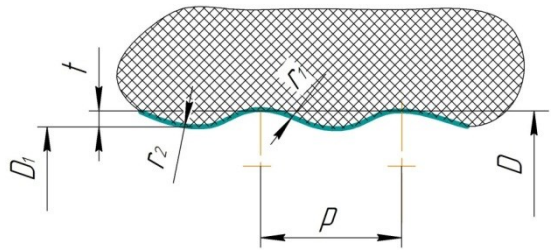


Рис. 1 – Основні параметри круглої внутрішньої різьби (p – крок різьби, t – глибина профілю, зовнішній D і внутрішній D_1 діаметри різьби та r_1 і r_2 – радіуси вершин і западин профілю відповідно)

Для проведення зазначеного моделювання, основні параметри гвинтового з'єднання для проведення дослідження вибирали за конкретною схемою, яка підходить для повного факторного експерименту за класичною схемою його виконання. У нашому випадку побудова матриці повного факторного експерименту була реалізована на двох рівнях за трьома факторами. Таким чином була реалізована матриця типу 2^3. У зазначеному дослідженні глибина профілю різьби ***t*** змінювалася в межах $0,5 \le t \le 1,0$, крок різьби ***p*** – у межах $1,0 \le p \le 4,0$, а параметр ψ_1 – в межах $0,1 \le \psi_1 \le 0,7$. Далі на підставі розрахункових залежностей С. М. Верещаки [13] були одержані пружні характеристики для відповідного значення відносної площі арматури в площині перерізу в поздовжньому напрямку ψ_1, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Пружні характеристики армованого матеріалу при зміні параметра ψ_1

$\psi_1 = 0,1$		
$E_1 = E_x$, ГПа	$E_2 = E_y$, ГПа	$E_3 = E_z$, ГПа
9,27	9,27	5,57
$\nu_{21} = \nu_{yx}$	$\nu_{31} = \nu_{zx}$	$\nu_{32} = \nu_{zy}$
0,20	0,26	0,26
$G_{12} = G_{xy}$, ГПа	$G_{23} = G_{yz}$, ГПа	$G_{31} = G_{zx}$, ГПа
1,82	1,67	1,67
$\psi_1 = 0,4$		
$E_1 = E_x$, ГПа	$E_2 = E_y$, ГПа	$E_3 = E_z$, ГПа
22,30	22,30	9,84
$\nu_{21} = \nu_{yx}$	$\nu_{31} = \nu_{zx}$	$\nu_{32} = \nu_{zy}$
0,11	0,19	0,19
$G_{12} = G_{xy}$, ГПа	$G_{23} = G_{yz}$, ГПа	$G_{31} = G_{zx}$, ГПа
3,43	2,37	2,37
$\psi_1 = 0,7$		
$E_1 = E_x$, ГПа	$E_2 = E_y$, ГПа	$E_3 = E_z$, ГПа
38,89	38,89	19,19
$\nu_{21} = \nu_{yx}$	$\nu_{31} = \nu_{zx}$	$\nu_{32} = \nu_{zy}$
0,10	0,21	0,21
$G_{12} = G_{xy}$, ГПа	$G_{23} = G_{yz}$, ГПа	$G_{31} = G_{zx}$, ГПа
8,21	4,00	4,00

Моделювання відбувалося методом скінченно-елементного аналізу з використанням імітаційної моделі, розробленої в роботі [9], зі зміною основних параметрів геометрії гвинтового з'єднання із круглою різьбою та армованого матеріалу відповідно до плану експерименту (табл. 2), в результаті були одержані значення максимальної сили для кожного конкретного випадку, занесені до табл. 2.

Залежність максимальної сили гвинтового з'єднання з круглою різьбою від основних параметрів геометрії та від пружніх характеристик подана у вигляді формули (1), коефіцієнти якого одержані методом найменших квадратів за рахунок мінімізації функціонала:

$$R_{\max} = 4,54tp\psi_1 - 89,74t^2 - 0,77tp - 15,38t\psi_1 - \\ -3,8p\psi_1 + 138,44t + 1,09p + 26,53\psi_1 - 42,78. \quad (1)$$

Таблиця 2 – План матриця експерименту, та значення максимальної сили отримані в результаті експерименту

№	x_1	x_2	x_3	t	p	ψ_1	R_{max}, кН
1	-	-	-	0,5	1,0	0,1	6,45
2	+	-	-	1,0	1,0	0,1	7,44
3	-	+	-	0,5	4,0	0,1	8,12
4	+	+	-	1,0	4,0	0,1	8,64
5	-	-	+	0,5	1,0	0,7	16,84
6	+	-	+	1,0	1,0	0,7	14,58
7	-	+	+	0,5	4,0	0,7	15,76
8	+	+	+	1,0	4,0	0,7	17,12
9	0	0	0	0,75	2,5	0,4	17,48

Для одержання значення основних геометричних параметрів та пружніх характеристик, за яких показники міцності будуть найвищими, необхідно знайти екстремуми функції (1). Провівши відповідні розрахунки, були визначені екстремуми функції. Відповідно до розрахунків максимальні показники міцності будуть для гвинтового з'єднання з такими основними геометричними параметрами: значення кроку різьби – *p = 4 мм*, а значення глибини профілю різьби – *t = 0,8 мм*, значення відносної площі арматури в площині перерізу в поздовжньому напрямку $\psi_1 = 0,7$.

На рис. 2 наведені графіки функції (1) залежності максимальної несучої здатності з'єднання від основних геометричних параметрів круглої різьби *p* – кроку різьби, та ***t*** – глибини профілю різьби і від значення відносної площі арматури в площині перерізу в поздовжньому напрямку ψ_1 (що максимально впливає на показники пружніх характеристик армованого матеріалу). Графіки виконані у середовищі програмного продукту MatLab для демонстрації всіх допустимих значень одержаної функції.

Отримані графіки наглядно ілюструють, що максимальні показники міцності будуть для гвинтового з'єднання з такими основними геометричними параметрами: значення кроку різьби – *p = 4 мм*, а значення глибини профілю різьби – *t = 0,8 мм*, значення відносної площі арматури в площині перерізу в поздовжньому напрямку $\psi_1 = 0,7$.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

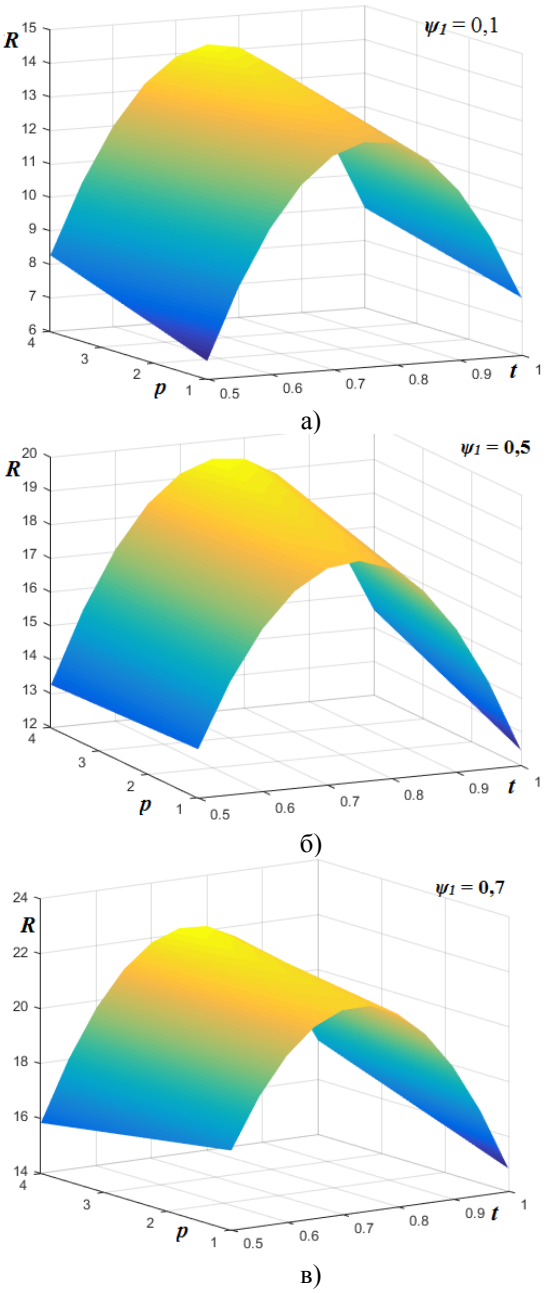


Рис. 2 – Графіки залежності максимальної сили (несучої здатності з'єднання) від основних геометричних параметрів (p, t) та від показника відносної площі арматури в площині перерізу в повздовжньому напрямку (ψ_1): а) ψ_1=0,1; б) ψ_1=0,5; в)ψ_1=0,7

Висновки

На підставі адекватності імітаційної моделі роз'ємного гвинтового з'єднання з круглою різьбою, в деталях, виготовлених з армованих композиційних матеріалів, (докладно про дану імітаційну модель описано в науковій праці [9]) авторами, було проведено дослідження впливу основних геометричних параметрів круглої різьби та пружніх характеристик армованого композита, через параметр ψ_1 – відносний об'ємний вміст арматури шару в поздовжньому напрямку на значення максимальної сили, яке витримає з'єднання (його несучої здатності).

В результаті дослідження отримали, що максимальні показники міцності будуть для гвинтового з'єднання з такими основними геометричними параметрами: значення кроку - *p = 4 мм*, а значення глибини профілю різьби - *t = 0,8 мм*, значення відносного об'ємного вмісту арматури шару в поздовжньому напрямку - ψ_1*=0,7*. Це значення приблизно складатиме R_{max}*= 22,5 кН.*

Список літератури

1. Schürmann H. Konstruiren mit Faser-Kunststoff Verbunden. *Springer-Verlag*. Berlin Heidelberg. Ausgabe. 2007. № 2. URL: https://www.springer.com/de/book/9783540721895 (дата звернення: 22.02.2019).
2. Marannano G. Zuccarello B. Numerical experimental analysis of hybrid double lap aluminum-CFRP joints. *Compos. B. Eng*, 2015. № 71. P. 28-39. doi: 10.1016/j.compositesb.2014.11.025.
3. Rhee K. Y. Yang H. A. A study on the peel and shear strength of aluminum / CFRP composites surface-treated by plasma and ion assisted reaction method. *Compos. Sci. Technol.* 2003. № 63 (1). P. 33-40. doi: 10.1177/0021998316636458.
4. Sen F., Kemal A. Effects of Using Different Metal Materials on Stresses in Metal-Composite Hybrid Joints. *Cankaya University Journal of Science and Engineering (CUJSE),* 2011. Vol. 8. № 1. P. 1-13.
5. Воробей В. В. Сироткин О. С. *Соединения конструкций из композиционных материалов.* Л.: Машиностроение, 1985. 168 с.
6. Adam L., Buvet C., Castanié B., Daidié A., Bonhomme E. Discrete ply model of circular pull-through test of fasteners in laminates. *Compos. Struct.* 2012. №94(10). P 18-32. doi: 10.1016/j.compstruct.2012.05.008.
7. Catalanotti G., Camanho P. P., Ghys P., Marquez A. T. Experimental and numerical study of fastener pull-through failure in GFRP laminates. *Compos.Struct.* 2011. №94(1). P 28-38. doi: 10.1016/j.compstruct.2011.06.021.
8. Elder D. J., Verdaasdonk A. H., Thomson R. S., Fastener pull-through in a carbon fibre epoxy composite joint. *Compos. Struct.* 2008. № 86. P. 1-3. doi: 10.1016/j.compstruct.2008.03.041.
9. Довгополов А. Ю., Некрасов С. С., Жигилій Д. О. Моделювання напружено-деформованого стану роз'ємного з'єднання в деталях з армованих композиційних матеріалів методом СЕА. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях: зб. наук. пр. Харків: НТУ «ХПІ».* 2019. № 5 (1330). С. 10-17. doi: 10.20998/2413-4295.2019.05.02.
10. Довгополов А. Ю., Некрасов С. С. Дослідження міцності роз'ємного різьбового з'єднання з великим кроком у деталях з армованих композиційних матеріалів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях: зб. наук. пр. Харків: НТУ «ХПІ».* 2018. № 16 (1292). С. 22-26. doi: 10.20998/2413-4295.2018.16.04.
11. Верещака С. М. Упругие постоянные и обобщенные характеристики жесткости материала слоистой структуры. *Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч.*

тр. Темат. вып.: Динамика и прочность машин. Харьков : НТУ «ХПИ». 2008. № 36. С. 29-40.
12. ASTM D3171-15, Standard Test Methods for Constituent Content of Composite Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.
13. Верещака С. М. *Механіка композиційних матеріалів: навчальний посібник*. Суми : Вид-во СумДУ, 2013. 160 с.

References (transliterated)

1. Schürmann H. Konstruiren mit Faser-Kunststoff Verbunden. *Springer-Verlag*, 2007, no. 2. Available at: https://www.springer.com/de/book/9783540721895 (Accessed: 22 February 2019).
2. Marannano G. Zuccarello B. Numerical experimental analysis of hybrid double lap aluminum-CFRP joints. *Compos. B. Eng*, 2015, Vol. 71, pp. 28-39, doi: 10.1016/j.compositesb.2014.11.025.
3. Rhee K. Y. Yang H. A. A study on the peel and shear strength of aluminum / CFRP composites surface-treated by plasma and ion assisted reaction method. *Compos. Sci. Technol,* 2003, Vol. 63 (1), pp. 33-40, doi: 10.1177/0021998316636458.
4. Sen F., Kemal A. Effects of Using Different Metal Materials on Stresses in Metal-Composite Hybrid Joints. *Cankaya University Journal of Science and Engineering (CUJSE),* 2011, Vol. 8(1), pp. 1-13.
5. Vorobey V. V. Sirotkin O. S. *Soedineniya konstrukczij iz kompoziczionny`kh materialov* [Construction joints in composite materials] L., Engineering, 1985. 168 p.
6. Adam L., Buvet C., Castanié B., Daidié A., Bonhomme E. Discrete ply model of circular pull-through test of fasteners in laminates. *Compos. Struct.* 2012, no. 94(10), pp. 18-32, doi: 10.1016/j.compstruct.2012.05.008.
7. Catalanotti G., Camanho P. P., Ghys P., Marquez A. T. Experimental and numerical study of fastener pull-through failure in GFRP laminates. *Compos.Struct,* 2011, no. 94(1). pp. 28-38, doi: 10.1016/j.compstruct.2011.06.021.
8. Elder D. J., Verdaasdonk A. H., Thomson R. S., Fastener pull-through in a carbon fibre epoxy composite joint. *Compos. Struct.* 2008, no. 86, pp. 1-3, doi: 10.1016/j.compstruct.2008.03.041.
9. Dovhopolov A. Y., Nekrasov S. S., Zhyhylii D. O., *Modeliuvannia napruzheno-deformovanoho stanu roziemnoho ziednannia v detaliakh z armovanykh kompozytsiinykh materialiv metodom SEA* [Strain-stress states simulation of detachable joint for reinforced composites by FEM] *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriia: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh*, 2019, no. 5 (1330), pp. 10-17. doi: 10.20998/2413-4295.2019.05.02.
10. Dovhopolov A. Y., Nekrasov S. S. *Doslidzhennia mitsnosti roziemnoho rizbovoho ziednannia z velykym krokom u detaliakh z armovanykh kompozytsiinykh materialiv* [Research into strength of the thread detached connection with a large pitch of thread in designs made of reinforced composite material] *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriia: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh*, 2018, no. 16 (1292). pp. 22-26. doi: 10.20998/2413-4295.2018.16.04.
11. Vereschaka S. M. *Uprugie postoyannyie i obobschennyie harakteristiki zhestkosti materiala sloistoy strukturyi* [Elastic constant and generalized characteristics of the stiffness of the material of the layered structure] *Vestnik Nats. tehn. un-ta «HPI»: sb. nauch. tr. Temat. vyip.: Dinamika i prochnost mashin,* 2008, no. 36,pp. 29-40.
12. ASTM D3171-15, Standard Test Methods for Constituent Content of Composite Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.
13. Vereshchaka S. M. *Mekhanika kompozytsiinykh materialiv : navchalnyi posibnyk* [Mechanics of composite materials], Sumy, Edition SumDU, 2013. 160 p.

Відомості про авторів (About authors)

Довгополов Андрій Юрійович – викладач, Сумський державний університет, кафедра Технологія машинобудування верстати та інструменти (ТМВІ), м. Суми, Україна; e-mail: d_a_y_@ukr.net.

Andriy Dovgopolov – lecturer, Sumy State University, postgraduate Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools, Sumy, Ukraine; e-mail: d_a_y_@ukr.net.

Некрасов Сергій Сергійович – кандидат технічних наук, Сумський державний університет, доцент кафедри Технологія машинобудування верстати та інструменти (ТМВІ),, м. Суми, Україна; e-mail: nekrasovss@gmail.com.

Sergiy Nekrasov – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools, Sumy, Ukraine, e-mail: nekrasovss@gmail.com.

Жигилій Дмитро Олексійович – кандидат технічних наук, Сумський державний університет, старший викладач кафедри Загальної механіки та динаміки машин (ЗМ і ДМ), м. Суми, Україна, e-mail: zhigiliy.d@gmail.com.

Dmytro Zhyhylii – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of General Mechanics and Dynamics of Machines, Sumy, Ukraine; e-mail: zhigiliy.d@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Довгополов А. Ю., Некрасов С. С., Жигилій Д. О. Дослідження впливу пружніх характеристик армованого композиційного матеріалу на міцність гвинтового з'єднання з круглою різьбою. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 19-24. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.03.

Please cite this article as:

Dovgopolov A., Nekrasov S., Zhyhylii D. Research on effect of fiber reinforced composite material's elastic characteristics on strength of rope threaded joint. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1 (3), pp. 19-24, doi:10.20998/2413-4295.2020.03.03.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Довгополов А. Ю., Некрасов С. С., Жигилий Д. О. Исследование влияния упругих характеристик армированного композиционного материала на прочность винтового соединения с круглой резьбой. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 19-24. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.03.

АННОТАЦИЯ *С целью исследования влияния упругих характеристик армированного композиционного материала на прочность разъемного винтового соединения с круглой резьбой, был проведенный комплекс экспериментов из его определения. Поскольку, предложенная в научном труде [9] конечно-элементная имитационная модель разъемного винтового соединения с круглой резьбой, была подтверждена экспериментальным исследованием (более детально[10]), было решено использовать ее, для исследования влияния упругих характеристик армированного композита на прочность представленного винтового соединения с круглой резьбой. Исследование проводилось с использованием имитационной модели винтового соединения в системе закончено элементного анализа LS - DYNA. В нашем случае армированный материал считался, однонаправленным ортотропным материалом, для которого согласно расчетным зависимостям С. М. Верещаки [11] наибольшее влияние на упругие характеристики которого имеет параметр* ψ_1 *- относительная площадь арматуры в плоскости перереза в продольном направлении, именно ее было решено изменять в разрешенных пределах, чтобы получить данные о влиянии упругих характеристик на прочность винтового соединения в армированном композите. Основные параметры винтового соединения для проведения исследования выбирали по конкретной схеме, которая подходит для полного факторного эксперимента по классической схеме его выполнения. В нашем случае построение матрицы полного факторного эксперимента было реализовано на двух уровнях за тремя факторами. Таким образом была реализованная матрица типа* 2^3*. В отмеченном исследовании глубина профиля резьбы t изменялась в пределах* $0,5 \le t \le 1,0$*, шаг резьбы p - в пределах* $1,0 \le p \le 4,0$*, а параметр* ψ_1 *- в пределах* $0,1 \le \psi_1 \le 0,7$*. В результате проведенного в работе исследования получили, что максимальные показатели прочности будут для винтового соединения с такими основными геометрическими параметрами: значение шага p = 4 мм, а значение глубины профиля резьбы t = 0,8 мм, значение относительного объемного содержимого арматуры слоя в продольном направлении* $\psi_1=0,7$*. Значение максимальной силы, которую выдержит соединение с основными параметрами, отмеченными выше, будет следующим* $R_{max}= 22,5$ *кН.*

Ключевые слова: *армированные композиционные материалы (АКМ); разъемное винтовое соединение; моделирование; прочность; круглая резьба; упругие характеристики*

Надійшла (received) 22.02.2020

УДК 678.017 doi:10.20998/2413-4295.2020.03.04

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ FDM ПРИНТЕРІВ ДЛЯ ПРОСТОРОВОГО ДРУКУ ПОЛІМЕРНИМИ ТЕРМОПЛАСТИЧНИМ МАТЕРІАЛАМИ

В. О. ОЛЕКСИШЕН

кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, УКРАЇНА
e-mail: vitaliy.oleksishen@gmail.com

АНОТАЦІЯ *У роботі наведено основні параметри сучасного стану світового ринку обладнання адитивного виробництва. Для дослідження обрано найпоширеніший тип адитивної технології, а саме FDM (Fused Deposition Modeling) – формування методом наплавлення або 3Д друк термопластичним полімерним матеріалом. Дана технологія є найпоширенішою та використовується у промисловості, інженерному проектуванні, швидкому прототипуванні, освітньому процесі, наукових дослідженнях, медицині, дизайні тощо. Наведено основні роботи, що розглядають основні характеристики устаткування, систематизують їх за конструктивними особливостями та галузями застосування. Враховуючи недостатнє охоплення типів та конструкцій обладнання у цих роботах, проведено розширений огляд приладів на основі FDM технології. Класифікація обладнання базується на принципі переміщення виконавчих органів, а саме друкувальної головки та робочої платформи 3Д принтера. Виходячи з цього встановлено, що існує чотири основних схеми побудови FDM 3Д принтерів такі, як картезіанська, дельта, полярна та схеми на основі роботизованого маніпулятора. Представлено найбільш популярні моделі 3Д принтерів кожної із схем, розглянуто їхні основні переваги та недоліки, сфери та галузі застосування, приклади виробів, що виготовляються. Огляд показав, що найбільш розповюдженою схемою як у світі так і в Україні є картезіанська, що в свою чергу поділяється на ряд підвидів. Серед них особливо популярними являються Prusa, CoreXY та H-Bot схеми. Вони є найбільш універсальними, використовують практично всі типи витратного термопластичного матеріалу, включають практично весь необхідний для виробництва ряд типорозмірів робочої зони та є найбільш гнучкими до модернізації. Також показані FDM 3Д принтери на основі роботизованого маніпулятора. Розвиток даного типу устаткування є прикладом впровадження адитивних технологій у серійне автоматизоване виробництво. Аналіз основних сфер застосування та основних переваг та недоліків кожного з типів 3Д принтерів, дало змогу надати рекомендації щодо вибору обладнання для просторового друку залежно від виду діяльності.*
Ключові слова: *3D принтер; аддитивна технологія; просторовий друк; FDM; кінематична схема; полімерні матеріали*

ANALYSIS OF STRUCTURAL FEATURES AND EFFICIENCY OF APPLICATION OF MODERN FDM PRINTERS FOR 3D PRINTING USING POLYMER THERMOPLASTIC MATERIALS

V. OLEKSYSHEN

Department of chemical, polymer and silicate engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT *This work presents the main parameters of the current state of the world market of additive manufacturing equipment. For research, the most common type of additive technology was chosen, namely FDM (Fused Deposition Modeling) or 3D printing using thermoplastic polymer material. This technology is the most common and is used in industry, engineering design, rapid prototyping, educational process, scientific research, medicine, design and the like. The main works were presented that consider the main characteristics of the equipment, systematize them according to design features and areas of application. Given the insufficient coverage of equipment types and designs in these works, an extensive review of devices based on FDM technology was carried out. The classification of equipment is based on the principle of moving executive bodies, namely the print head and the 3D printer working platform. Based on this, it has been established that there are four main schemes for constructing of 3D printers such as Cartesian, Delta, Polar and schemes based on a robotic manipulator. The most popular models of 3D printers for each of the circuits were given, their main advantages and disadvantages, areas and applications, examples of products manufactured were considered. The review showed that the most widespread in the scheme both in the world and in Ukraine is the Cartesian, which in turn is divided into a number of subspecies. Among them, Prusa, CoreXY and H-Bot schemes are especially popular. They are the most versatile, use almost all types of consumable thermoplastic material, include almost all the range of sizes needed for production of the working area and are the most flexible for modernization. FDM 3D printers based on a robotic arm were also noted. The development of this type of equipment is an example of the introduction of additive technologies in serial automated production. Consideration of the main areas of application and the main advantages and disadvantages of each of the types of 3D printers made it possible to give recommendations on the choice of equipment for spatial printing, depending on the type of activity.*
Keywords: *3D printer; additive technology; 3D printing; FDM; kinematic scheme; polymeric materials*

Вступ

Конструкційні полімерні композиційні матеріали (ПКМ) [1,2], як термопластичні, так і реактопластичні, у тому числі модифіковані вуглецевими нанонаповнювачами [3,4], а також так звані інтелектуальні [5–9], з кожним роком знаходять

© В. О. ОЛЕКСИШЕН, 2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

все ширше застосування у різноманітних галузях науки і техніки, а також у народному господарстві.

Зокрема, можна зазначити їх ефективне використання в аерокосмічній промисловості, авіації, медицині, електроенергетиці, мікроелектроніці, машинобудуванні, військовій промисловості [7] та інших галузях.

Для їх виготовлення використовують цілий спектр технологій та підходів, зокрема, фізико-хімічну модифікацію [8], чисельні методи [9] та методологію структурно-параметричного моделювання [10].

У цьому ряді вирізняється технологія адитивного виробництва або просторового друку, що є такою, що найбільш швидко розповсюджується у світі. Тому на її особливостях слід зупинитись окремо.

Сукупний світовий ринок виробництва технологічного обладнання та надання послуг адитивного виробництва зростає на 30–50% щороку і досяг позначки у 21 млрд. доларів США у 2019 р. Минулого року в світі реалізовано понад 4 млн. пристроїв для просторового друку. Нині на ринку існують десятки великих та сотні малих компаній, що пропонують обладнання для адитивного виробництва.

Близько 90% обсягу продажів становлять пристрої просторового друку (3Д принтери) полімерними термопластичними матеріалами. Таке обладнання базується на технології FDM (Fused Deposition Modeling) або формування методом наплавки. Основою даної технології є пошарове нанесення розплавленого полімерного термопластичного матеріалу згідно цифрової моделі виробу.

Нині на ринку існують сотні моделей обладнання просторового друку, що використовують дану технологію. Кожна з моделей має свої переваги та недоліки і дуже важко зорієнтуватись під час вибору необхідного обладнання. Проте, для кожної з моделей існує ряд спільних конструктивних особливостей, що дозволяє класифікувати існуючі конструкції.

На даний момент існує безліч публікацій, статей, блогів тощо, що розглядають FDM 3Д друк. Проте основна їх частина стосується якогось окремого устаткування і не розглядає обладнання взагалом.

Серед робіт, що мають системний підхід слід відмітити роботу [11]. У ній автор розглядає кінематичні та динамічні характеристики основних типів FDM-принтерів. Проте, ця робота не класифікує існуючі моделі обладнання, відсутній розгляд конструкційно-експлуатаційних недоліків та переваг кожного з типів 3Д принтерів.

У роботі [12] розглянуто основні технології та матеріали, що використовуються у адитивному виробництві. Автор розглядає історію виникнення технології, систематизує термінологію та достатньо глибоко розглядає кожен з підвидів адитивного виробництва в залежності від витратного матеріалу. Недоліком є те, що не розглянуто особливості видів та пристроїв FDM технології, що є найбільш поширеною.

Це обумовлює проведення аналізу конструктивних особливостей, включаючи кінематичні схеми, та доцільності застосування сучасних FDM-принтерів, призначених для просторового друку полімерних термопластичних матеріалів, у залежності від сфери та об’єктів їх використання, що дасть змогу оптимізувати вибір найбільш доцільних засобів 3Д-друку залежно від поставлених конструкторсько-технологічних завдань.

Мета роботи

Метою є аналіз конструктивних особливостей, а саме кінематичних схем, переваг, недоліків та доцільності застосування сучасних FDM-принтерів, призначених для просторового друку полімерних термопластичних матеріалів, у залежності від сфери та об’єктів їх використання, що дасть змогу оптимізувати вибір найбільш доцільних засобів 3Д-друку залежно від поставлених конструкторсько-технологічних завдань.

Виклад основного матеріалу

На даний момент основними типами кінематичних схем сучасних FDM принтерів, що застосовуються при просторовому друці конструктивних виробів з термопластів, є: картезіанські, дельта, полярні та роботизовані кінематичні схеми.

Розглянемо ці типи більш детально.

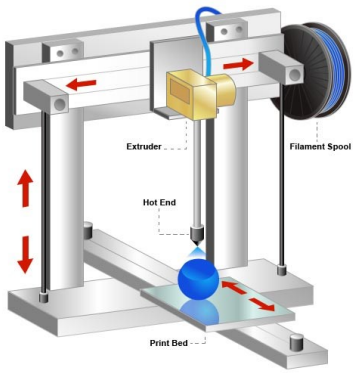
Картезіанська схема – це схема при якій основні робочі органи 3Д принтера (друкувальна головка та робоча платформа) пересувається вздовж взаємоперпендикулярних осей X, Y та Z. Тому таку схему ще називають декартовою, бо всі робочі переміщення пристрою описуються у декартових координатах. Залежно від того вздовж яких з осей переміщуються або навпаки є статичними друкувальна головка та робоча платформа, існують наступні варіанти кінематичних схем 3Д принтера:

1. Платформа рухається вздовж однієї горизонтальної осі (X або Y), а екструдер по іншій горизонтальній та вертикальній осях Z

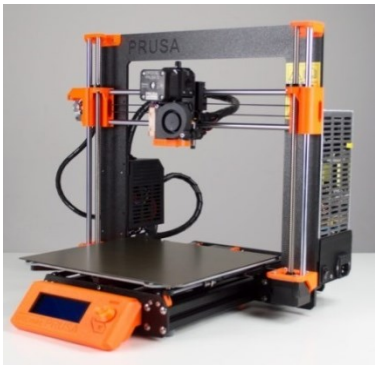
Найпоширенішим представником такої схеми є 3Д принтер Prusa (кінематика Йозефа Пруса) [13]. Дана модель з’явилась на ринку в 2012 р. і з тих пір стала однією з найпопулярніших для любительського користування у світі. 3Д-принтер Prusa дозволяє створювати негабаритні вироби з найбільш популярних типів витратного матеріалу.

Основними перевагами даної моделі та кінематичної схеми загалом являються: простота механіки, відносно низькі вимоги до якості комплектуючих, обслуговування не потребує високої

кваліфікації оператора, відкритий код програмного забезпечення та вільний доступ до всієї конструкторської документації, низька собівартість.



а)



б)

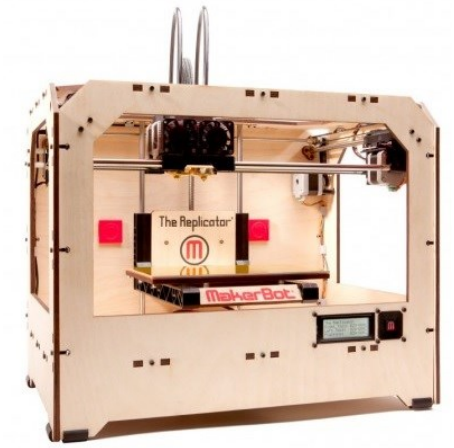
Рис. 1 – FDM 3D принтер конструкції Prusa: а) принципова схема; б) модель Prusa MK3S

Серед недоліків особливо необхідно виокремити наступні:
- відкритий корпус призводить до нестабільного градієнта температур робочої зони, внаслідок чого неможливий друк цілою низкою матеріалів;
- рухома робоча платформа зменшує точність позиціонування друкувальної головки та збільшує загальну вібрацію конструкції;
- внаслідок того, що робоча платформа рухома, в більшості випадків її габарити не перевищують 200 мм по всім осям.

2. Платформа рухається вздовж вертикальної осі Z, а екструдер у горизонтальній площині по осям X та Y.

Така схема є найбільш популярною як для любительських, так і для професійних 3Д принтерів. Головними підвидами даної кінематики є: Makerbot [14], CoreXY [15] та H-Bot [16].

Кінематика Makerbot отримала назву від компанії, що вперше випустила принтер даної схеми [14] (Рис. 2). У такій схемі двигун, що переміщує друкувальну головку вздовж осі X, рухається вздовж осі Y. Робоча платформа кріпиться консольно до осі Z і є незалежною від інших осей. Таке компонування дає певні переваги: стабільний градієнт робочої зони, закритий корпус дозволяє вести друк більшою кількістю видів розхідного матеріалу. До недоліків відносять:
- двигун (маса стандартного крокового двигуна типу Nema 17 становить 350 г), що переміщує друкувальну головку, значно підвищує інертність, тому максимальна швидкість друку не перевищує 50–70 мм/с;
- відносно висока складність механіки значно підвищує вимоги до якості комплектуючих, обслуговування та кваліфікації оператора;
- консольне кріплення стола обмежує габарити робочої зони.



а)

б)

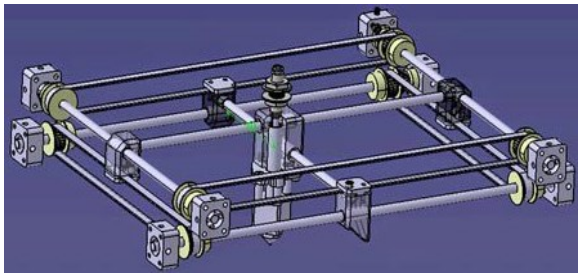
Рис. 2 – FDM 3D принтер конструкції Makerbot: а) модель 1-го покоління; б) модель 2-го покоління

Після виходу на ринок у 2011 р., кінематика Makerbot була найпопулярнішою і використовувалася для виробництва деталей, функціональних прототипів, дизайнерських макетів і т.д. Вона використовувалась у науковій діяльності, інженерному проектуванні та промисловому виробництві. Проте згодом з'явились інші компонування, що мали ряд переваг і поступово почали витісняти кінематику Makerbot.

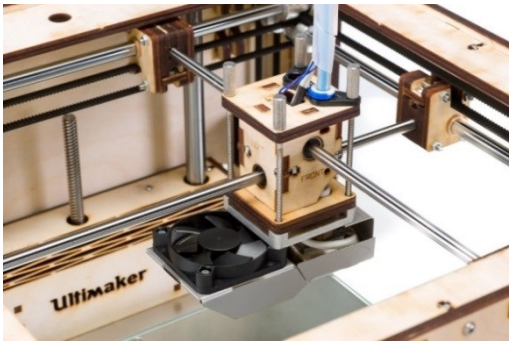
Кінематика CoreXY (від англ. core – ядро) [15] являється подальшим розвитком кінематики Makerbot [14] (Рис. 2). У цій конструкції відсутній кроковий двигун на рухомій осі. Всі двигуни зафіксовано на

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

несучій рамі. Друкувальна головка кріпиться на перетині двох взаємноперпендикулярних валів, що фіксуються на осях X та Y. Дана конструкція дає одну з кращих якостей друку, тому є однією з найпопулярніших. Найпоширенішими моделями на ринку є принтери компанії Ultimaker [15] (Рис. 3).



а)



б)

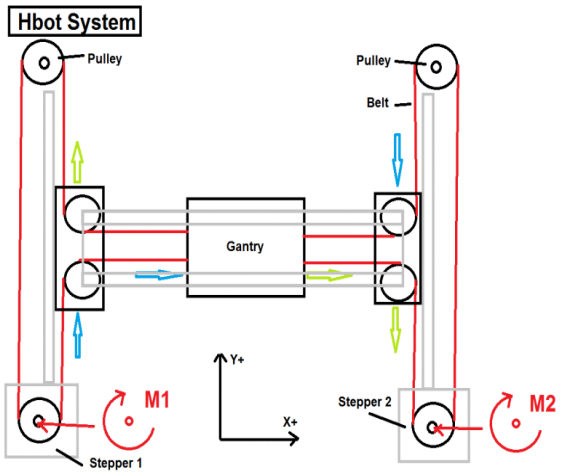
Рис. 3 – Конструкції механіки типу CoreXY: а) 3Д модель осей X та Y; б) 3Д принтер Ultimaker

На даний момент найдосконалішою конструкцією є схема під назвою H-Bot [16] (Рис. 4). Іноді дану кінематику включають до типу CoreXY, проте вона має ряд принципових відмінностей. Основним є те, що вся система приводиться до руху за допомогою одного зубчатого ременя, що охоплює весь механізм по Н-образній траєкторії.

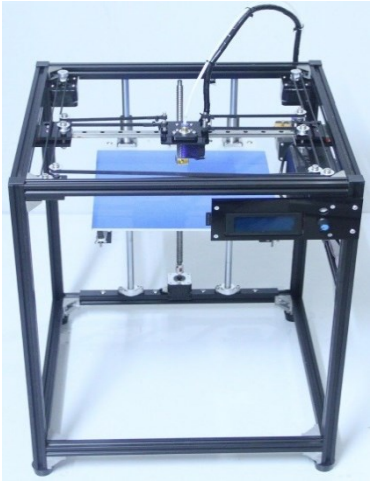
Друкувальна головка знаходиться на рельсовій направляючій або на двох паралельних валах осі X, кінці якої закріплені до направляючих осі Y. Дана схема реалізована у багатьох серійних FDM 3D принтерах, проте найбільш популярна серед кастомних (зібраних власноруч із використанням відкритого коду) принтерів.

Переваги:
- мінімальна інерція рухомих органів (переміщується тільки друкувальна головка загальною масою зазвичай від 50 до 120 грам);
- стіл рухається по осі Z в закритому корпусі, тому градієнт температур стабільний;
- можливо масштабувати механіку;
- висока точність друку (точність розмірів готового виробу по осям X та Y досягає ± 0,05 – 0,1 мм) та швидкість друку (низька маса друкувальної головки дозволяє досягати швидкість друку до 120 мм/с).

Недоліки:
- високі вимоги до деталей осей X та Y (допуски валів, матеріали втулок) та максимально допустимого взаємного розташування напрямних валів (кут нахилу у всіх площинах не більше 90º ± 10º)
- достатньо складна у порівнянні з Makerbot та Prusa конструкція, внаслідок чого складність в обслуговуванні.



а)



б)

Рис. 4 – FDM 3D-принтер з механікою типу H-Bot: а) кінематична схема; б) приклад кастомного пристрою

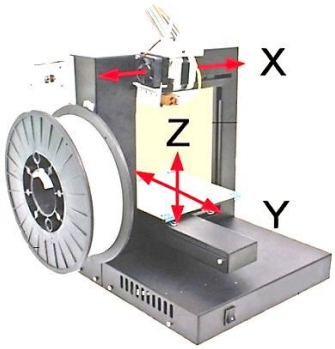
Переваги кінематики H-Bot по суті є такими ж як і в механіки CoreXY, окрім цього до переваг можна віднести простоту конструкції та обслуговування.

Недоліки:
- необхідність використовувати високовартістні рельсові направляючі;
- високі вимоги до жорсткості конструкції осей X та Y, так як при діагональному русі, рухома балка пересувається одним двигуном, що в свою чергу створює перекіс і можливе розбалансування конструкції.

Кінематики типів Core XY та H-Bot на даний момент є найбільш популярними у світі, їх використовують як головні виробники серійних 3Д принтерів так і окремі інженери для створення кастомного обладнання. Наведені кінематики дозволяють створювати устаткування, що вирішує широкий спектр задач. 3Д принтери на базі Core XY та H-Bot використовують у автомобільній, авіабудівній промисловості, інженерних розробках, індустрії розваг, мистецтві. На них виготовляють деталі різних габаритів, функціональні прототипи, тестові зразки, арт-об'єкти і т.д.

3. Платформа рухається по одній горизонтальній та вертикальній осі, екструдер – по іншій горизонтальній осі.

Схожа на кінематику Prusa, але платформа рухається ще і по вертикальній осі Z (рис. 5). Дана схема не є достатньо поширеною, по суті єдиною серійною моделлю є принтер UP від компанії PP3DP [17].



а)

б)

Рис. 5 – FDM 3D-принтер UP компанії PP3DP: а) модель 1-го покоління; б) модель 2-го покоління з закритим корпусом

Переваги:
- переміщення кожної з осей є незалежним;
- можливість збільшувати висоту друку (до 500 мм);
- доволі висока якість друку (точність друку досягає 0,15 мм, а висота шару матеріалу може досягати 150 мк);
- простота в обслуговуванні.

Недоліки:
- висока інертність (маса рухомих частин може досягати 1 кг);
- градієнт температури стола непостійний.

Переважно дані принтери використовують для навчальних цілей, вони дають змогу створювати невеликі деталі, що не потребують високої точності виготовлення.

4. Платформа нерухома, а екструдер рухається по осям X, Y та Z.

Така компоновка використовується для крупногабаритного друку, коли вага деталі від декількох кілограм, а розміри від 500 мм. Для друку таких деталей навіть мінімальний вплив зміни температурного градієнту є неприпустимим. Дана схема поширена в індустріальному прототипуванні. 3Д принтери такої схеми серійно виготовляються компанією Cosine [18] (рис. 6).

Переваги:
- градієнт температури максимально стабільний (робоча зона знаходиться в термокамері, що дає змоги чітко підтримувати необхідну температуру від 40 до 100ºC);
- можливість друку надвеликих об'єктів (робоча зона складає від 1100*850*850 мм);
- загальна низька інерція (переміщується лише друкувальна головка масою менше 1 кг)

Недоліки:
- складність механіки та обслуговування;
- висока вартість та експлуатаційні витрати (устаткування коштує від 40 тисяч USD, потребує приміщень промислового призначення).

Рис. 6 – Промисловий FDM 3D-принтер AM1 компанії Cosine

Такі принтери використовують при виробництві повномасштабних функціональних прототипів, для серійного виробництва крупногабаритних деталей складної конфігурації (наприклад турбін приватних електростанцій, корпусних деталей спортивних автомобілів або літаків тощо), оснастки для серійного виробництва (вакуумні та ливникові форми), у мистецтві (статуї, арт-об'єкти) і т.д.

5. Платформа рухається по горизонтальним осям X та Y, екструдер рухається по Z.

Основою даної кінематики є те, що робоча платформа рухається вздовж взаємно перпендикулярних осей X та Y, друк відбувається

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

навколо нерухомого екструдера. Прикладом серійного 3Д принтера є проект Tekma 3D [19] (Рис. 7).

Широкого практичного використання така механіка не отримала з ряду очевидних причин: низька якість друку (близько 1 мм), мала робоча зона (до 100*100*100 мм), відсутність відкритого коду для програмного забезпечення тощо. Переважно така механіка використовується в приватних невеликих проектах для дослідження деяких властивостей витратного матеріалу та навчальних цілях.

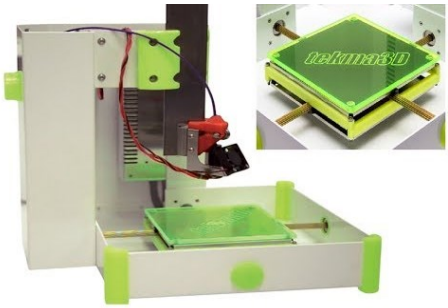


Рис. 7 – FDM 3D-принтер Tekma3D TM1

Дельта схема.

Механіка типу Дельта [20] (рис. 8) має нерухомий стіл, а екструдер переміщується за допомогою взаємозалежних направляючих осей XYZ, що в просторі утворюють піраміду-тетраедр. Для обчислення переміщень використовується тригонометрична функція залежна від кутів конструкції. З однієї сторони це дозволяє точно позиціонувати екструдер, з іншої – невеличке відхилення по одній з осей призводить до загального збою у позиціонуванні.

Переваги:

- менша кількість деталей механіки (в середньому на 20-30%);
- більша швидкість друку в порівнянні з класичними картезіанськими схемами (можливо досягти швидкості переміщення друкувальної головки до 200 мм/с);
- відсутність «воблінгу» (періодична нерівномірність шарів по вертикальній осі Z);
- найліпше підходять для друку вертикальних об’єктів;

Недоліки:

- більші вимоги до точності деталей механіки (допустиме відхилення геометричних розмірів напрямних до 50 мкм);
- необхідність більш потужної електроніки (потрібно використовувати цифрові плати з 32-бітною архітектурою);
- довгі тяги призводять до неефективного використання осі Z (тяги займають до 40% довжини направляючих).

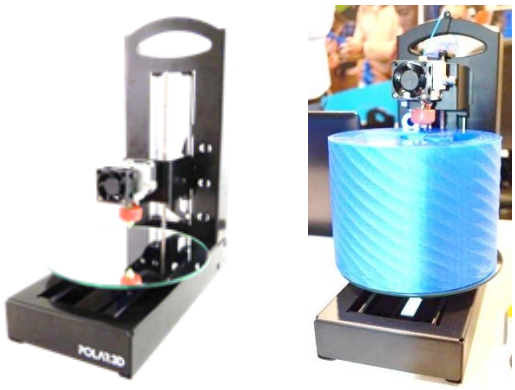
Прикладами комерційних дельта-принтерів є: Mass Portal D300, 3DQuality Prism Pro Dual, Anet A4 [21-23].

Дельта схему використовують при точному виробництві переважно вертикально орієнтованих деталей. Також така схема добре підходить для серійного виробництв та сфер де необхідно пришвидшити процес 3Д друку.

Полярна схема являється відносно новою, в якій позиціонування екструдера задається не координатами XYZ, а радіусом та кутом. Платформа в такій схемі кругла, обертається та рухається вздовж горизонтальної осі. Найбільш широко на ринку представлена моделлю компанії Polar [24] (рис. 9).

а) *б)* *в)*

Рис. 8 – Типовий вигляд FDM 3D-принтерів типу Дельта: а) Mass Portal D300; б) 3DQuality Prism Pro Dual; в) Anet A4



а) *б)*

Рис. 9 – FDM 3D-принтер Polar 3D: а) загальний вигляд; б) процес друку

Переваги:

- доволі проста механіка;
- простота в обслуговуванні;
- доволі просто масштабувати механіку по вертикальній осі Z (до 500 мм);

Недоліки:
- відносно низька точність друку (відхилення може досягати ±0,5 мм);
- нестабільний градієнт робочої зони (коливання температур в межах одного шару можуть досягати 10ºС);
- висока інертність (маса рухомих частин досягає 1 кг).

Переважними сферами використання є навчання у сфері 3Д друку та дрібносерійне виробництво. Об'єкти формування – дрібногабаритні тіла обертання (вали, втулки, ролики тощо).

Схема на основі роботизованого маніпулятора

Являється найбільш сучасною комплексною схемою (Рис. 10, Рис. 11). Вона включає механіку на основі роботизованого маніпулятора на яку кріпиться екструзійна головка.

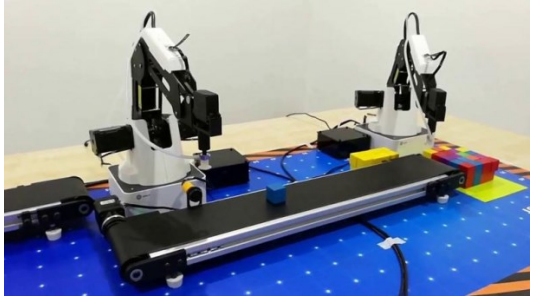


Рис. 10 – Лінія для серійного 3Д друку

Рис. 11 – Портативний багатофункціональний роботизований маніпулятор з можливістю 3Д друку DOBOT M1 [25]

Переваги:
- багатофункціональність, можливо виконувати інші види робіт (лазерну порізку та гравірування, зварювання, складальні операції тощо);
- висока точність (відхилення позиціонування не перевищує ±10 мкм);
- велика робоча зона (обмежується довжиною основного прольоту руки маніпулятора);

Недоліки:
- висока вартість та складність у порівнянні з аналогічними 3Д принтерами для промислового використання;
- обслуговування вимагає високої кваліфікації.

Така схема в основному використовується в промисловому виробництві для виготовлення типових або однакових об'єктів.

Порівняння основних конструктивних характеристик

Огляд основних конструктивних схем встановив, що основними параметрами, що впливають на якість та ефективність друку, а також на вибір обладнання в залежності від отримуваних виробів, є: точність друку (позиціонування друкувальної головки), рухомість робочої платформи в площині нанесення витратного полімерного матеріалу, габарити зони формування виробів, швидкість переміщення друкувальної головки, складність конструкції та обслуговування, ціна устаткування. Нижче наведено порівняльна оціночна табл. 1 характеристик основних моделей FDM 3Д принтерів кожної з розглянутих схем. Оцінка 1 відповідає низькому, 2 – середньому, а 3 – високому діапазону значень відповідної характеристики.

Таблиця 1 – Порівняльна оцінка основних характеристик FDM 3Д принтерів основних кінематичних схем

	Точність друку (позиціонування)	Рухомість стола по X та Y	Розмір робочої зони	Швидкість друку	Складність конструкції	Обслуговування	Ціна
Prusa i3	2	+	1	2	1	1	1
Makerbot	2	-	2	2	2	2	2
Ultimaker	2	-	2	2	2	2	2
H-Bot Cust	3	-	3	2	2	2	2
PP3DP	2	+	1	2	1	1	1
AM1	3	-	3	3	3	3	3
Tekma 3D	1	+	1	1	2	2	1
Anet A4	3	-	2	3	3	3	2
Polar 3D	2	-	1	2	2	2	1
Dobot M1	3	-	3	2	3	3	3

Висновки

Проаналізовані конструктивні особливості, переваги та недоліки застосування сучасних FDM-принтерів, призначених для просторового друку полімерних термопластичних матеріалів, у залежності від сфери та об'єктів їх використання.

Зокрема, було встановлено, що існує 4 основні схеми FDM 3Д принтерів, а саме: картезіанська, дельта, полярна та на основі роботизованого маніпулятора. Кожна зі схем включає десятки та сотні моделей від різних виробників обладнання адитивної індустрії світу.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Беззаперечним світовим лідером є картезіанська схема, що об'єднує ряд підвидів, серед яких в свою чергу найпопулярніші такі схеми як Prusa, Core-XY та H-Bot. Загальна світова частка їх складає близько 80% у загальній кількості працюючих FDM 3D принтерів. Пристрої цих схем найбільш якісні та ефективні, вони використовуються як для приватних цілей, так і у промисловому виробництві (інженерному проектуванні, авіа- та автомобілебудуванні, електроніці, будівництві тощо), дизайні та мистецтві. На них виготовляють вироби різних типорозмірів та з широкого спектру термопластичних матеріалів.

Дельта схема також доволі популярна та займає близько 5–7% світового ринку. Вона є незамінною в тих випадках, коли необхідна висока продуктивність і при цьому достатня точність адитивного виробництва.

Полярна схема найновіша, проте не отримала широкого практичного поширення. На даний час вона лишається предметом досліджень вчених та інженерів. Проте подальший розвиток полярної схеми можливо покращить її поширеність та використання у промисловості.

Схема на основі роботизованого маніпулятора є яскравим прикладом впровадження технології FDM 3Д друку для серійного виробництва. Вона незамінна при масовому виробництві деталей, що не можуть бути виготовлені класичними методами обробки.

При цьому технологія FDM 3Д друку інтенсивно розвиваються і створюються нові типи та види обладнання. Це дає напрямки подальших досліджень для вибору найбільш доцільних засобів 3Д-друку у залежності від поставлених конструкторсько-технологічних завдань та сфери використання засобів просторового друку.

Встановлено основні параметри, що є визначальними при виборі FDM 3Д принтерів, та наведено зведену таблицю оцінок кожної з характеристик для принтерів основних кінематичних схем. Виходячи з цього, основою подальших досліджень є розробка методики визначення абсолютних значень впливу кожної з характеристик на якість та ефективність використання кожного з типів FDM 3Д принтерів залежно від необхідних характеристик отримуваних виробів.

Список літератури

1. Xiao-Su Yi, Shanyi Du, Litong Zhang, (eds.). Composite Materials Engineering. *Fundamentals of Composite Materials*. Springer, Singapore. 2018. Vol. 1. doi: 10.1007/978-981-10-5696-3.
2. Vasiliev V. V., Morozov E. V. *Advanced Mechanics of Composite Materials and Structures.* 4th ed. Elsevier. 2018. doi: 10.1007/620-982-10-5696-3.
3. Kolosov A. E. Preparation of Nano-Modified Reactoplast Polymer Composites. Part 1. Features of used nanotechnologies and potential application areas of nanocomposites. *Chemical and Petroleum Engineering.* 2015. Vol. 51 (7-8), pp. 569-573. doi: 10.1007/s10556-015-0088-y.
4. Kolosov A. E. Preparation of Reactoplastic Nano-Modified Polymer Composites. Part 5. Advantages of using nano-modified structural carbon-fiber composites. *Chemical and Petroleum Engineering.* 2017. Vol. 52 (9-10), pp. 721-725. doi: 10.1007/s10556-017-0259-0.
5. Ivitskiy I., Sivetskiy V., Bazhenov V., Ivitska D. Modeling the electrostatic control over depth of the introduction of intelligent sensors into a polymer composite material. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2017. Vol. 1. no. 5 (85). pp. 4-9. doi: 10.15587/1729-4061.2017.91659.
6. Sivetskyy V. I., Khalimovskyy O. M., Sokolskyy O. L., Ivitskiy I. I. Automation of intelligent sensor injection inlet in polymer moldings by using vector controlled electric drive In: *Proceedings of the IEEE 1st Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON '17), IEEE*. Kiev, 2017, pp. 534-537. doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100297.
7. Benzait Zineb, Trabzon Levent. A review of recent research on materials used in polymer–matrix composites for body armor application. *Journal of Composite Materials*, 2018, Publ. March 14. doi: 10.1177/002198318764002.
8. Kolosov A. E., Sivetskii V. I., Kolosova E. P., Vanin V. V., Gondlyakh A. V., Sidorov D. E., Ivitskiy I. I. Creation of Structural Polymer Composite Materials for Functional Application Using Physicochemical Modification. *Advances in Polymer Technology,* 2019. 12 p. doi: 10.1155/2019/3501456.
9. Sakharov A. S., Kolosov A. E., Sivetskii V. I., Sokolskii A. L. Modeling of Polymer Melting Processes in Screw Extruder Channels. *Chemical and Petroleum Engineering.* 2013, Vol. 49 (5-6), pp. 357-363. doi: 10.1007/s10556-013-9755-z.
10. Kolosov A. E., Virchenko G. A., Kolosova E. P., Virchenko G. I. Structural and technological design of ways for preparing reactoplastic composite fiber materials based on structural parametric modeling. *Chemical and Petroleum Engineering.* 2015. Vol. 51 (7-8). P. 493-500. doi: 10.1007/s10556-015-0075-3.
11. Borelli V. *Kinematic and dynamic analysis of a machine for additive manufacturing*. Torino, 2018. 113 p. doi: 10.3390/machines5040029.
12. Hejtmanek M. *Additive Manufacturing Technologies Utilization in Process Engineering*. Prague, 2017. doi: 10.1007/s00170-015-7077-3.
13. Prusa research. URL: https://www.prusa3d.com/ (дата звернення 09.02.2020).
14. MakerBot Industries. URL: https://www.makerbot.com/ (дата звернення 09.02.2020).
15. Ultimaker BV. URL: https://ultimaker.com/ (дата звернення 09.02.2020).
16. Weikert S., Ratnaweera R., Zirn O., Wegener K. Modeling and measurement of H-Bot kinematic systems. *Swiss Federal Institute of Technology*. ETH. Zurich. 2010.
17. Professional printing. URL: http://www.pp3dp.com/ (дата звернення 09.02.2020).
18. Cosine. URL: https://www.cosineadditive.com/ (дата звернення 09.02.2020).
19. Fabbaloo. 3 d printing news. URL: https://www.fabbaloo.com/blog/2014/7/2/the-tekma3d-tm1-3d-printer (дата звернення 09.02.2020).
20. What is a Delta 3D Printer? – Simply Explained. URL: https://all3dp.com/2/what-is-a-delta-3d-printer-simply-explained/ (дата звернення 09.02.2020).

21. Mass Portal D300. URL: https://www.3d-tulostus.fi/Mass-Portal-D300/en (дата звернення 09.02.2020).
22. Prism Pro Dual 3D Quality. URL: https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/3dquality-prism-pro-dual/ (дата звернення 10.02.2020).
23. A4 (Kit) Anet. URL: https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/anet-a4-kit/ (дата звернення 11.02.2020).
24. The #1 platform and marketplace for 3D printing in education. URL: https://polar3d.com/ (дата звернення 11.02.2020).\
25. DOBOT M1 SCARA Collaborative Robot Arm. URL: https://www.dobot.cc/dobot-m1/product-overview.html (дата звернення 11.02.2020).

References (transliterated)

1. Xiao-Su Yi, Shanyi Du, Litong Zhang, (eds.). Composite Materials Engineering. *Fundamentals of Composite Materials*. Springer, Singapore, 2018, Vol. 1, doi: 10.1007/978-981-10-5696-3.
2. Vasiliev V. V., Morozov E. V. *Advanced Mechanics of Composite Materials and Structures*. 4th ed. Elsevier, 2018, doi: 10.1007/620-982-10-5696-3.
3. Kolosov, A.E. Preparation of Nano-Modified Reactoplast Polymer Composites. Part 1. Features of used nanotechnologies and potential application areas of nanocomposites. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2015, Vol. 51 (7-8), pp. 569-573, doi: 10.1007/s10556-015-0088-y.
4. Kolosov, A.E. Preparation of Reactoplastic Nano-Modified Polymer Composites. Part 5. Advantages of using nano-modified structural carbon-fiber composites. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2017, Vol. 52 (9-10), pp. 721-725, doi: 10.1007/s10556-017-0259-0.
5. Ivitskiy, I., Sivetskiy, V., Bazhenov, V., Ivitska, D. Modeling the electrostatic control over depth of the introduction of intelligent sensors into a polymer composite material," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, Vol.1, no. 5 (85), pp. 4-9, doi: 10.15587/1729-4061.2017.91659.
6. Sivetskyy V. I., Khalimovskyy O. M., Sokolskyy O. L., Ivitskiy I. I. Automation of intelligent sensor injection inlet in polymer moldings by using vector controlled electric drive In: *Proceedings of the IEEE 1st Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON '17), IEEE*, Kiev, 2017, pp. 534-537, doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100297.
7. Benzait Z., Trabzon L. A review of recent research on materials used in polymer–matrix composites for body armor application. *Journal of Composite Materials*, 2018, publ. March 14, doi: 10.1177/002198318764002.
8. Kolosov A. E., Sivetskii V. I., Kolosova E. P., Vanin V. V., Gondlyakh A. V., Sidorov D. E., Ivitskiy I. I. Creation of Structural Polymer Composite Materials for Functional Application Using Physicochemical Modification. *Advances in Polymer Technology*, 2019, p. 12, doi: 10.1155/2019/3501456.
9. Sakharov A. S., Kolosov A. E., Sivetskii V. I., Sokolskii A. L. Modeling of Polymer Melting Processes in Screw Extruder Channels. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2013, Vol. 49 (5-6), pp. 357-363. doi: 10.1007/s10556-013-9755-z.
10. Kolosov A. E., Virchenko G. A., Kolosova E. P., Virchenko G. I. Structural and technological design of ways for preparing reactoplastic composite fiber materials based on structural parametric modeling. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2015, Vol. 51 (7-8), pp. 493-500, doi: 10.1007/s10556-015-0075-3.
11. Borelli V. *Kinematic and dynamic analysis of a machine for additive manufacturing*. Torino, 2018, p. 113, doi: 10.3390/machines5040029.
12. Hejtmanek M. *Additive Manufacturing Technologies Utilization in Process Engineering*, Prague, 2017, doi: 10.1007/s00170-015-7077-3.
13. Prusa research. Available at: https://www.prusa3d.com/ (accessed 09.02.2020).
14. MakerBot Industries. Available at: https://www.makerbot.com/ (accessed 09.02.2020).
15. Ultimaker BV. Available at: https://ultimaker.com/ (accessed 09.02.2020).
16. Weikert S., Ratnaweera R., Zirn O., Wegener K. Modeling and measurement of H-Bot kinematic systems. *Swiss Federal Institute of Technology, ETH*, Zurich, 2010.
17. Professional printing. Available at: http://www.pp3dp.com/ (accessed 09.02.2020).
18. Cosine. Available at: https://www.cosineadditive.com/ (accessed 09.02.2020).
19. Fabbaloo. 3 d printing news. Available at: https://www.fabbaloo.com/blog/2014/7/2/the-tekma3d-tm1-3d-printer (accessed 09.02.2020).
20. What is a Delta 3D Printer? – Simply Explained. Available at: https://all3dp.com/2/what-is-a-delta-3d-printer-simply-explained/ (accessed 09.02.2020).
21. Mass Portal D300. Available at: https://www.3d-tulostus.fi/Mass-Portal-D300/en (accessed 09.02.2020).
22. Prism Pro Dual 3D Quality. Available at: https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/3dquality-prism-pro-dual/ (accessed 10.02.2020).
23. A4 (Kit) Anet. Available at: https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/anet-a4-kit/ (accessed 11.02.2020).
24. The #1 platform and marketplace for 3D printing in education. Available at: https://polar3d.com/ (accessed 11.02.2020).
25. DOBOT M1 SCARA Collaborative Robot Arm. Available at: https://www.dobot.cc/dobot-m1/product-overview.html (accessed 11.02.2020).

Відомості про авторів (About authors)

Олексишен Віталій Олександрович – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», аспірант кафедри хімічного полімерного та силікатного машинобудування, Київ, Україна; e-mail: vitaliy.oleksishen@gmail.com.

Vitalii Oleksyshen – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", postgraduate student of the department of chemical, polymer and silicate engineering, Kyiv, Ukraine; e-mail: vitaliy.oleksishen@gmail.com.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Олексишен В. О. Аналіз конструктивних особливостей та ефективності застосування сучасних FDM принтерів для просторового друку полімерними термопластичними матеріалами. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 25-34. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.04.

Please cite this article as:

Oleksyshen V. Analysis of structural features and efficiency of application of modern FDM printers for 3D printing using polymer thermoplastic materials. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1 (3), pp. 25-34, doi:10.20998/2413-4295.2020.03.04.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Олексишен В. А. Анализ конструктивных особенностей и эффективности применения современных FDM принтеров для пространственной печати полимерными термопластичными материалами. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 25-34. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.04.

АННОТАЦИЯ *В работе приведены основные параметры современного состояния мирового рынка оборудования аддитивного производства. Для исследования выбран самый распространенный тип аддитивной технологии, а именно FDM (Fused Deposition Modeling) – формирование методом наплавки или 3Д печать термопластичным полимерным материалом. Данная технология является самой распространенной и используется в промышленности, инженерном проектировании, быстром прототипировании, образовательном процессе, научных исследованиях, медицине, дизайне и тому подобном. Были приведены основные работы, которые рассматривают основные характеристики оборудования, систематизируют их по конструктивным особенностям и областям применения. Учитывая недостаточный охват типов и конструкций оборудования в этих работах, было проведено расширенный обзор приборов на основе FDM технологии. Классификация оборудования базируется на принципе перемещения исполнительных органов, а именно печатающей головки и рабочей платформы 3Д принтера. Исходя из этого установлено, что существует четыре основные схемы построения FDM 3Д принтеров – такие, как картезианская, дельта, полярная и схемы на основе роботизированного манипулятора. Были приведены наиболее популярные модели 3Д принтеров каждой из схем, рассмотрены их основные преимущества и недостатки, сферы и области применения, примеры изготавливаемых изделий. Обзор показал, что наиболее распространенной схемой, как в мире, так и в Украине является картезианская, которая в свою очередь делится на ряд подвидов. Среди них особенно популярными являются Prusa, CoreXY и H-Bot схемы. Они являются наиболее универсальными, используют практически все типы расходного термопластичного материала, включают практически весь необходимый для производства ряд типоразмеров рабочей зоны и являются наиболее гибкими к модернизации. Также были рассмотрены FDM 3Д принтеры на основе роботизированного манипулятора. Развитие данного типа оборудования является примером внедрения аддитивных технологий в серийное автоматизированное производство. Рассмотрение основных сфер применения и основных преимуществ и недостатков каждого из типов 3Д принтеров, позволило дать рекомендации к выбору оборудования для пространственной печати в зависимости вида деятельности.*

Ключевые слова: *3D-принтер; аддитивная технология; пространственная печать; FDM; кинематическая схема; полимерные материалы*

Надійшла (received) 14.02.2020

УДК 546.795+542.78;53.092 doi:10.20998/2413-4295.2020.03.05

СВЕРХКРИТИЧЕСКАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

С. Ф. СКОРОМНАЯ

ННЦ "Харьковский физико-технический институт", г. Харьков, УКРАИНА
e-mail: stellaskoromnaya@gmail.com

АННОТАЦИЯ *Описана хронология открытия и исследования сверхкритического (СК) состояния веществ. Отмечается известная возможность использования СК состояния различных сред в присутствии β-дикетонов для экстракционного выделения, концентрирования и выделения биологических материалов и химических соединений металлов. Для различных материалов такие процессы выделения принято называть сверхкритической флюидной экстракцией (СФЭ). Диоксид углерода является хорошим кандидатом на роль сверхкритического флюида, т.к. обладает достаточно низкими параметрами сверхкритичности, а его следовые количества в экстрагируемом материале невелики. К тому же он практически весь переходит в газообразную фазу при сбросе давления. Обсуждаются процессы СФЭ в диоксиде углерода применительно к редкоземельным элементам (РЗЭ). Отмечена высокая, на уровне 92-98 %, эффективность СФЭ РЗЭ в среде диоксида углерода. Приведены примеры и обсуждается возможность использования СФЭ диоксидом углерода урана из природных минералов и низкообогащенных материалов, накопленных в хвостохранилищах. Показана возможность получения эффективности СФЭ диоксидом углерода урана более 90 % в присутствии микроколичеств воды. Описаны условия проведении СФЭ в среде диоксида углерода, при которых возможно раздельное получение изотопов урана. Показано, что для такого разделения необходимо создание градиентного поля температур вдоль вертикальной оси экстракционной камеры. Экспериментально определено, что коэффициент разделения U^{235} при СФЭ урана диоксидом углерода составляет величину порядка 1,2. Обсуждается возможность использования СФЭ молибдена в среде диоксида углерода для последующего производства медицинского изотопа ^{99m}Tc. На основе описанных экспериментальных данных по СФЭ диоксидом углерода комплексов металлов введено понятие сверхкритическая металлургия металлов и их изотопов.*
Ключевые слова: *сверхкритический флюид; экстракция; редкоземельные элементы; трансурановые элементы; разделение; изотоп урана; молибден; технеций; металлургия*

SUPERCRITICAL METALLURGY

S. SKOROMNAYA

NSC Kharkov Institute of Physics and Technology, Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT *The chronology of the discovery and study of the supercritical (SC) state of substances is described. The well-known possibility of using the SC state of various media in the presence of β-diketones for extraction isolation, concentration and isolation of biological materials and chemical compounds of metals is noted. For various materials, such separation processes are called supercritical fluid extraction (SFE). Carbon dioxide is a good candidate for the role of supercritical fluid, as possesses rather low supercritical parameters, and its trace amounts in the extracted material are small. In addition, it almost all goes into the gaseous phase when the pressure is released. The processes of SFE in carbon dioxide as applied to rare earth elements (REE) are discussed. High, at the level of 92-98 %, efficiency of SPE REE in carbon dioxide was noted. Examples are given and the possibility of using SFE by carbon dioxide of uranium from natural minerals and low enriched materials accumulated in tailing dumps is discussed. The possibility of obtaining the efficiency of SFE by uranium carbon dioxide of more than 90 % in the presence of micro quantities of water is shown. The conditions for conducting SFE in a carbon dioxide medium are described under which it is possible to separately obtain uranium isotopes. It is shown that for such separation it is necessary to create a gradient temperature field along the vertical axis of the extraction chamber. It was experimentally determined that the separation coefficient of U^{235} in the SFE of uranium with carbon dioxide is about 1.2. The possibility of using SFE of molybdenum in carbon dioxide for the subsequent production of the medical isotope ^{99m}Tc is discussed. Based on the described experimental data on SFE with carbon dioxide of metal complexes, the concept of supercritical metallurgy of metals and their isotopes is introduced.*
Keywords: *supercritical fluid; extraction; rare earth elements; transuranium elements; uranium isotope; separation; molybdenum; technetium; metallurgy*

Введение

СФЭ описана еще в 1822 году Каньяром де ла Туром, открывшим существование критической точки вещества. Оказалось, что экспериментально наблюдается некоторый температурный уровень, выше которого плотности жидкой и газовой фаз становятся равны и различие между ними исчезает. В результате при этой температуре образуется одна фаза - сверхкритический флюид. Сегодня этот температурный предел называется точкой Каньяра де ла Тура. В 1860 году этот температурный предел был повторно открыт Д. И. Менделеевым, и назван им температурой абсолютного кипения жидкостей. Дальнейший прогресс в исследовании этого явления наступил в 1869 г. после экспериментов Т. Эндрюса, который визуально наблюдал критическое состояние и

© С. Ф. СКОРОМНАЯ, 2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

определил существование не только температурного предела, но и предела давления. В результате им были введены термины «критическая точка» и «сверхкритический флюид».

Растворение одного или нескольких предварительно подготовленных материалов в твердой или жидкой фазе в «сверхкритическом флюиде» - является процессом СФЭ. Сверхкритический флюид - состояние вещества, характеризующееся такими физико-химическими свойствами, которые являются промежуточными между жидкостью и газом. Он может сжиматься как газ (обычные жидкости практически несжимаемы) и, в тоже время, способен растворять твердые вещества, что газам не свойственно. В процессе СФЭ происходит контакт смеси разделяемых материалов с растворителем (флюидом), который находится при температуре и давлении выше критических, 31,3 °С и 7,36 МПа соответственно [1].

Бурное исследование данного процесса началось после 50-х годов XX века.

Технология СФЭ стала применяться для исследования выделения металлов.

Впервые Wai C. M. с соавторами описали метод экстрагирования ионов урана и лантанидов из твердых образцов в среде сверхкритического диоксида углерода (СК-CO_2) фторированными β - дикетонами [2]. Таким образом, они показали, что этот метод может быть использован для выделения лантаноидов и актиноидов из различных материалов. Интерес к исследованиям в данном направлении обусловлен тем, что использование этого метода может значительно уменьшить объемы ЖРО, которые присущи современным технологиям.

С 1993 г. по настоящее время проведен большой объем исследований по изучению СФЭ-CO_2 экстракции металлов из твердых матриц и растворов. За этот период были проведены обширные исследования и опубликованы статьи и обзоры по экстракции катионов металлов (см., например, [3-8].

Однако, особый интерес представляет использование процессов СФЭ-CO_2 для переработки отработанного ядерного топлива (ОЯТ), а также для дезактивации различных материалов и поверхностей, загрязненных в результате промышленных процессов или техногенных катастроф. К настоящему времени накоплен большой объем материала по СФЭ-CO_2 комплексов металлов с β - дикетонами и фторсодержащими реагентами [9-12].

Обычно, в качестве растворителей используют хлороформ, четыреххлористый углерод, гексан, бензол, ксилол, диэтиловый эфир, этилацетат. Все эти органические растворители высокотоксичные, и всегда оставляют след в экстрагируемом материале.

Хотя диоксид углерода тоже токсичен, но он обладает достаточно низкими сверхкритическими параметрами. Его следовые количества в экстрагируемом материале не велики, т.к. он практически весь переходит в газообразную фазу при понижении давления до атмосферного. Это позволяет исключить его токсичность, т.к. газ можно использовать повторно, произведя его сбор, компримирование и направление в исходный баллон.

Использование в качестве экстрагента флюидов в СК состоянии позволяет производить практически полную переработку исходного сырья в различных промышленных технологиях: фармацевтической, пищевой, парфюмерной, нефтехимической и т.д. СФЭ-CO_2 используется для извлечения радиоактивных элементов, а именно для переработки низкообогащенных отвалов урановых руд или техногенных месторождений с целью получения топлива для атомных установок, переработки ОЯТ.

1) В настоящее время существует ряд компаний-производителей установок для сверхкритической флюидной экстракции: UHDE - High Pressure Technologies GmbH (Хаген, Германия);

2) SEPAREX S.A.S. (Шампаньоль, Франция);

3) SITEC - Sieber Engineering AG (Цюрих, Швейцария);

4) ООО «ТЕХАРМ» (Львов, Украина) [13].

Основными производителями лабораторного оборудования для СФЭ является Институт аналитического приборостроения Российской академии наук (Санкт-Петербург), РФ и компания «Thar Technologies, Ltd.», США. Последняя производит полную линейку лабораторного оборудования, пилотных и промышленных установок и комплектующих к ним. Ее официальным дистрибьютором является компания ЗАО «ШАГ» (Москва) [14].

Цель работы

Целью работы является обобщение полученных к настоящему времени результатов по сверхкритической флюидной экстракции комплексов металлов и их изотопов, и, на основании приведенного материала, обоснование нового понятия - сверхкритическая металлургия.

Изложение основного материала

Сверхкритическая экстракция РЗЭ

Настоящим золотом нашего века, которое используют в самых разных областях современной техники: в радиоэлектронике, приборостроении, атомной технике, машиностроении, химической промышленности, в металлургии, медицине являются редкоземельные элементы (РЗЭ). Без них немыслимы повседневные достижения прогресса - мобильные телефоны, компьютерные жесткие диски, мониторы и другие [15,16].

Основными предпосылками дальнейшего роста потребления РЗЭ в мире являются:

- освоение альтернативных источников энергии, что связано с ростом объемов производства ветрогенераторов и солнечных батарей;
- ужесточение экологических требований, что ведет к росту объемов производства катализаторов для дожига автомобильных топлив, присадок к дизельному топливу;
- развитие энергосберегающих технологий, что обусловлено ростом объемов производства гибридных автомобилей, компактных люминесцентных ламп, светодиодов, сверхпроводников;
- разработка и внедрение новых конструкционных материалов (в самолетах, космических аппаратах, автомобилях, трубопроводах), что требует роста объемов применения РЗЭ при выплавке стали, чугуна, алюминия, других цветных металлов.

В 2010 г. при совместном участии Геологической службы США, Китайского общества редкоземельных металлов (CSRE) и британской консультативной группы Roskill была произведена оценка состояния природных запасов РЗЭ [17]. Согласно этому исследованию их совокупный мировой объём составляет около 163 млн т [16]. По результатам анализа наиболее крупные редкоземельные месторождения расположены в Китае (Баян-Обо, Цзянси), России (Ловозеро, Томтор, Чаробец), США (Маунтин-Пасс), Австралии (Маунт-Вельд, Хоршем), Канаде (Стрейндж-Лейк). Что касается разведанных и прогнозируемых запасов, то, согласно данным USGS, в географической структуре мировых разведанных запасов РЗЭ лидирующее положение, безусловно, принадлежит Китаю, который осуществляет поставки всех видов РЗЭ от сырья до готовой продукции, что составляет около 97 % мирового производства.

В ядерной промышленности РЗЭ используются:

- как поглотители тепловых нейтронов в стержнях ядерных реакторов;
- защитных оболочках ядерных установок подводных лодок и самолётов;
- ядерном топливе, конструкционных и защитных материалах, отражателях нейтронов;
- как добавки к керамическому покрытию, огнестойким материалам и стеклу;
- для получения и разделения трансурановых элементов; как активатор люминофоров, для дефектоскопии [16].

В медицине РЗЭ применяются при изготовлении медикаментов для лечения разнообразных опухолей и заболеваний, используют для лечения морской болезни, добавляют в составы для бальзамирования.

Поиски альтернативных китайским источникам РЗЭ в последние годы способствовали созданию более 50 проектов в разных странах, например, Molycorp и Lynas. К 2020 г. прогнозируется увеличение РЗЭ до 240-250 тыс. против 135 тыс. в 2013 году.

Существует необходимость получения отдельных лантаноидов для металлургии [18]. Потребление таких элементов Pr, Nd, Eu, Tb, Dy, Y является критическим для энергетических традиционных и нетрадиционных технологий. Объемы их могут превысить объемы поставок, поэтому возникает понятие “критических элементов”. Увеличение спроса на РЗЭ будет сопровождаться и увеличением их цены, однако масштабы спроса на перспективу оценить трудно. Скорее всего, спрос и цена будут возрастать дифференцированно для отдельных РЗЭ. Глобальные потребности в РЗЭ будут расти опережающими темпами. Найти их заменители достаточно сложно: отдельным РЗЭ альтернативы просто не существует.

Безусловно, одним из участников рынка РЗЭ в ближайшем будущем может стать и Украина, потенциал которой в отношении редкоземельной обеспеченности является очень высоким. Однако, Украина имеет значительные ресурсы РЗЭ, но не добывает их!

Производство РЗЭ приводит к образованию большого количества отходов, сточные воды содержат широкий спектр токсичных химических веществ и радиоактивных элементов (в частности Th), которые при попадании внутрь организма вызывают рак поджелудочной железы, легких и лейкемию. Для развития отрасли производства РЗЭ необходимо совершенствование технологий утилизации отходов.

Необходима разработка более экологичных, безопасных и эффективных технологий получения РЗЭ из разнообразных источников и всех типов руд и сырья. Одной из возможных технологий получения комплексов РЗЭ является СФЭ-CO_2.

Полученные на настоящий момент данные по СФЭ-CO_2 различных металлов, в том числе РЗЭ, красноречиво говорят о высокой эффективности, на уровне 92-98 % экстракции [2].

На основании экологических и технологических характеристик технологии СФЭ-CO_2 металлов группы РЗЭ можно с полным основанием рассматривать ее как сверхкритическую металлургию РЗЭ.

Сверхкритическая экстракция трансурановых элементов

К настоящему времени СФЭ-CO_2 металлов в основном применяется для извлечения урана, трансурановых и редкоземельных (РЗЭ) элементов β-дикетонами. Метод СФЭ-CO_2 также применяется для дезактивации радионуклидов с поверхности твердых

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

тел.

Во всех перечисленных выше случаях использования метода СФЭ-CO_2 необходимо преобразовать исходный материал в такое химическое соединение, которое хорошо растворяется сверхкритическим CO_2. Поэтому на первое место выходит химия образования CO_2 - растворимых комплексов исходных металлов, т.е. для проведения экстракции обязательно наличие стадии пробоподготовки.

Одним из примеров извлечения комплексов урана служат эксперименты СФЭ-CO_2 диоксидом углерода из гранитов, содержащих менее 0,001 % урана, выполненные в лаборатории ННЦ ХФТИ. Наиболее используемыми реагентами для данного процесса являются трибутилфосфат (ТБФ) и азотная кислота (HNO_3), которые при соединении с ураном образуют комплексы, эффективно извлекающиеся в СК-CO_2. Для понимания специфики СФЭ-CO_2 комплексов урана опишем основные его этапы.

В экспериментах образцы гранитов дробились и измельчались в порошок с размером частиц менее 50 мкм. Порошки заливались 30 %-й HNO_3 в массовом соотношении 1:1 и выдерживались в течение 24 ч. Полученный раствор смешивался с 20 %-м раствором ТБФ в уайт-спирите и взбалтывался. После расслоения органическая фаза в количестве 1 мл наносилась на лист фильтровальной бумаги диаметром 150 мм, высушивалась для удаления растворителя и помещалась в экстракционную ячейку.

Экстракция проводилась в две стадии. После каждой экстракции содержимое ячейки сбрасывалось на стопку из пяти фильтров, содержимое каждого из которых анализировалось на рентгеновском анализаторе КРАБ-3УМ. В результате проведенных экспериментов показано, что основная масса комплекса урана извлекается при быстрой стадии (выдержка образцов в реакторе в течение 2-х минут) при давлении 9 МПа и температуре 38 ºС. Последующая, медленная стадия экстракции (выдержка образцов в реакторе в течение 60 минут) при давлении 18,5 МПа и температуре 45 ºС приводит к обогащению элюента другими компонентами, присутствующими в исходном образце и взаимодействующими с комплексообразующими растворами. Не оптимизированная по составу модификаторов эффективность извлечения комплексов урана составила величину порядка 62 % при давлениях до 200 атм и температурах до 45 ºС.

Полученная в экспериментах достаточно высокая эффективность извлечения комплексов урана позволяет дать высокую оценку применения метода СФЭ-CO_2 урана из низкообогащенных отвалов урановых руд или техногенных свалок.

В целом, описанная выше технология СФЭ-CO_2 урана может быть квалифицирована как сверхкритическая металлургия урана.

Сверхкритическая экстракция изотопов урана

Основным топливным изотопом тепловых реакторов на уране является U^{235}, доля которого составляет 0,72 % от общего содержания урана. Основное производство урана осуществляется прямой добычей из урановых месторождений и переработкой отработавшего ядерного топлива, которые осуществляются хорошо зарекомендовавшими себя традиционными методами. Однако, они неизбежно приводят к накоплению больших объемов отвального урана и сопутствующих материалов, называемых хвостохранилищами. Занятые хвостохранилищами площади выводят из сельскохозяйственного оборота плодородные земли, а сами отвалы создают экологическую угрозу близлежащим территориям, загрязняя тяжелыми металлами и вредными химическими элементами грунт и подземные воды.

Поэтому для устранения отмеченных выше недостатков важной задачей является рекультивация территорий, занятых хвостохранилищами. При этом традиционные технологии извлечения урана будут неэффективными, т.к. именно они являются источником образования хвостов.

Как отмечено в предыдущем разделе, для рекультивации указанных территорий применима технология СФЭ-CO_2 урана, которая является эффективным и экологически чистым методом [19].

Однако при соответствующей модификации этого метода, возможно решить вопрос обеспечения АЭС Украины собственным ядерным топливом, т.е. обеспечить разделение основных изотопов: уран-238 и уран-235.

Модификация метода СФЭ-CO_2 заключается в использовании вертикального градиента температуры в объеме реактора. При больших давлениях в объеме реактора содержащий комплексы урана сверхкритический флюид достаточно чувствителен к перепаду температур на его верхней и нижней границах: сравнительно небольшие градиенты температуры (на уровне 0,1-0,2 ºС/см) могут запустить конвективный механизм массопереноса.

Эксперименты по исследованию пространственного распределения изотопов урана ^{235}U и ^{238}U проводились на лабораторной установке сверхкритической флюидной экстракции СФЭ-U. Реактор, в котором происходил процесс экстракции, имел высоту 21,8 см. Нижний и верхний фланцы реактора поддерживались при заданных температурах с помощью регулируемых нагревателей. Температура нижнего фланца задавалась выше температуры верхнего. Основная масса комплекса урана, содержащего изотоп ^{235}U, извлекалась при первом сбросе давления в установке.

Как показали эксперименты, при определенных параметрах СК-CO_2 флюида, концентрация изотопа U^{235} была распределена неравномерно по высоте реактора: вблизи нижнего подогреваемого фланца его концентрация была максимальна, и уменьшалась с приближением к верхнему, более холодному, фланцу. Обработка полученных экспериментальных данных показала, что коэффициент разделения U^{235} при СФЭ-CO_2 урана составляет величину порядка 1,2.

Теоретический анализ СФЭ-CO_2 урана в неоднородном поле температур показал, что увеличение содержания урана-235 (от 0.72 % до 1.2 %) может быть обусловлено температурным отличием вероятностей переходов комплексов изотопов урана между энергетическими уровнями [20].

Описанное выше использование градиентного поля температур в установках для СФЭ-CO_2 урана позволяет получить пространственно-неоднородное распределение изотопов ^{235}U и ^{238}U по высоте реактора, и может быть использовано для выделения изотопов ^{235}U. По эффективности предложенный метод разделения изотопов урана в сверхкритическом флюиде соответствует методу использования центрифуг с достаточно большой окружной скоростью вращения (порядка 600 м/с).

Поэтому, на основании вышеизложенного с полным основанием можно квалифицировать сверхкритическую экстракцию изотопов урана как сверхкритическую металлургию изотопа урана.

Сверхкритическая экстракция молибдена

Основной диагностический радионуклид современной ядерной медицины ^{99m}Tc получают вследствие распада радиоизотопа ^{99}Mo. С его использованием осуществляется 70 % диагностических процедур в онкологии, 50 % в кардиологии, 90 % в радионуклидной диагностике. Поэтому существует необходимость промышленного выделения изотопов ^{99m}Tc из различных материалов. К таким материалам можно отнести ОЯТ энергетических реакторов, отходов ядерной индустрии и облученный нейтронами оружейный уран. Однако, опять же, после выделения изотопов ^{99m}Tc из всех перечисленных материалов, как и в случае извлечения комплексов урана из хвостохранилищ, образуются большие объемы отходов.

Стоимость Кюри ^{99}Mo составляет 1500 долларов, а грамм ^{99}Mo в генераторе 46-50 млн долларов [21]. Однако этот грамм позволяет провести десятки миллионов тестов в год.

^{99}Mo доставляют в больницу в виде генераторов Тс - свинцовых контейнеров, в которых находится колонка с охлажденным Мо. Подавляющее большинство Мо поставляется канадским реактором до 40 %, нидерландским и бельгийским до 45 %, ЮАР до 10 %.

^{99}Mo можно получить двумя способами и только в ядерном реакторе:

1) стабильный изотоп ^{98}Mo с помощью ядерной реакции захвата нейтрона превратить в ^{99}Mo. Это наиболее чистый метод, но не позволяет получить коммерческие объемы изотопов.

2) в делении ядер высокообогащенного U^{235} плотным потоком нейтронов. При “обстреле” урановой мишени нейтронами, она распадается на множество более легких, одним из которых является ^{99}Mo. Однако, данные способы не лишены недостатков: радиационная безопасность, сложность и многостадийность процессов, образование вредных отходов.

Для уменьшения количества отходов можно использовать метод СФЭ-CO_2. Этот метод, по аналогии с извлечением ^{235}U, может быть применим для извлечения необходимого изотопа Мо из различных матриц для последующего получения изотопов ^{99m}Tc. Он является более радиационно безопасным и малоотходным.

Однако для использования этого метода необходимы предварительные исследования в части формирования растворимых в СК-CO_2 комплексов.

Автором исследовано формирование комплексов Мо и показана возможность СФЭ-CO_2 молибдена из молибденовой проволоки. Она описала зависимость эффективности экстракции от различных комбинаций модификаторов и способов проведения экстракции, и показала, что количество образующегося комплекса молибденовая кислота - ТБФ составляет величину порядка 5-7 % от первоначального содержания Мо в растворе. Наибольший процент СФЭ-CO_2 комплекса молибденовая кислота - ТБФ равен 90 % и достигается при температуре T=40 ºC, давлении P=16 МПа, и времени выдержки проб в экстракционной камере t=30 мин. Для достижения таких показателей использовались следующие модификаторы: 0,1 мл ацетилацетона и 0,05 мл воды.

Для теоретического описания растворения молибдена в разбавленной азотной кислоте ею предложена модель, в которой азотнокислый раствор молибдена состоит, по крайней мере, из молибденовой кислоты трех видов: молибденовая кислота; димолибденовая кислота; надмолибденовая кислота. Это позволило предположить существование тритрофного сценария распределения ролей между ними: молибденовая кислота - жертва; димолибденовая кислота - хищник, в которого превращается молибденовая кислота в результате присоединения молекулы воды; надмолибденовая кислота - суперхищник, образующийся из хищника присоединением гидроксильной группы OH^-.

Численные расчеты показали, что использование тритрофной модели согласуется с экспериментальными данными в пределах 15 %

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

погрешности измерения содержания Mo в азотнокислом растворе.

Таким образом, в настоящем разделе показана возможность, и оценена эффективность СФЭ-CO_2 молибдена. Этот процесс представляется возможным усовершенствовать до стадии получения изотопов Mo аналогично описанному выше методу СФЭ-CO_2 ^{235}U.

На основании приведенных выше данных можно ввести понятие сверхкритическая металлургия Mo и его изотопов.

Обсуждение результатов

Металлургия - область науки, техники и отрасль промышленности, включающая производство металлов из природного сырья и металлосодержащих продуктов, получение сплавов, обработку металлов в горячем и холодном состоянии, сварку, а также нанесение покрытий из металлов [22].

В природе в чистом виде встречаются лишь немногие металлы, например, золото, серебро, платина, ртуть. Основная масса металлов содержится в земной коре в виде соединений с другими химическими элементами. Поэтому были разработаны различные методы получения чистых металлов. Однако они не всегда решают поставленную задачу, т.к. в процессе их применения образуются нежелательные, экологически вредные отходы.

Технология СФЭ-CO_2 является более предпочтительной по сравнению с традиционными, т.к. она является малоотходной и экологически чистой (диоксид углерода является продуктом жизнедеятельности живых организмов). CO_2 имеет низкие показатели сверхкритичности, не токсичен, взрывопожаробезопасен, легко доступен, не подвержен радиолизу.

На основании приведенных выше характеристик процесса СФЭ-CO_2, и, учитывая определение понятия металлургия, можно ввести новое понятие - сверхкритическая металлургия. Это понятие описывает процессы селективного выделения сверхкритическим флюидом комплексов металлов или их изотопов.

В заключение выражаю благодарность Ткаченко В.И. и Борцу Б.В. за проявленный интерес к избранной теме, поддержку работы, ценные замечания при обсуждении полученных результатов.

Выводы

Описано использование редкоземельных элементов в различных областях современной техники, в медицине, в ядерной промышленности. Отмечена необходимость поиска альтернативных технологий редкоземельных элементов.

Представлены результаты экстракции трансурановых элементов на примере гранитов с помощью метода СФЭ-CO_2. Описано использование градиентного поля температур в установках для СФЭ-CO_2 урана, позволяющее получить пространственно-неоднородное распределение изотопов U^{235} и U^{238} по высоте реактора, и может быть использовано для выделения изотопов U^{235}.

Приведено описание методов извлечения Mo из различных матриц для дальнейшего использования в медицинских целях.

Дано определение нового направления в металлургии - сверхкритическая металлургия.

Список литературы

1. Жузе Т. П. *Роль сжатых газов как растворителей.* Москва: Недра, 1981.
2. Lin Y., Brauer R. D., Laintz K. E., Wai C. M. Supercritical fluid extraction of lanthanides and actinides from solid materials with a fluorinated β-diketone. *Analytical Chemistry*, 1993. 65. 2549. doi: 10.1021/ac00072a707.
3. Smart. N. G., Carleson T., Kast T., Clifford A. A., Burford M. D., Wai C. M. Solubility of chelating agents and metal-containing compounds in supercritical fluid carbon dioxide. *Talanta*. 1997. 44. 137-150. doi: 10.1016/S0039-9140(96)02008-5.
4. Wai C. M., Wang S. J. Supercritical fluid extraction: metals as complexes. *Journal of chromatography A*. 1997. 785(1-2). P. 369. doi: 10.1016/S0021-9673(97)00679-1.
5. Erkey C. A. J. Supercritical carbon dioxide extraction of metals from aqueous solutions: a review. *Supercritical Fluids.* 2000. 17. 259. doi: 10.1016/S0896-8446(99)00047-9.
6. Alzaga R., Diez S., Bayona J. M. *Supercritical fluid extraction. Ch.10. Sample preparation for trace element analysis*. Netherlands. 2003. 41. 313.
7. Kanekar A. S., Pathak P. N., Mohapatra P. K. Supercritical fluid dissolution and extraction of trivalent metal cations from different matrices. *Science and Technology*. 2015. 50(3). 471. doi: 10.1080/01496395.2014.973522.
8. Manjare S.D., Dhingra K. Supercritical fluid in separation and purification: A review. *Materials Science for Energy Technologies.* 2019. 2. 463. doi: 10.1016/j.mset.2019.04.005.
9. Бабаин В. А., Камачев В. А., Киселева Р. Н., Мурзин А. А., Смирнов И. В., Шадрин А. Ю., Якимович С. И., Зерова И. В. Влияние природного флюида и β-дикетона на сверхкритическую экстракцию комплексов металлов с β-дикетонами. *Радиохимия*. 2003. 45(6). С. 543.
10. Шадрин А. Ю. Экстракция актиноидов растворами комплексонов в сверхкритическом и жидком диоксиде углерода. *Труды Радиевого института им. В. Г. Хлопина.* 2007. XII. 20. С. 20.
11. Мясоедов Б. Ф., Куляко Ю. М., Шадрин А. Ю., Самсонов М. Д. Сверхкритическая флюидная экстракция радионуклидов. *Сверхкритические флюиды: Теория и практика.* 2007. 2(3). 35.
12. Самсонов М. Д., Шадрин А. Ю., Шафиков Д. Н., Куляко Ю. М., Мясоедов Б. Ф. Сверхкритическая флюидная экстракция в современной радиохимии. *Радиохимия.* 2011. 53(2). 97.
13. Могилюк В., Добровольный А. Сверхкритическая флюидная экстракция растительного сырья: перспективная технологическая платформа для фармацевтической промышленности. Технологии: сверхкритическая флюидная экстракция. *Фармацевтическая отрасль*. 2015. Февраль № 1 (48). С. 62.

14. Водяник А. Р., Шадрин А. Ю., Синев М. Ю. Сверхкритическая флюидная экстракция природного сырья: мировой опыт и ситуация в России. *Сверхкритические флюиды: Теория и практика.* 2008. 3. № 2. С. 58.
15. Косынкин В. Д., Глебов В. А. Возрождение российского производства редкоземельных металлов – важнейшая задача отечественной экономики. *III Международная конференция «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества» (4–8 октября 2010 г., Суздаль, Россия)*, 2010.
16. Михайлов В. А. *Редкоземельные руды мира: геология, ресурсы, экономика. Монография.* Киев: Издательско-полиграфический центр "Киевский центр", 2010.
17. Никулин А. А. Металлы для высоких технологий: тенденции мирового рынка редкоземельных элементов. *Проблемы национальной стратегии*. 2014. № 1. 22. С. 134.
18. Глущенко Ю. Г., Нечаев А. В., Поляков Е. Г., Левин Б. В. Выделение редкоземельных элементов из экстракционной фосфорной кислоты в контексте мировых проблем их производства и потребления. URL: http://rusredmet.ru/research_papers (дата звернення 20.02.2020).
19. Борц Б. В., Колябина И. Л., Лисиченко Г. В., Скоромная С. Ф., Ткаченко В. И. Сверхкритическая экстракция диоксидом углерода урана из рудных концентратов и низкообогащенных руд хвостохранилищ. *Ядерная и радиационная безопасность*. 2016. № 2(70). С. 56.
20. Борц Б. В., Скоромная С. Ф., Ткаченко В. И. Модель описания экстракции комплексов изотопов уран - 235 и уран - 238 в подогреваемом снизу слое сверхкритического диоксида углерода. *ВАНТ, серия: материаловедение и новые материалы.* 2016. № 3(86). С. 50.
21. Борц Б. В., Скоромная С. Ф., Паламарчук А. П., Ткаченко В. И. The study of supercritical extraction of complexes of molybdenum with carbon dioxide. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий.* 2016. № 6/6 (84). С. 57.
22. *Хим. энциклопедия*: в 5 т.: т. 3: Меди-Полимерные (Ред.: И. Л. Кнунянц). Москва: Большая Российская энциклопедия, 1992.

References (transliterated)

1. Zhuze T. P. *Rol' szhatykh gazov kak rastvoriteley.* Moskva, Nedra, 1981.
2. Lin Y., Brauer R. D., Laintz K. E., Wai C. M. Supercritical fluid extraction of lanthanides and actinides from solid materials with a fluorinated β-diketone. *Analytical Chemistry*, 1993, 65, 2549, doi: 10.1021/ac00072a707.
3. Smart. N. G., Carleson T., Kast T., Clifford A. A., Burford M. D., Wai C. M. Solubility of chelating agents and metal-containing compounds in supercritical fluid carbon dioxide. *Talanta*, 1997, 44, 137-150, doi: 10.1016/S0039-9140(96)02008-5.
4. Wai C. M., Wang S. J. Supercritical fluid extraction: metals as complexes. Review Article. *Journal of chromatography A,* 1997. 785(1-2). P. 369, doi: 10.1016/S0021-9673(97)00679-1.
5. Erkey C. A. J. Supercritical carbon dioxide extraction of metals from aqueous solutions: a review. *Supercritical Fluids,* 2000, 17, 259, doi: 10.1016/S0896-8446(99)00047-9.
6. Alzaga R., Diez S., Bayona J. M. *Supercritical fluid extraction. Ch. 10. Sample preparation for trace element analysis.* Netherlands, 2003, 41, 313.
7. Kanekar A. S., Pathak P. N., Mohapatra P. K. Supercritical fluid dissolution and extraction of trivalent metal cations from different matrices. *Science and Technology*, 2015, 50(3), 471, doi: 10.1080/01496395.2014.973522.
8. Manjare S.D., Dhingra K. Supercritical fluid in separation and purification: A review. *Materials Science for Energy Technologies,* 2019, 2, 463, doi: 10.1016/j.mset.2019.04.005.
9. Babain V. A., Kamachev V. A., Kiseleva R. N., Murzin A. A., Smirnov I. V., Shadrin A. YU., Yakimovich S. I., Zerova I. V. Vliyaniye prirodnogo flyuida i β-diketona na sverkhkriticheskuyu ekstraktsiyu kompleksov metallov s β-diketonami. *Radiokhimiya,* 2003, 45(6), C. 543.
10. Shadrin A. YU. Ekstraktsiya aktinoidov rastvorami kompleksonov v sverkhkriticheskom i zhidkom diokside ugleroda. *Trudy Radiyevogo instituta im. V. G. Khlopina*, 2007, XII, 20.
11. Myasoyedov B. F., Kulyako YU. M., Shadrin A. YU., Samsonov M. D. Sverkhkriticheskaya flyuidnaya ekstraktsiya radionuklidov. *Sverkhkriticheskiye flyuidy: Teoriya i praktika,* 2007, 2(3), 35.
12. Samsonov M. D., Shadrin A. YU., Shafikov D. N., Kulyako YU. M., Myasoyedov B. F. Sverkhkriticheskaya flyuidnaya ekstraktsiya v sovremennoy radiokhimii. *Radiokhimiya,* 2011, 53(2), 97.
13. Mogilyuk V., Dobrovol'nyy A. Sverkhkriticheskaya flyuidnaya ekstraktsiya rastitel'nogo syr'ya: perspektivnaya tekhnologicheskaya platforma dlya farmatsevticheskoy promyshlennosti. Tekhnologii: sverkhkriticheskaya flyuidnaya ekstraktsiya. *Farmatsevticheskaya otrasl'*, 2015, Fevral' № 1 (48), 62.
14. Vodyanik A. R., Shadrin A. Yu., Sinev M. Yu. Sverkhkriticheskaya flyuidnaya ekstraktsiya prirodnogo syr'ya: mirovoy opyt i situatsiya v Rossii. *Sverkhkriticheskiye flyuidy: Teoriya i praktika,* 2008, 3, no. 2, P. 58.
15. Kosynkin V. D., Glebov V. A. Vozrozhdeniye rossiyskogo proizvodstva redkozemel'nykh metallov – vazhneyshaya zadacha otechestvennoy ekonomiki. *III Mezhdunarodnaya konferentsiya «Funktsional'nyye nanomaterialy i vysokochistyye veshchestva» (4–8 oktyabrya 2010 g., Suzdal', Rossiya)*, 2010.
16. Mikhaylov V. A. *Redkozemel'nyye rudy mira: geologiya, resursy, ekonomika. Monografiya.* Kiyev. Izdatel'sko-poligraficheskiy tsentr "Kiyevskiy tsentr", 2010.
17. Nikulin A. A. Metally dlya vysokikh tekhnologiy: tendentsii mirovogo rynka redkozemel'nykh elementov. *Problemy natsional'noy strategii*, 2014, no. 1, 22, P. 134.
18. Glushchenko Yu. G., Nechayev A. V., Polyakov Ye. G., Levin B. V. Vydeleniye redkozemel'nykh elementov iz ekstraktsionnoy fosfornoy kisloty v kontekste mirovykh problem ikh proizvodstva i potrebleniya. Available at: http://rusredmet.ru/research_papers (accessed 20.02.2020).
19. Borts B. V., Kolyabina I. L., Lisichenko G. V., Skoromnaya S. F., Tkachenko V. I. Sverkhkriticheskaya ekstraktsiya dioksidom ugleroda urana iz rudnykh kontsentratov i nizkoobogashchennykh rud khvostokhranilishch. *Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost',* 2016, № 2(70), P. 56.
20. Borts B. V., Skoromnaya S. F., Tkachenko V. I. Model' opisaniya ekstraktsii kompleksov izotopov uran - 235 i uran - 238 v podogrevayemom snizu sloye sverkhkriticheskogo

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

dioksida ugleroda. *VANT, seriya: materialovedeniye i novyye materialy,* 2016, № 3(86), P. 50.
21. Borts B. V., Skoromnaya S. F., Palamarchuk A. P., Tkachenko V. I. The study of supercritical extraction of complexes of molybdenum with carbon dioxide. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy,* 2016, № 6/6 (84), P. 57.
22. *Khim. entsiklopediya:* v 5 t.: t. 3: Medi-Polimernyye (Red.: I. L. Knunyants). Moskva, Bol'shaya Rossiyskaya entsiklopediya, 1992.

Сведения об авторах (About authors)

Скоромная Стелла Федоровна – кандидат технических наук, Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина; ORCID: 0000-0001-8962-7659; e-mail: stellaskoromnaya@gmail.com.

Stella Skoromnaya – Scientific Degree (Ph. D.), National Science Center Kharkov Institute of Physics and Technology, Kharkov, Ukraine; ORCID: 0000-0001-8962-7659; e-mail: stellaskoromnaya@gmail.com.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Скоромная С. Ф. Сверхкритическая металлургия. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 35-42. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.05.

Please cite this article as:

Skoromnaya S. Supercritical metallurgy. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1 (3), pp. 35-42, doi:10.20998/2413-4295.2020.03.05.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Скоромна С. Ф. Надкритична металургія. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 35-42. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.05.

АНОТАЦІЯ *Описана хронологія відкриття і дослідження надкритичного (НК) стану речовин. Відзначається відома можливість використання НК стану різних середовищ в присутності β-дикетонів для екстракційного виділення, концентрування і виділення біологічних матеріалів і хімічних сполук металів. Для різних матеріалів такі процеси виділення прийнято називати надкритичною флюїдною екстракцією (НФЕ). Діоксид вуглецю є хорошим кандидатом на роль надкритичного флюїду, тому що має досить низькі надкритичні параметрами, а його слідові кількості невеликі в матеріалі, що екстрагується. До того ж він практично повністю переходить в газоподібну фазу при скиданні тиску. Обговорюються процеси НФЕ в діоксиді вуглецю стосовно рідкоземельних елементів (РЗЕ). Відзначено високу, на рівні 92-98 %, ефективність НФЕ РЗЕ в середовищі діоксиду вуглецю. Наведені приклади і обговорюється можливість використання НФЕ діоксидом вуглецю урану з природних мінералів і низькозбагачених матеріалів, накопичених в хвостосховищах. Показана можливість отримання ефективності НФЕ діоксидом вуглецю урану більше 9 % в присутності мікрокількостей води. Описано умови проведення НФЕ в середовищі діоксиду вуглецю, при яких можливо роздільне отримання ізотопів урану. Показано, що для такого поділу необхідне створення градієнтного поля температур уздовж вертикальної осі екстракційної камери. Експериментально визначено, що коефіцієнт поділу U^{235} при НФЕ урану діоксидом вуглецю становить величину порядку 1,2. Обговорюється можливість використання НФЕ молібдену в середовищі діоксиду вуглецю для подальшого виробництва медичного ізотопу ^{99m}Tc. На основі описаних експериментальних даних по НФЕ діоксидом вуглецю комплексів металів введено поняття надкритична металургія металів і їх ізотопів.*

Ключові слова: *надкритичний флюїд; екстракція; рідкоземельні елементи; трансуранові елементи; поділ; ізотоп урану; молібден; технецій; металургія*

Поступила (received) 20.02.2020

УДК 629.5.081.326 doi:10.20998/2413-4295.2020.03.06

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛОСКОЇ СЕКЦІЇ ПОНТОНА КОМПОЗИТНОГО ДОКУ

Ю. К. ЯГЛИЦЬКИЙ*, К. В. КИРИЧЕНКО

кафедра суднобудування та ремонту суден, Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, УКРАЇНА
**e-mail: yahlytskyiyurii@gmail.com,*

АНОТАЦІЯ *Проведено огляд відомих технічних рішень у докобудуванні, що спрямовані на забезпечення необхідних виробничих параметрів при виготовленні залізобетонного понтона композитного доку. Встановлено, що у наявних рішеннях не встановлено зв'язок з параметрами виробничого процесу та відсутній вплив зміни цих параметрів на значення фондоконцентрації. Розроблено модель виробничого процесу виготовлення плоскої секції понтона доку, що дає змогу відпрацьовувати на ній керуючі дії, що знижують ймовірність проявів ризиків при виготовленні корпусу доку. За допомогою розробленої моделі можна оцінювати зниження як неефективних витрат ресурсів за рахунок управління ризиками виробничого процесу, так і скорочення нормативних витрат ресурсів внаслідок реалізації заходів щодо вдосконалення організації виробництва. Для розробки математичної моделі виробничого процесу виготовлення плоскої секції понтона доку формалізовано вимоги, що обумовлюють виконання виробничої програми підприємства при забезпеченні умов мінімізації витрат ресурсів у вигляді системи рівнянь. У результаті проведеного дослідження докобудівного виробництва виділено шість основних типів ресурсів, витрати яких впливають на формування фондоконцентрації вироблених плоских секцій понтона доку – метал, бетон, вода, електроенергія, персонал і час. Проведено комплексну оцінку фондоконцентрації виробничого процесу за рахунок сукупного функціоналу втрат при умові, що його мінімальне значення відповідає мінімальній фондоконцентрації виробничого процесу. Розроблено структуру запропонованої моделі з використанням методології Integration Definition for Function Modeling, а перевірка моделі на ідентичність проводилася шляхом зіставлення результатів моделювання при значенні результуючих параметрів, що відповідають реальним значенням чинного докобудівного виробництва. З використанням розробленої моделі проведено дослідження впливу різних організаційно-технічних заходів на фондоконцентрацію виробничого процесу та зроблена оцінка керуючих впливів на витрати ресурсів у виробничому процесі.*
Ключові слова: *понтон; композитний плавучий док; залізобетонна плита; плоска секція понтона доку; фондоконцентрація; математична модель виробничого процесу*

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR THE WORKFLOW OF MANUFACTURING OF A FLAT SECTION OF A COMPOSITE DOCK PONTOON

Yu. YAHLYTSKYI, K. KYRYCHENKO

Department of Shipbuilding and Ship Repair Kherson branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, UKRAINE

ABSTRACT *The article reviews technical solutions in dock construction that are aimed at providing the parameters necessary for the manufacture of reinforced concrete pontoon of a composite dock. It is revealed that these solutions do not account for the workflow parameters; moreover, changing these parameters does not influence fund concentration. A model has been developed for the workflow of manufacturing of a flat section of a dock pontoon. It enables mastering control actions that reduce the probability of the risk manifestation in the manufacture of the dock body. The model can be applied to evaluate the reduction of inefficient resource usage by managing the workflow risks and decreasing the standard resource consumption through improvement of manufacture organization. Developing the mathematical model has been preceded by formalization of the requirements that establish the manufacture program of the enterprise while minimizing resource consumption in the form of a system of equations. A study of dock construction has been performed that helped identify six major types of resources the usage of which affects formation of fund concentration for the manufactured flat sections of dock pontoons. They are metal, concrete, water, electricity, personnel, and time. The article presents a comprehensive evaluation of the fund concentration of the workflow through total loss functionality, provided that its minimum value corresponds to the minimum fund concentration of the workflow. The structure of the proposed model has been developed using the Integration Definition for Function Modeling methodology. Verification of the model has been performed through comparing the modeling results at the values of the resulting parameters that correspond to the actual values of present-day dock construction. The developed model has been used to study the influence of various organizational and technical measures on the fund concentration of the workflow. The control actions affecting resource consumption over the workflow have also been evaluated.*
Keywords: *pontoon; composite floating dock; reinforced concrete slab; flat section of a dock pontoon; fund concentration; mathematical model of a workflow*

Вступ

Розробка й впровадження нових високоефективних методів побудови доків є одним з головних напрямків розвитку технології й організації докобудівного виробництва [1]. Композитний плавучий док – це складна багатофункціональна

© Ю. К. ЯГЛИЦЬКИЙ, К. В. КИРИЧЕНКО, 2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

інженерна споруда, на яку досить активно впливають умови експлуатації та процеси навколишнього середовища, аналіз яких показує, що у більшості випадків найбільшим навантаженням піддається залізобетонний понтон доку [2]. Тому покращення головних характеристик залізобетонного понтону за рахунок матеріалів, що використовуються для його побудови (бетон і арматурна сталь), нових конструктивних і технологічних рішень в сучасних умовах стають актуальними. Також необхідно вдосконалення складу об'єктів виробничих процесів (ВП) виготовлення понтону (нормативна документація, обладнання, пристосування) [3].

ВП виготовлення залізобетонного понтона доку, крім того, повинні бути ефективними – цього можна досягнути структурною оптимізацією процесу за узагальнюючими показниками техніко-економічної ефективності. Метою оптимізації є вибір з безлічі альтернативних варіантів таких рішень, що дозволяють економно витрачати матеріальні, енергетичні, трудові та інші ресурси підприємства.

З математичної точки зору завдання структурної оптимізації ВП представляє собою завдання багатокритеріальної оптимізації й зводиться до визначення раціонального варіанту. Визначений варіант повинен якнайкраще реалізувати вимоги до виробу, що виготовляється (критерії оптимізації) з врахуванням специфіки, що обумовлена конкретними виробничими умовами (система обмежень) [4]. Оптимальним ВП виготовлення конструкцій доку вважається той, коли він забезпечує виконання усіх умов, сформульованих на попередніх етапах життєвого циклу виробу, відповідає реальним виробничо-технічним умовам, а також екстремуму цільової функції.

У докобудуванні відомі різні технічні рішення, спрямовані на забезпечення потрібних технологічних та організаційних параметрів при виготовленні залізобетонного понтона композитного доку, однак не встановлено їхній взаємозв'язок із параметрами ВП і вплив зміни цих параметрів на значення фондоконцентрації. Крім того, серед відомих способів і підходів немає методично обґрунтованих алгоритмів оцінки фондоконцентрації ВП побудови понтона доку, що враховують різноманіття факторів, що впливають на нього, у тому числі випадкового характеру.

Розробка моделі ВП виготовлення плоскої секції понтона доку (ПСПД) дозволить на ній відпрацьовувати керуючі впливи, що знижують ймовірність прояву загроз при виготовленні корпусу доку. Модель повинна оцінювати зниження як неефективних втрат ресурсів за рахунок управління ризиками ВП, так і скорочення нормативів витрат ресурсів у наслідок реалізації заходів з удосконалення організації виробництва. Це означає, що завдання розробки математичної моделі оцінки й управління фондоконцентрацією ВП виготовлення ПСПД є актуальним.

Мета роботи

Мета роботи – розробка математичної моделі для оцінки та управління фондоконцентрацією ВП виготовлення плоскої секції понтона композитного доку з подальшим його удосконаленням.

Для досягнення поставленої мети необхідне рішення наступних завдань:

- розробити перелік параметрів і локальні функції втрат для ВП з урахуванням виокремлених типів ресурсів;
- розробити загальну структуру моделі ВП виготовлення ПСПД;
- з використанням розробленої моделі провести дослідження впливу різних організаційно-технічних заходів на фондоконцентрацію ВП і надати їм оцінку.
- перевірити модель на ідентичність шляхом зіставленням результатів моделювання з параметрами, що відповідають реальним значенням чинного докобудівного виробництва.

Виклад основного матеріалу

Як зазначено у дослідженні [5], створення конкурентоспроможних плавучих доків, що відповідають світовим вимогам якості, потребує, крім використання сучасних композитних матеріалів і застосування інноваційних технологій виробництва, також прогресивних технічних рішень. Авторами дослідження [6] наведені способи виготовлення простих коробчастих плавучих конструкцій понтонного типу, аналогічні доковим конструкціям, що розглядаються у статті, які відрізняються високою технологічністю, низькими витратами виробництва та простотою обслуговування.

Вибір оптимальних конструкцій доків повинен ґрунтуватися на обов'язковому врахуванні складних взаємозалежностей економічного характеру для знаходження найбільш оптимального рішення. Одним з найбільш поширених методів розв'язання таких багатокритеріальних задач є зведення багатокритеріальної задачі до однокритеріальної. У роботі [7] представлені дослідження на основі використання критеріїв вибору раціональної конструкції та врахування чинних нормативних вимог, що дали змогу розробити рекомендації щодо удосконалення конструкції та технології побудови композитного плавучого доку, однак не розглянуті фактори витрат ресурсів виробничих процесів. Авторами дослідження [8] проведено скінченно-елементий аналіз напружено-деформованого стану плит залізобетонного понтона композитних плавучих доків та обґрунтовано зменшення металоємності композитного доку за рахунок зменшення кількості набору у понтоні, однак не розглянуто бетон і метал, як складові частини фондоконцентрації виробничого процесу виготовлення плоских секцій понтона доку.

Авторами дослідження [9] обговорюється вплив розташування поперечної перегородки і

ущільнювальної пластини в нижній частині сполучного мосту на міцність конструкції У роботі [10] досліджено суттєві особливості проектування та будівництва бетонних понтонів. У науковій праці [11] представлена нова конструкція плавучого понтона. Чисельні та натурні випробування моделі для дослідження гідродинамічних характеристик пришвартованого понтону у воді з обмеженою глибиною проведені у дослідженні [12].

Для мінімізації матеріальних і трудових ресурсів, а також тривалості будівництва різних плавучих споруд у докобудуванні необхідно раціоналізувати виробничий процес побудови конструкцій. Авторами роботи [13] представлено модель складних виробничих процесів, яка дозволяє досягти доцільної технології виробництва. Представлена модель може бути застосована при оптимізації будь-якого складного виробничого процесу. Подібним є дослідження [14], де представлено математичну модель процесу планування обладнання суднового комплексу, який розробляється на верфі. Наведено якісний опис обмежень і цілей, що лежать в основі представленої математичної моделі планування розробки обладнання суднового комплексу. Авторами дослідження [15] наведено складові раціональної комплексної підготовки суднобудівного виробництва, яка забезпечує готовність заводу до виконання програми будівництва із заданими техніко-економічними показниками в установлені строки.

Аналізуючи результати проведених досліджень, можна констатувати, що серед них немає математично обґрунтованих алгоритмів оцінки фондоконцентрації виробничого процесу побудови понтона доку, що відповідають особливостям докобудівного виробництва та враховують різноманіття факторів впливу на нього.

Проведений аналіз дає підстави стверджувати, що проведення дослідження, присвячене розробці математичної моделі виробничого процесу виготовлення плоскої секції понтона композитного доку є доцільним.

Розробка функціональних параметрів моделі ВП з побудовою загальної структури моделі

ВП на будь-якому промисловому підприємстві, у тому числі й у докобудуванні, повинні бути економічно ефективними, тому необхідною функцією конструкторсько-технологічної підготовки виробництва є структурна раціоналізація ВП за узагальнювальними показниками техніко-економічної ефективності. Метою її є вибір з безлічі альтернативних варіантів таких рішень, що дозволяють раціонально витрачати матеріальні, енергетичні, трудові та інші ресурси підприємства. Критерії, що використовуються при структурній раціоналізації ВП, підрозділяються на дві групи, що відповідають двом основним принципам їхньої розробки – технічній та економічній доцільності. Основними технічними критеріями є: максимальна фактична продуктивність, мінімальний штучний час, максимальний коефіцієнт технічного використання обладнання. До групи економічних критеріїв входять: мінімальні приведені витрати, мінімальна собівартість виготовлення виробу, максимальний прибуток або рентабельність.

Вибір ВП повинен ґрунтуватися на реальних виробничо-технічних умовах та обов'язковому врахуванні складних взаємозалежностей економічного характеру для знаходження найбільш оптимального рішення. Ця робота представляє великі труднощі, і її необхідно виконувати одночасно з пошуком теоретичних і практичних рішень на основі урахування досвіду будівництва та експлуатації доків, а також результатів експериментів у найбільш важких умовах докування.

Вимоги до економічно ефективної організації виробництва композитного доку обумовлені наступними тенденціями, що відповідають сучасним напрямкам розвитку й організації докобудівного виробництва з використанням інноваційних технологій:

1) *Постійне удосконалення конструкцій і технології виготовлення композитних доків;*

2) *Зниження фондоконцентрації;*

3) *Зниження виробничих ризиків;*

4) *Створення комплексної системи підготовки виробництва композитних доків.*

Сформульовані вимоги обумовлюють необхідність проведення оцінки чинного докобудівного виробництва. Техніко-економічне обґрунтування доцільності реалізації заходів щодо удосконалення організаційних і технічних умов повинно виконуватися з метою зниження фондоконцентрації та виробничих ризиків, а також вироблення стратегії розвитку та модернізації виробництва.

У докобудуванні відомі різні технічні рішення, спрямовані на забезпечення необхідних виробничих параметрів при виготовленні залізобетонного понтона композитного доку, проте не встановлений їх зв’язок з параметрами виробничого процесу і вплив зміни цих параметрів на значення фондоконцентрації. Крім того, серед відомих способів і підходів немає методично обґрунтованих алгоритмів оцінки фондоконцентрації виробничого процесу побудови понтона доку, що враховують різноманіття факторів, які впливають на нього, у тому числі випадкового характеру.

Розробка моделі ВП виготовлення ПСПД дає змогу на ній відпрацьовувати керуючі дії, які знижують ймовірність прояви ризиків при виготовленні корпусу доку. Плоска секція понтона доку є основою з’єднань, з яких складається днище доку.

ВП побудови ПСПД повинен бути орієнтований на застосування механізованих та

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

автоматизованих процесів при виконанні більшості робіт і включати:

- застосування модифікованого морозостійкого бетону на основі сульфатостійкого портландцементу з вітчизняними домішками виробленого на автоматизованому бетонному заводі;
- правку, чищення, різку арматурної сталі на автоматизованій лінії безвідходного розкрою;
- складання арматурних сіток і каркасів на спеціальних стендах;
- термовологу обробку залізобетонних секцій в автоматизованому режимі.
- зварювання арматурних сіток і каркасів на багатоконтактних зварювальних машинах;
- формування плоских залізобетонних секцій в універсальних металевих формах-матрицях;

Модель ВП повинна оцінювати зниження як неефективних витрат ресурсів за рахунок управління ризиками ВП, так і скорочення нормативних витрат ресурсів внаслідок реалізації заходів щодо вдосконалення організації виробництва.

Для розробки математичної моделі ВП виготовлення ПСПД необхідно формалізувати вимоги, які обумовлюють виконання виробничої програми підприємства при забезпеченні умови мінімізації витрат ресурсів у вигляді системи рівнянь. У докобудівному виробництві основними є 6 основних типів ресурсів (рис. 1), витрати яких впливають на формування фондоконцентрації вироблених ПСПД – це метал (арматурна сталь і сталевий прокат), високоміцний морозостійкий суднобудівний бетон, вода, електроенергія, персонал і час.

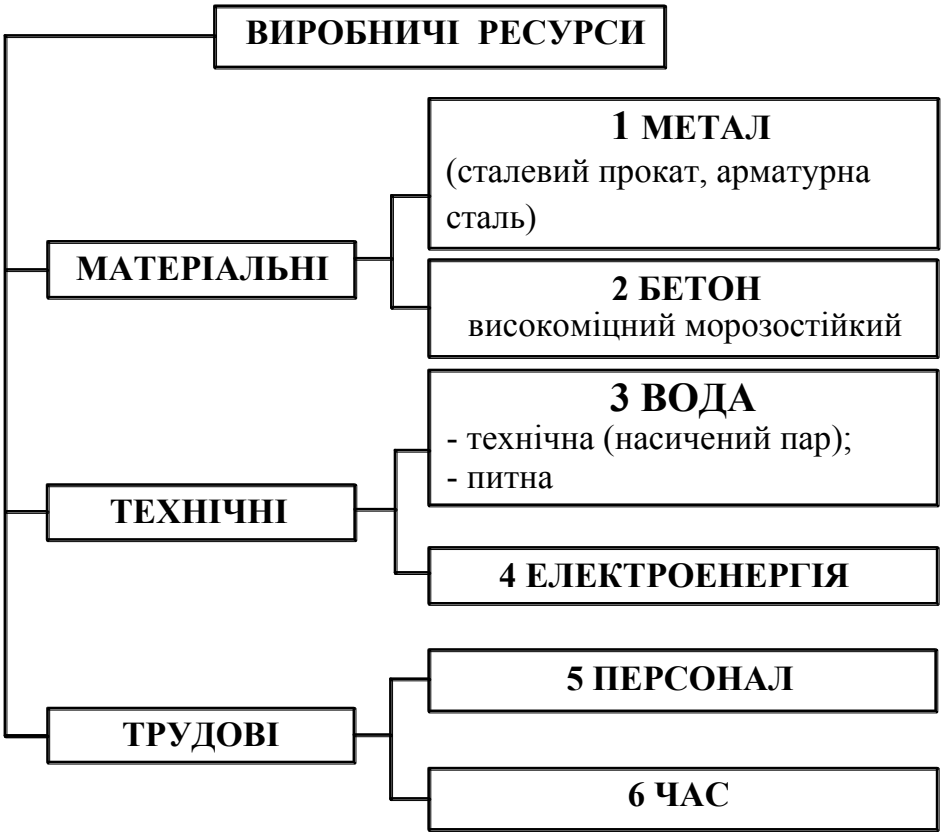


Рис. 1 – Структуризація основних типів ресурсів, витрати яких впливають на формування фондоконцентрації вироблених ПСПД

Сукупний план виробництва ПСПД визначається послідовністю планових значень $p^{план} = (p_1^{план}, ..., p_n^{план})$, з урахуванням кожної з n одиниць планової номенклатури, де $p_n^{план}$ – планова кількість ПСПД n-ої позиції плану у партії, n – номер позиції з плану виробництва.

Вимоги виконання виробничої програми формалізуються в моделі наступними умовами:

1) Кількість виготовлених ПСПД має бути не менше планової кількості для кожної позиції номенклатурного плану:

$$p_n^{факт} \geq p_n^{план}, \quad (1)$$

де $p_n^{факт}$ – фактична кількість виготовлення ПСПД.

2) Задана кількість ПСПД має бути виготовлена протягом заданого терміну (за умови, що деякі позиції плану могли виготовлятися паралельно):

$$\sum_{n=1}^{N} t_n \le T^{план}, \quad (2)$$

Для забезпечення умови мінімізації витрат ресурсів, що використовуються у ВП, вводяться локальні функції втрат, які мають такий вигляд:

$$\varphi^{(i)}{}_n = \varphi^{(i)}{}_n(\xi_1,...,\xi_m), \quad (3)$$

де i – відповідає заданому ресурсу, $\xi_1 = p_n^{неконд}, \xi_2 = q_n^{неконд}, \xi_3 = k_n^{ПСПД},...,\xi_m = h$ – параметри виробничого процесу, де $p_n^{неконд}$ – кількість некондиційних ПСПД, $q_n^{неконд}$ – кількість некондиційних форм, $k_n^{ПСПД}$ – коефіцієнт кондиційності ПСПД, h – клас суднобудівного бетону.

Умови мінімізації витрат ресурсів формалізуються у вигляді вимог до мінімізації локальних функцій втрат за рахунок вибору значень параметрів ВП. Були розроблені локальні функції втрат для виробничого процесу виготовлення ПСПД з урахуванням виділених типів ресурсів $\varphi_1,\ldots,\varphi_{16}$.

Локальні функції втрат:

Критерій 1. План виробництва повинен бути виконаний

$$\varphi_1 = \sum_{n=1}^{N} P_n^{план} \cdot p_n^{план} - \sum_{n=1}^{N} P_n^{факт} \cdot p_n^{факт} \to \min, \quad (4)$$

де $P_n^{план}$ – нормативна вага однієї придатної ПСПД n-ої позиції плану у партії, $P_n^{факт}$ – фактична вага однієї придатної ПСПД n-ої позиції плану у партії.

Критерій 2. Бетон і арматурна сталь повинні бути якісними

$$\varphi_2 = B_j(z_j^{факт} \cdot l^v - z_j^{план}), \quad (5)$$

де B_j – об'єм завантаження j-го виду формувального обладнання, $z_j^{факт}$ – фактична кількість завантажень j-го виду обладнання в результаті яких була виготовлена придатна ПСПД, l^v – коефіцієнт усадженння бетону при формуванні, v – клас бетону $z_j^{план}$ – планова кількість завантажень j-го виду обладнання.

Критерій 3. Весь приготований бетон повинен бути залитий у форму-матрицю

$$\varphi_3 = B_j \cdot z_j^{факт} \cdot l^v - (\sum_{n=1}^{N} P_n^{факт} \cdot k_n^{СУБС} \cdot q_n^{конд}) \to \min, \quad (6)$$

де $k_n^{СУБС}$ – коефіцієнт системи укладання бетонної суміші, $q_n^{конд}$ – фактична кількість підготованих кондиційних форм.

Критерій 4. Система укладання бетонної суміші повинна бути спроектована раціонально

$$\varphi_4 = (\sum_{n=1}^{N} P_n^{факт} \cdot k_n^{фм} \cdot q_n^{конд} - \sum_{n=1}^{N} (P_n^{факт} \cdot p_n^{факт} + P_n^{неконд} \cdot p_n^{неконд})) \to \min, \quad (7)$$

де $k_n^{фм}$ – коефіцієнт відношення фактичної маси ПСПД до нормативної, $P_n^{неконд}$ – фактична вага однієї некондиційної ПСПД n-ої позиції плану у партії.

Критерій 5. Якість вироблених ПСПД має бути високою

$$\varphi_5 = \sum_{n=1}^{N} P_n^{неконд} \cdot p_n^{неконд} \to \min. \quad (8)$$

Критерій 6. Фактична кількість виготовлених металевих форм-матриць має відповідати плановій

$$\varphi_6 = \sum_{n=1}^{N} (q_n^{конд} \cdot q_n^{неконд}) - \sum_{n=1}^{N} q_n^{план} \to \min. \quad (9)$$

Критерій 7. Підготовлені форми-матриці повинні бути високої якості

$$\varphi_7 = \sum_{n=1}^{N} q_n^{неконд} \to \min. \quad (10)$$

Критерій 8. Технологічні процеси підготовки бетонних сумішей повинні бути раціональними

$$\varphi_8 = \sum_{n=1}^{N} A_{nh}^{бс} \cdot q_n^{неконд} \to \min, \quad (11)$$

де $A_{nh}^{бс}$ – вага бетонної суміші для кожної позиції, h – клас суднобудівного бетону.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Критерій 9. Обладнання для виготовлення ПСПД має бути раціональним

$$\varphi_9 = \sum_{n=1}^{N} b_j \cdot e_j \cdot T_j^{факт} \cdot z_j^{факт} \to \min, \qquad (12)$$

де b_j – кількість обладнання кожного типу, e_j – енергоємність кожного типу обладнання, $T_j^{факт}$ – фактичний час роботи обладнання.

Критерій 10. Докобудівне виробництво повинно бути економічним з точки зору витрат електроенергії

$$\varphi_{10} = (\sum_{j=1}^{J} b_j \cdot e_j \cdot T_j^{факт} - \sum_{j=1}^{J_1} b_j \cdot e_j \cdot T_j^{факт}) \to \min, \quad (13)$$

Критерій 11. Докобудівне виробництво повинно бути економічним з точки зору витрат води

$$\varphi_{11} = \sum_{j=1}^{J} z_j^{факт} \cdot V_j^{факт} + \sum_{n=1}^{N} q_n^{конд} \cdot V_n^{факт}) \to \min, (14)$$

де $V_j^{факт}$ – фактичний обсяг технічної води (насичений пар) спожитий виробництвом, $V_n^{факт}$ – фактичний обсяг питної води спожитий виробництвом.

Критерій 12. Кількість виробничого персоналу має бути раціональною для

$$\varphi_{12} = \sum_{m=1}^{M} \sum_{r=1}^{R} C_{rm} (\text{kval}) \to \min, \qquad (15)$$

де C_{rm} – кількість виробничого персоналу типу *r* в структурному підрозділі m.

Критерій 13. Кількість невиробничого персоналу повинна бути раціональною

$$\varphi_{13} = \sum_{m=1}^{M} \sum_{r=1}^{R} S_{rm} (\text{kval}) \to \min, \qquad (16)$$

де S_{rm} – кількість невиробничого персоналу типу *r* в структурному підрозділі m, що мають тип кваліфікації kval.

Критерій 14. Час, витрачений на виготовлення форм-матриць, необхідно скорочувати

$$\varphi_{14} = \sum_{n=1}^{N} (t_n^{конд} \cdot q_n^{конд} + t_n^{неконд} \cdot q_n^{неконд}) \to \min, (17)$$

де $t_n^{конд}$ – час витрачений на виготовлення кондиційних ПСПД, $t_n^{неконд}$ – час витрачений на виготовлення некондиційних ПСПД.

Критерій 15. Час, витрачений на виготовлення ПСПД, необхідно скорочувати

$$\varphi_{15} = \sum_{n=1}^{N} (t_n^{конд} \cdot p_n^{конд} + t_n^{неконд} \cdot p_n^{неконд}) \to \min. (18)$$

Критерій 16. Трудомісткість ВП повинна бути раціональною

$$\varphi_{16} = (\sum_{m=1}^{M} \sum_{r=1}^{R} C_{rm} \cdot h_m \cdot d_m \cdot w_m - \sum_{m=1}^{M} C_{rm} \cdot \sum_{n=1}^{N} \sum_{k=1}^{K} t_{kn}^{факт} \cdot p_n^{факт}) \to \min, (19)$$

де h_m – кількість робочих годин у зміну, d_m – кількість робочих днів в місяць, w_m – кількість робочих змін в день, $t_{kn}^{факт}$ – час витрачений на виконання операції виробничого процесу, *k* – вид операції виробничого процесу.

Таким чином, завдання зниження фондоконцентрації ВП виготовлення ПСПД зводиться до визначення набору значень параметрів ξ_1. Мінімізація кожної з побудованих локальних функцій окремо не забезпечить необхідний результат. Наприклад, скорочення витрат електроенергії можна досягти за рахунок скорочення кількості робочого обладнання, однак це призведе до збільшення термінів виготовлення плоских секцій понтона доку, що неприпустимо. Для комплексної оцінки фондоконцентрації виробничого процесу будується сукупний функціонал втрат таким чином, щоб його мінімальне значення відповідало мінімальній фондоконцентрації ВП. Структура запропонованої моделі розроблена з використанням методології IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling), що базується на технології структурного аналізу і проектування, – вона наведена на рис. 2.

У лінійному наближенні сукупний функціонал втрат має вигляд:

$$\Phi = \sum_{k=1}^{K} a_k \cdot \varphi_k \to \min, \qquad (20)$$

де *K* – число локальних функцій втрат в розрахунках становить 16; α_k – їх відносні ваги з розмірністю $\frac{\text{грн}}{\text{розмірність } \varphi_k}$ і значеннями, які визначаються експертно.

Співвідношення (ваги) сформульованих критеріїв (у даному випадку їхню роль відіграють локальні функції втрат) визначаються методом експертних оцінок.

Завдання, яке розглядається, виявляється не тільки багатопараметричним, але й багатокритеріальним, і вирішується методом лінійного згортання критеріїв. В якості критеріїв розглядаються такі: скорочення витрат металу, скорочення витрат суднобудівного бетону, скорочення витрат електроенергії, скорочення витрат води, скорочення тривалості виробничого процесу і скорочення кількості персоналу. Співвідношення критеріїв було визначено методом експертних оцінок $(\omega_1^{норм} = \omega_2^{норм} = 0,34 \omega_3^{норм} = \omega_4^{норм} = \omega_5^{норм} = 0,03 \omega_6^{норм} = 0,00058)$.

В рамках кожної групи функцій втрат ресурсів відносна вага розподіляється рівномірно. Таким чином, отримуємо модель ВП виготовлення ПСПД для оцінки впливу організації виробництва:

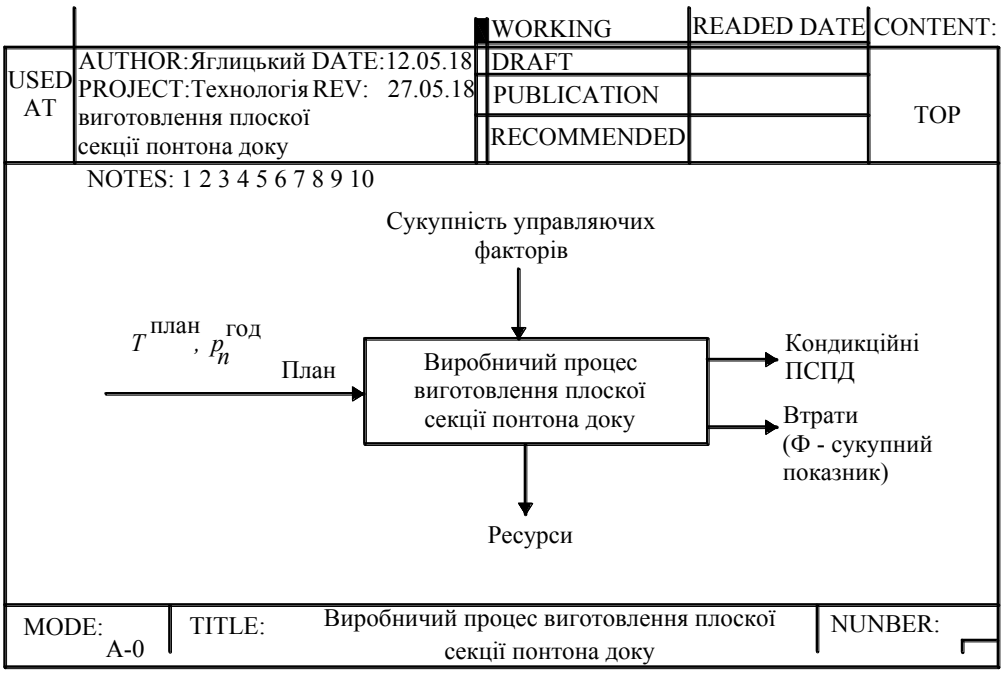


Рис. 2 – Загальна структура моделі виробничого процесу виготовлення ПСПД

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi = \sum_{k=1}^{16} a_k \cdot \varphi_k \to \min \\ p_n^{год} \geq p_n^{план} \\ \sum_{n=1}^{N} t_n \leq T^{план} \end{array} \right\}. \quad (21)$$

Рішенням системи (21) є набори параметрів $(\xi_1^0, ..., \xi_m^0)$, при яких сукупний функціонал втрат Ф досягає мінімального значення Φ^0:

$$\Phi^0 = \Phi(\xi_1^0, ..., \xi_m^0) \quad (22)$$

Цей набір параметрів формується під впливом організації виробництва. Оскільки набору ξ_i однозначно відповідають вимірювані величини, то можна стверджувати, що при значеннях параметрів $(\xi_1^0, ..., \xi_m^0)$ буде забезпечена мінімальна фондоконцентрація ВП виготовлення ПСПД.

Моніторинг ідентичності математичної моделі ВП, узагальнення та інтерпретація отриманих даних

У ході моделювання визначаються основні характеристики ВП: необхідна кількість металу $P^м$, суднобудівного бетону $P^{сб}$, електроенергії $P^э$, води $P^в$, персоналу $P^п$, часу $P^{вр}$ для виробництва фактичної кількості плоских секцій, яка дорівнює плановій з урахуванням втрат.

Перевірка моделі на ідентичність проводилася шляхом зіставленням результатів моделювання при значенні результуючих параметрів, що відповідають реальним значенням чинного докобудівного виробництва. Період дослідження становив 1 рік. Використовуючи метод спостереження (цілеспрямованої фіксації в спеціально розробленому протоколі з подальшим аналізом) були отримані фактичні дані по витратах розглянутих типів ресурсів: металу, суднобудівного бетону, води, електроенергії, персоналу і часу.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Відомі організаційні й технічні умови визначають значення параметрів ВП. В результаті моделювання з відомими значеннями параметрів ВП за досліджуваний період $(\xi_1^*,...,\xi_m^*)$, при яких сукупний функціонал втрат Ф досягає свого поточного (дійсного) значення Ф* визначаються «модельні» значення витрат ресурсів. Модельний експеримент проводився 12 разів, що відповідає виробничим даним за кожен місяць.

Результати порівняння фактичних даних з модельним значенням витрат ресурсів свідчать про те, що розроблена модель ідентична реальному ВП, що дозволяє проводити на ній експерименти щодо зниження фондоконцентрації ВП за рахунок керуючих впливів.

Обговорення результатів

З використанням представленої моделі проведено дослідження впливу різних організаційно-технічних заходів на фондоконцентрацію ВП, причому одне і теж саме необхідне значення фондоконцентрації може бути забезпечено реалізацією різних заходів. На основі моделювання була проведена оцінка різних управляючих впливів на витрати ресурсів у ВП.

Наприклад, застосування систем моделювання і аналізу процесу формування дозволяє скоротити фондоконцентрацію ВП наступним чином. Витрати бетону через ризик виробництва некондиційних ПСПД шляхом раціоналізації системи укладання бетонної суміші і попереднього відпрацьовування ВП на моделі скорочуються на 8 %. Крім того, скорочуються витрати інших видів ресурсів, які були пов'язані з доведенням до кондиції ПСПД: суднобудівного бетону на 6 %, електроенергії на 4 %, води на 4 % і персоналу на 6 %. Тривалість ВП скорочується на 12,3 години за рахунок скорочення тривалості етапу конструкторсько-технологічної підготовки виробництва, скорочення часу на доробку некондиційних заготовок ПСПД – на 23 %. Крім того, будь-який захід, в результаті якого відбувається зниження ризику виробництва некондиційних заготовок ПСПД має аналогічний ефект.

Була проведена апробація розробленої моделі на основі оцінки двох е*кспрес-прогнозів* (рис. 3) зниження фондоконцентрації для корпусного цеху докобудівного підприємства.

Експрес-прогноз № 1 передбачає:

1) Підвищення кваліфікації персоналу (навчання для роботи з системами моделювання та аналізу процесу формування залізобетонних плит).

2) Застосування систем моделювання і аналізу процесу формування залізобетонних плит.

3) Контроль якості бетонної суміші.

4) Посилення контролю керівництва на етапі формування.

Експрес-прогноз № 2 передбачає:

1) Підвищення кваліфікації персоналу (тих, хто готує бетонну суміш і здійснює заливку форм).

2) Контроль дотримання температурних режимів.

3) Застосування CAD-систем.

4) Застосування систем автоматизованого проектування технологічних процесів.

5) Контроль планування завантаження устаткування для формування залізобетонних плит.

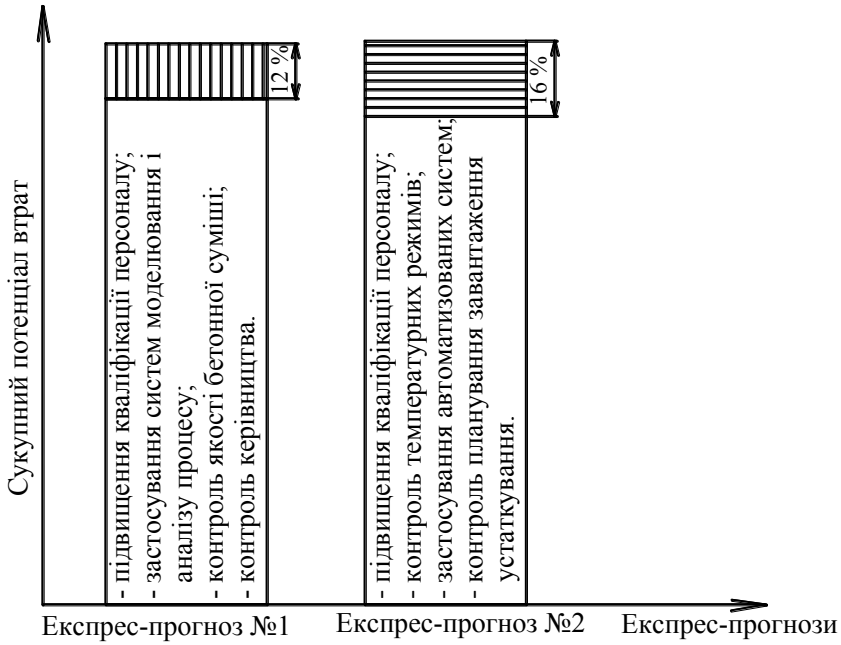


Рис. 3 – Результати проведення експрес-прогнозів

Якщо провести серію експрес-прогнозів, то можна встановити динаміку змін сукупного потенціалу втрат в залежності від управляючих впливів на основні характеристики ВП. Це дає змогу для подальших досліджень в області питань оптимізації фондоконцентрації ВП побудови композитних доків.

Висновки

Розроблено перелік параметрів і локальних функцій втрат для ВП з урахуванням виділених типів ресурсів, який у подальшому дає змогу забезпечення умови мінімізації витрат ресурсів.

Створена загальна структура моделі виробничого процесу виготовлення ПСПД, яка дає змогу комплексно оцінювати витрати основних ресурсів виробничого процесу та регулювати значення параметрів.

Виконано перевірка моделі на ідентичність шляхом зіставленням результатів моделювання при значенні результуючих параметрів, що відповідають реальним значенням чинного докобудівного виробництва. В результаті моделювання були отримані значення показників витрат ресурсів: кількість металу $P^{м}$ з ймовірністю 93 % відповідає реальному споживанню металу в ВП; кількість суднобудівного бетону $P^{сб}$ з ймовірністю 95 % відповідає реальному споживанню суднобудівного бетону в ВП; споживання електроенергії $P^{э}$ з ймовірністю 94 % відповідає реальному споживанню електроенергії в ВП; кількість води $P^{в}$ з ймовірністю 9 % відповідає реальному споживанню води у ВП; кількість персоналу $P^{п}$ з ймовірністю 97 % відповідає реальній кількості персоналу у ВП; кількість часу $P^{вр}$ з ймовірністю 95 % відповідає реальним витратам часу в ВП.

Проведена апробація розробленої моделі на основі оцінки двох експрес-прогнозів зниження фондоконцентрації для корпусного цеху докобудівного підприємства. Було встановлено, що перший сценарій забезпечує зниження сукупного функціоналу втрат на 12 %, а другий на 16 %.

Список літератури

1. Рашковський О. С. *Проектування, технологія і організація побудови композитних плавучих доків: навч. посіб.* Миколаїв, 2015. 254 с.
2. Мишутин Н. В., Мишутин А. В. Железобетонные плавучие сооружения и перспективы их использования. *Вісник ОДАБА*. 2002. № 6. С. 181–186.
3. Щедролосев А. В., Кириченко К. В. Анализ состояния строительства плавучих доков. *Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi Əsərləri*. 2018. № 1. С. 48–58.
4. Чернецька Ю. А. Методи багатокритеріальної оптимізації структури капіталу підприємства. *Науковий вісник. Одеський національний економічний університет.* 2012. № 10 (162). С. 100-110.
5. Rashkovskyi A., Ermakov D., Dong Z. Innovative technologies in composite floating docks construction. *Shipbuilding and Marine Infrastructure*. 2014. № 2. P. 93–102.
6. Wang C.M., Utsunomiya T. Pontoon-type very large floating structures. *Structural Engineer*. 2007. № 85 (16). P. 15–17.
7. Kyrychenko K., Yahlytskyi Yu., Schedrolosiev O. Methods of improvement of the design and construction technology of composite docks. *Shipbuilding and Marine Infrastructure*. 2019. №2 (10). P. 36–47.
8. Schedrolosiev O., Korostylov L., Klymenkov S., Uzlov O., Kyrychenko K. Improvement of the structure of floating docks based on the study into the stressed-deformed state of pontoon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2018. Vol. 6. No. 7 (96). P. 26–31. doi.10.15587/1729-4061.2018.150346.
9. Zheng P., Pei Z., Liu W., Zhao Q. Research on Structural Strength Direct Calculation of Pontoon Bridge Wuhan Ligong Daxue Xuebao (Jiaotong Kexue Yu Gongcheng Ban. *Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science and Engineering).* 2017. № 41 (3). P. 517–522. doi.10.3963/j.issn.2095-3844.2017.03.032.
10. Firat Y., Easley R., Zinserling M. Design and Construction of Two Concrete Pontoons to Serve as Berths at the Port of Juneau Cruise Ship Terminal Ports 2016: Port Planning and Development. *Papers from Sessions of the 14th Triennial International Conference*. 2016. P. 193–203. doi.10.1061/9780784479919.020.
11. Zhang X. X., Du B. S., Wu Z. L. Safety protective effect of a novel FRP floating pontoon for piers against ship-collision. *Bridge Maintenance, Safety, Management and Life Extension – Proceedings of the 7th International Conference of Bridge Maintenance, Safety and Management,* IABMAS. 2014. P. 2070–2078. doi.10.1201/b17063-319.
12. Xujun Chen, Yuji Miao, Xuefeng Tang and Junyi Liu. Numerical and experimental analysis of a moored pontoon under regular wave in water of finite depthю *Ships and Offshore Structures*. 2016. Vol.12. Iss. 3. P. 412–423. doi.10.1080/17445302.2016.1172831.
13. Iwańkowicz R. Object-matrix model of complex manufacturing technology. *Industrial Management and Data Systems.* 2008. № 108 (8). P. 1131–1148. doi.10.1108/02635570810904659.
14. Rose C., Coenen J., Hopman H. Definition of ship outfitting scheduling as a resource availability cost problem and development of a heuristic solution technique. *Journal of Ship Production and Design.* 2016. № 32 (3). P. 139–153. doi.10.5957/JSPD.32.3.150003.
15. Рашковский А. С., Нейман В. М. Совершенствование подготовки производства для строительства композитных плавучих сооружений. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2017. № 1 (16). С. 192–201.

References (transliterated)

1. Rashkovskyi O. S. *Proektuvannia, tekhnolohiya i orhanizatsiya pobudovy kompozytnykh plavuchykh dokiv. Mykolaiv* [Design, technology and organization of construction of composite floating docks], 2015, 254 p.
2. Mishutin, N. V., Mishutin, A. V. Zhelezobetonnye plavuchie sooruzheniya i perspektivy ih ispol'zovaniya [Reinforced concrete floating structures and prospects for their use]. *Visnyk ODABA*, 2002, no. 6, pp. 181-186.
3. Shchedrolosev, A. V., Kyrychenko, K. V. Analiz sostoyaniya stroitel'stva plavuchih dokov [Analysis of the state of construction of floating docks]. *Azərbaycan Dövlət*

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Dəniz Akademiyasının Elmi Əsərləri, 2018, no. 1, pp. 48-58.
4. Chernetskaya Yu. A. Metody bahatokryterialnoi optymizatsii struktury kapitalu pidpryiemstva [Methods of multi-criteria optimization of enterprise capital structure]. *Naukovyi visnyk. Odeskyi natsionalnyi ekonomichnyi universytet*. [Scientific Bulletin. Odessa National University of Economics]. 2012, iss.10 (162), pp. 100-110.
5. Rashkovskyi A., Ermakov D., Dong Z. Innovative technologies in composite floating docks construction. *Shipbuilding and marine infrastructure*. 2014, no. 2, pp. 93-102.
6. Wang, C. M., Utsunomiya, T. Pontoon-type very large floating structures. *Structural Engineer*. 2007, no. 85 (16), pp. 15-17.
7. Kyrychenko K., Yahlytskyi Yu., Schedrolosiev O. Methods of improvement of the design and construction technology of composite docks. *Shipbuilding and Marine Infrastructure*. 2019, no. 2 (10), pp. 36-47.
8. Schedrolosiev O., Korostylov L., Klymenkov S., Uzlov O., Kyrychenko K. Improvement of the structure of floating docks based on the study into the stressed-deformed state of pontoon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2018, no. 6, 7 (96). pp. 26-31, doi.10.15587/1729-4061.2018.150346.
9. Zheng P., Pei Z., Liu W., Zhao Q. Research on Structural Strength Direct Calculation of Pontoon Bridge Wuhan Ligong Daxue Xuebao (Jiaotong Kexue Yu Gongcheng Ban). *Journal of Wuhan University of Technology* (Transportation Science and Engineering). 2017, no. 41 (3), pp. 517-522, doi.10.3963/j.issn.2095-3844.2017.03.032.
10. Firat Y., Easley R., Zinserling M. Design and Construction of Two Concrete Pontoons to Serve as Berths at the Port of Juneau Cruise Ship Terminal Ports 2016: Port Planning and Development. *Papers from Sessions of the 14th Triennial International Conference*, 2016, pp. 193-203, doi.10.1061/9780784479919.020.
11. Zhang X. X., Du B. S., Wu Z. L. Safety protective effect of a novel FRP floating pontoon for piers against ship-collision. *Bridge Maintenance, Safety, Management and Life Extension – Proceedings of the 7th International Conference of Bridge Maintenance, Safety and Management*, IABMAS, 2014, pp. 2070-2078, doi.10.1201/b17063-319.
12. Xujun Chen, Yuji Miao, Xuefeng Tang and Junyi Liu. Numerical and experimental analysis of a moored pontoon under regular wave in water of finite depth. *Ships and Offshore Structures*. 2016, vol. 12, is. 3, pp. 412-423, doi.10.1080/17445302.2016.1172831.
13. Iwańkowicz R. Object-matrix model of complex manufacturing technology. *Industrial Management and Data Systems.* 2008, no. 108 (8), pp. 1131-1148, doi.10.1108/02635570810904659.
14. Rose C., Coenen J., Hopman H. Definition of ship outfitting scheduling as a resource availability cost problem and development of a heuristic solution technique. *Journal of Ship Production and Design*. 2016, no. 32 (3), pp. 139-153, doi.10.5957/JSPD.32.3.150003.
15. Rashkovskyi, A. S., Nejman, V. M. Sovershenstvovanie podgotovki proizvodstva dlya stroitelstva kompozitnyh plavuchih sooruzhenij [Improving production preparation for the construction of composite floating structures]. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii*. 2017, no. 1 (16), pp. 192-201.

Відомості про авторів (About authors)

Яглицький Юрій Костянтинович – кандидат технічних наук, доцент, Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, доцент кафедри Суднобудування та ремонту суден, м. Херсон, Україна; ORCID: 0000-0002-4865-0411; e-mail: yahlytskyiyurii@gmail.com.

Yurii Yahlytskyi – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Shipbuilding and Ship Repair, Kherson branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine; ORCID: 0000-0002-4865-0411; e-mail: yahlytskyiyurii@gmail.com.

Кириченко Костянтин Володимирович – Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, викладач кафедри Суднобудування та ремонту суден, м. Херсон, Україна; ORCID: 0000-0002-0974-6904; e-mail: kostiantynkyrychenko@nuos.edu.ua.

Kostiantyn Kyrychenko – lecturer, Department of Shipbuilding and Ship Repair, Kherson branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine; ORCID: 0000-0002-0974-6904; e-mail: kostiantynkyrychenko@nuos.edu.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Яглицький Ю. К., Кириченко К. В. Розробка математичної моделі виробничого процесу виготовлення плоскої секції понтона композитного доку. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 43-53. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.06.

Please cite this article as:

Yahlytskyi Y., Kyrychenko K. Development of a mathematical model for the workflow of manufacturing of a flat section of a composite dock pontoon. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1 (3), pp. 43-53, doi:10.20998/2413-4295.2020.03.06.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Яглицкий Ю. К., Кириченко К. В. Разработка математической модели производственного процесса изготовления плоской секции понтона композитного дока. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 43-53. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.06.

АННОТАЦИЯ *Проведено обзор известных технических решений в докостроении, направленных на обеспечение необходимых производственных параметров при изготовлении железобетонного понтона композитного дока, который показал, что в них не установлена связь с параметрами производственного процесса и отсутствует влияние изменений этих параметров на значение фондоконцентрации. Разработана модель производственного процесса изготовления плоской секции понтона дока, которая дает возможность на ней отрабатывать управляющие воздействия, снижающие вероятность появления рисков при изготовлении корпуса дока. С помощью представленной модели можно будет оценивать снижение как неэффективных затрат ресурсов за счет управления рисками производственного процесса, так и сокращения нормативных затрат ресурсов вследствие реализации мер по усовершенствованию организации производства. Для разработки математической модели производственного процесса изготовления плоской секции понтона дока формализованы требования, обуславливающие выполнение производственной программы предприятия при обеспечении условия минимизации затрат ресурсов в виде системы уравнений. В результате проведенного исследования докостроительного производства были выделены шесть основных типов ресурсов, затраты которых влияют на формирование фондоконцентрации изготовленных плоских секций понтона дока – металл, бетон, вода, электроэнергия, персонал и время. Проведено комплексную оценку фондоконцентрации производственного процесса за счет совокупного функционала затрат при условии, что его минимальное значение отвечает минимальной фондоконцентрации производственного процесса. Разработана структура предложенной модели с использованием методологии Integration Definition for Function Modeling. Проверка модели на идентичность проводилась путем сопоставления результатов моделирования при значении результирующих параметров, отвечающих реальным значениям действующего докостроительного производства. С использованием разработанной модели проведено исследование влияния различных организационно-технических мероприятий на фондоконцентрацию производственного процесса и сделана оценка управляющих влияний на затраты ресурсов в производственном процессе.*

Ключевые слова: *понтон; композитный плавучий док; железобетонная плита; плоская секция понтона дока; фондоконцентрация; математическая модель производственного процесса*

Надійшла (received) 10.02.2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

УДК 004.5 doi:10.20998/2413-4295.2020.03.07

ЛОГІКА ПОБУДОВИ ІНТЕРФЕЙСІВ У ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ

Л. О. ЛИТВИНЕНКО[1], О. В. СКЛЯРЕНКО[1*], Я. О. КОЛОДІНСЬКА[2]

[1] Кафедра інформаційних технологій, кібербезпеки та математичних дисциплін, ПВНЗ «Європейський університет», м. Київ, УКРАЇНА
[2] Факультет інформаційних систем та технологій, ПВНЗ «Європейський університет», м. Київ, УКРАЇНА
**e-mail: sigma.inet@gmail.com*

АНОТАЦІЯ *Через постійне зростання інформації у світі з'являються нові виклики не лише в задачах обробки і зберігання великих масивів даних, а й у подачі результатів обробки та аналізу кінцевому користувачу програмних додатків. Основною задачею статті є оглядовий аналіз певних підходів до подачі інформації у вигляді, в якому її сприйняття відбувається швидше шляхом застосування принципів оптимальної візуальної подачі інформації і оптимальної взаємодії з користувачем. У статті розглядаються поняття візуального представлення і візуальної взаємодії та відмінності між ними. Аналізуються основні складові для побудови візуального представлення програмних додатків, в тому числі шрифти та такі їхні характеристики як розбірливість та читабельність. Також розглянуті різні властивості кольорів, наведено класифікацію за усередненим сприйняттям різного забарвлення в навколишньому середовищі та вплив білого простору на читабельність. З точки зору побудови оптимальної візуальної взаємодії можна завжди використати інструментарій A/B тестів, проте, на думку авторів, значно ефективніше проводити тести відносно незначних змін, застосовуючи певні принципи побудови візуальної взаємодії. Серед таких принципів в статті проаналізовані наступні закони: закон Якоба, який вказує на необхідність використання вже сталих і звичних компонентів чи сценаріїв візуальної взаємодії без їх суттєвої зміни, застосовуючи досвід користувача в інших програмних продуктах; закон Хіка, який регулює кількість одночасних опцій, доступних для користувача на одному екрані; закон Гештальта про спільні межі, який регулює способи групування елементів шляхом відмежування області від оточуючих елементів певною межею; закон Гештальта про близькість об'єктів, які знаходяться поруч і сприймаються мозком людини як групи; закон Фітса про важливість легкодоступності основних елементів та необхідності їх розміщення в безпосередній близькості до користувача. Наведено практичні приклади використання вказаних законів.*
Ключові слова: *програмне забезпечення; інтерфейс; програмний додаток; візуальне представлення (UI); візуальна взаємодія (UX); графічний інтерфейс користувача; тестування програмного продукту; проектування програмного забезпечення*

LOGIC OF BUILDING INTERFACES IN THE SOFTWARE

L. LYTVYNENKO[1], O. SKLIARENKO[1*], Y. KOLODINSKA[2]

[1] Department of Information Technology, Cyber Security and Mathematical Sciences, PHEI European University, Kyiv, UKRAINE
[2] Faculty of Information Systems and Technologies, PHEI European University, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT *Constant information growth poses new challenges not only in data processing and data analysis, but also in the effective way to present information to be consumed by humans. The article analyzes approaches to building a user interface and user experience that focus on easy perception by humans. In particular, such essential tools as color palettes and fonts are considered. The article also shows the application of the law of white space, Jacob law, Hick law, Gestalt law and Fitts law.Constant information growth poses new challenges not only in data processing and data analysis, but also in the effective way to present information to be consumed by humans. The main objective of the article is to analyze approaches to presenting information in a form in which consumption is faster by applying the principles of optimal visual presentation of information and optimal user experience. The article discusses the concepts of visual presentation and visual interaction and the difference between them. The main components for building a visual representation of software applications are analyzed, attention is paid to fonts, their characteristics such as legibility and readability. Also, various properties of colors are considered, a classification is given according to the average perception of various colors in the environment and the influence of white space on readability. From the point of view of constructing optimal user experience, you can always use the A / B test toolkit, however, it is much more efficient to conduct tests of relatively minor changes, and therefore it is important to use certain principles of building visual interaction. Among these principles, the following laws are analyzed in the article: Jacob's law, which indicates the need to use well-established and familiar components or scenarios of visual interaction without significant changes to reuse user experience in third-party applications; Hick's law governing the number of simultaneous options available to the user on one screen; Gestalt's law on common borders – regulating the ways of grouping elements by delimiting the area from surrounding elements by a certain border; Gestalt's law of proximity – says that objects that are nearby are perceived by the human brain as a group; The Fitts law – about the importance of easy accessibility of the main elements and the need to place them in close proximity to the user. Practical examples of the application of these laws are given.*
Keywords: *Software; Interface; Software application; User Interface, User Experience; graphical user interface; software product testing; software design*

Вступ та постановка задачі

Кількість інформації в світі збільшується щороку, тому якщо не збільшувати швидкість сприйняття інформації відбувається перенасичення [1] і неможливість подальшого сприйняття інформації [2]. Для вирішення цієї проблеми можна рухатись в двох напрямах – *зменшення кількості інформації,* яку потрібно сприйняти шляхом автоматичної обробки і

© Л. О. ЛИТВИНЕНКО, О. В. СКЛЯРЕНКО, Я. О. КОЛОДІНСЬКА, 2020

виділення лише істотних знань, наприклад, за допомогою методів штучного інтелекту [3]; *зміна подачі інформації* до вигляду, в якому споживання відбувається швидше шляхом застосування принципів оптимальної візуальної подачі інформації. В статті розглядається другий напрям – візуальне представлення та інтерактивна взаємодія. Наш фокус буде зосереджений на веб- та мобільних додатках, проте, варто зауважити, що принципи розповсюджуються і на інші типи взаємодії, наприклад, на побудову ефективних презентацій [4].

Мета роботи

Метою даної статті є дослідження питань оптимальної подачі інформації, візуального представлення програмних додатків та аналіз принципів та законів побудови візуальної взаємодії з користувачем, надання рекомендацій задля створення ефективного, досконалого, зручного інтерфейсу програмного забезпечення.

Що таке UI та UX?

Для дослідження принципів візуального представлення та інтерактивної взаємодії, опишемо що саме ми розуміємо під цими термінами:

Візуальне представлення (UI, User Interface) – визначає як виглядатиме додаток, його фізичні характеристики, який буде розмір шрифту, відступи, кольорова схема, які об'єднуючі та розділяючі блоки.

Візуальна взаємодія (UX, User Experience) – визначає як саме відбувається взаємодія користувача, який досвід/відчуття отримує користувач від взаємодії, чи вдається користувачу вирішити свою задачу і на скільки це просто і інтуїтивно.

Варто зауважити, що UI та UX завжди тісно пов'язані між собою і їх необхідно розглядати у комплексі [5].

Принципи візуального представлення

UI – це основа будь-якого додатку, саме тому йому потрібно приділяти особливу увагу. Перш за все, візуальне представлення певного додатку повинно забезпечувати легке виокремлення інформації, а це досягається за допомогою трьох компонентів: *шрифтів, кольорів, "білого простору"*.

Шрифт. При виборі шрифтів потрібно керуватися лише їх розбірливістю (legibility) та читабельністю (readability), решта характеристик немає великого значення для сприйняття інформації [6].

Розбірливість – це характеристика, що визначає на скільки легко відрізнити одну літеру від іншої. Розбірливість повністю залежить від шрифту, її неможливо змінити вручну, тому шрифт потрібно вибирати дуже ретельно. На рис. 1 наведено приклад розбірливого (справа) і нерозбірливого (зліва) шрифтів:

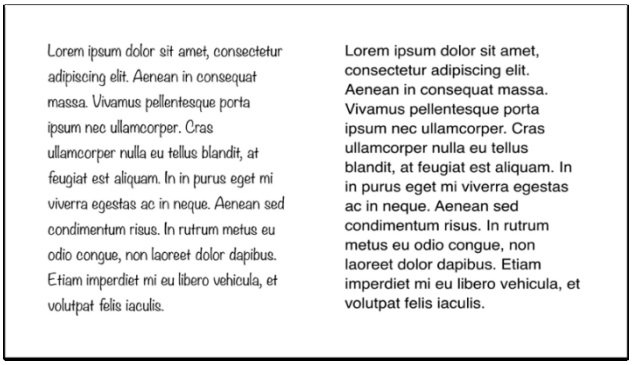


Рис. 1 – Розбірливість шрифтів

Читабельність – це властивість, що вказує на скільки легко сприймати шрифт. На відміну від розбірливості, ця характеристика може змінюватись дизайнером при розробці візуального представлення. Однією із основних характеристик читабельності є довжина рядка. Занадто велика довжина змушує читача переводити погляд між рядками занадто часто, а занадто мала довжина призводить до швидкої втоми очей. На рис. 2 зображені приклади одного й того ж шрифту, але з різною читабельністю.

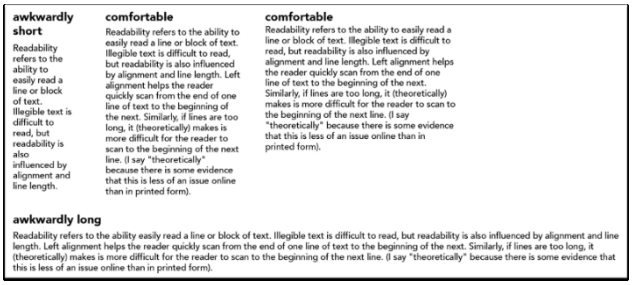


Рис. 2 – Читабельність шрифтів

Колір. Колір - це один з найважливіших елементів візуального представлення. Він тісно пов'язаний з психологією і при невірному застосуванні може змусити користувача припинити використання певного додатку буквально за декілька секунд. Вибір кольору може бути дуже тяжким процесом і для економії часу рекомендується використовувати готові палітри, або інструменти, які враховують поєднання кольорів, на кшталт "Material Design Color Tool". Для того, щоб створити кольорову палітру без допомоги сторонніх інструментів, потрібно знати психологію кольорів та розуміти, як досягати балансу між ними [7].

Сприйняття кольорів відрізняється у різних людей, особливо тих, що мешкають у різних навколишніх середовищах. Проте, незважаючи на цю обставину та враховуючи відносність поняття кольору [8], кольори можна класифікувати за усередненим сприйняттям різного забарвлення в навколишньому середовищі. Таку класифікацію наведено нижче.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Червоний. Колір пристрасті і драми. Приваблює багато уваги. Викликає такі емоції, як любов та злість.

Помаранчевий. Колір заохочення. Викликає інтерес, теплоту та ентузіазм. Це мотивуючий колір, до вподоби молодим людям.

Жовтий. Колір оптимізму. Асоціюється з успіхом та впевненістю. Стимулює фокус та швидке прийняття рішень.

Рожевий. Колір чуттєвості. Асоціюється зі спокоєм, любов'ю та жіночністю.

Блакитний. Колір довіри. Це колір неба та океану, викликає спокій.

Зелений. Колір росту та здоров'я. Асоціюється з природою. Колір миру.

Фіолетовий. Колір усвідомлення та самосприйняття. Колір співчуття та співпереживання. Асоціюється з багатством та розкішшю.

Коричневий. Колір землі. Стабільність, міцна основа. Натуральні та прості речі. Асоціюється з безпекою та впевненістю.

Сірий. Колір компромісу. Позбавлений емоцій, намагається не привертати увагу. Консервативний, асоціюється зі зрілістю та захистом.

Чорний. Загадковий колір. Чорний - це, насправді, відсутність кольору. Формальний і складний, сексуальний і секретний. Іноді асоціюється зі страхом, злом, песимізмом і відсутністю надії.

Варто зауважити, що наведена класифікація [9] не є вичерпною і повинна використовуватися в комплексі з іншими інструментами розробника інтерфейсів.

Одним з цікавих моментів сприйняття кольорів є різна реакція на теплі та холодні кольори. Теплі кольори викликають теплоту та близькість, тому, зазвичай, використовуються як основні, в той час як холодні кольори переважно застосовуються для фону.

На практиці для досягнення балансу між кольорами варто застосовувати правило: 60% – домінуючий колір, 30% – вторинний колір, 10% – колір для розстановки акцентів у візуальному представленні.

Білий простір. Білий простір – це навмисно виділене порожнє місце, яке використовується для того, щоб розділяти простір на фрагменти, які повинні сприйматися одночасно. Можна навмисно використовувати білий простір для створення ієрархії, яка дозволить легко орієнтуватися в інтерфейсі. Білий простір також впливає на загальне відчуття краси та легкості сприйняття. Проведені дослідження показали, що правильне використання відступів між абзацами збільшує читабельність на 20% [10] і, таким чином, підтвердили важливість правильного використання білого простору, що добре узгоджується з принципами вибору шрифтів.

Принципи візуальної взаємодії

При розробці мобільних- та веб-додатків необхідно не лише використовувати принципи оптимальної подачі інформації, а й побудувати можливість взаємодії з програмою таким чином, щоб користувач міг максимально просто та інтуїтивно вирішити задачі, задля яких він застосовує програмний продукт.

На сьогодні існує багато інструментів, які можуть шляхом паралельного тестування (A/B тести) дати відповідь на питання, який варіант взаємодії із двох наданих більш ефективний. Проте, значно краще проводити такі тести вже відносно невеликих змін, а, отже, важливо використовувати набір принципів, що допоможуть побудувати основу додатку без попереднього тестування. Сформулюємо принципи, які, на нашу думку, найбільш важливі серед спектру відомих принципів [11-13].

Закон Якоба. При проектуванні візуальної взаємодії варто розуміти, що час, проведений в певному розробленому додатку, завжди буде значно меншим порівняно із загальним часом його роботи з іншими додатками. Саме тому користувач очікуватиме від нового додатку поведінки подібної до тої, що він помічав у багатьох інших. Зрозуміло, що абсолютно однакові програмні продукти робити немає сенсу, але тут мова перш за все йде про схожі сценарії поведінки. Наприклад, якщо у користувача в електронній пошті є список листів і при натисканні на один елемент списку він очікує, що лист відкриється в повному обсязі, то таким же чином він очікуватиме отримати повний текст при натисканні на елемент із списку нотаток. Інакше кажучи, закон Якоба полягає в тому що, *не варто змінювати поведінку для вже сталих і звичних компонентів чи сценаріїв візуальної взаємодії.*

Закон Хіка. Жоден користувач не хоче бути примушений до вибору, особливо, якщо цей вибір не є обов'язковим та якщо варіантів вибору багато [14]. Іноді логіка побудови додатку вимагає обов'язкового введення певних даних (наприклад, адреси електронної пошти при реєстрації), проте кількість варіантів практично завжди можна зменшити. Для прикладу розглянемо картографічний додаток. Карти Гугл (Google Maps). Як показано на рис. 3, для вибору серед найближчих точок надано не повний перелік всіх навколишніх локацій, а лише обмежений набір груп таких, як ресторани, кав'ярні, магазини, розваги, готелі та інше.

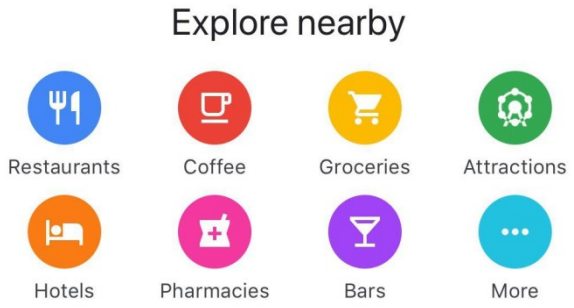


Рис. 3 – Вибір локації в додатку Карт Гугл (Google Maps)

Така побудова візуальної взаємодії дозволяє досить швидко та точно знайти необхідну локацію.

Варто зауважити, що застосування цього закону дуже розповсюджене і звичне для нас. Так, наприклад, меню вибору рубрики новин (спорт, політика, економіка) на новинному сайті чи веб додатку – це також застосування закону Хіка. Отже, *закон Хіка полягає в поступовому представленні даних, шляхом покрокового уточнення критеріїв, за якими користувач може охарактеризувати необхідні йому дані*.

В складних системах, де вибір необхідної підмножини даних залежить від великої кількості незалежних критеріїв, одного закону Хіка вже буде недостатньо, оскільки, незалежні критерії вибору потребують незалежного візуального представлення і для покращення візуальної взаємодії закон Хіка використовується в парі з законами Гештальта.

Закони Гештальта. Закони Гештальта – це набір законів візуальної взаємодії, які дозволяють ввести порядок і розмежування у візуальне представлення. Ці закони є одними з основних при побудові візуальної взаємодії і при правильному застосуванні здатні суттєво покращити користувацький досвід. Розглянемо два закони Гештальта – закон близькості та закон спільних меж [15].

Закон спільних меж про те, що додавання меж навколо елемента чи групи елементів дозволяє легко відмежовувати цю область від оточуючих елементів. Такі межі концентрують увагу в рамках областей і дозволяють будувати комплексні візуальні представлення для легшого сприйняття інформації. На рис. 4 зображено приклад використання закону Гештальта і показано, як спільні межі дозволяють фокусувати увагу на кожній області окремо, незалежно від інформації, представленої в інших областях.

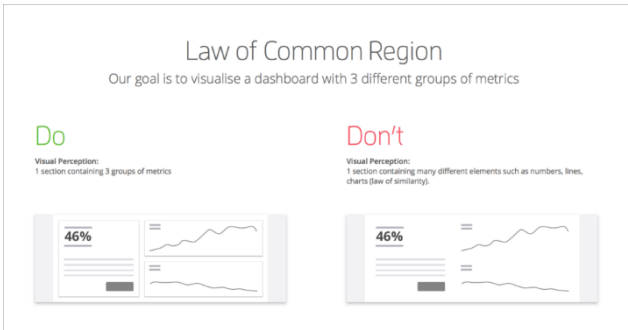


Рис. 4 – Приклад використання закону Гештальта про спільні межі

Проте, використання великої кількості групуючих елементів може негативно впливати на візуальне сприйняття додатку. Для таких випадків може допомогти другий закон – закон близькості.

Суть закону близькості Гештальта в тому, що об'єкти, які знаходяться поруч сприймаються мозком людини, як групи. Часто даний закон застосовують для групування тексту та зображень в одну групу, проте цим його використання не обмежується. На рис. 5 проілюстровано дію закону близькості для побудови більш легких для сприйняття додатків.

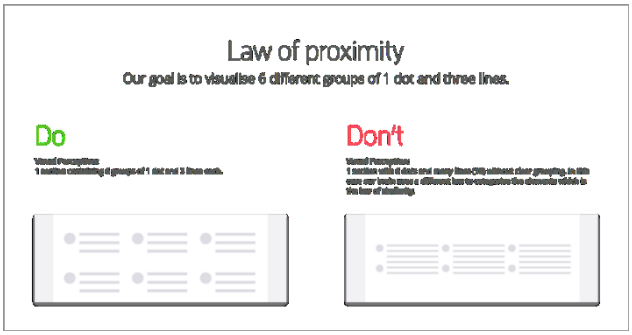


Рис. 5 – Приклад використання закону Гештальта про близькість елементів

Закон Фіттса. При тестуванні візуальної взаємодії може виникати ситуація, коли користувачі додатку не використовують важливі елементи, закладені розробниками. Часто така проблема виникає при неоптимальному розміщенні елементів та акцентуванні уваги користувача на інших речах. Для виправлення такої ситуації необхідно, перш за все, переконатися що є розуміння того, яку задачу виконує користувач. Лише після цього можна визначити критичні недоліки додатку. Для таких випадків може стати в нагоді закон Фіттса. *За цим законом важливі елементи візуального представлення повинні бути в безпосередній близькості до користувача і бути легкодоступними* [16]. На рис. 6 показано застосування закону Фіттса в пошуковій системі Google – найбільш важливі дії знаходяться прямо по центру екрану, максимально виділені, дозволяють вирішити основну задачу користувача.

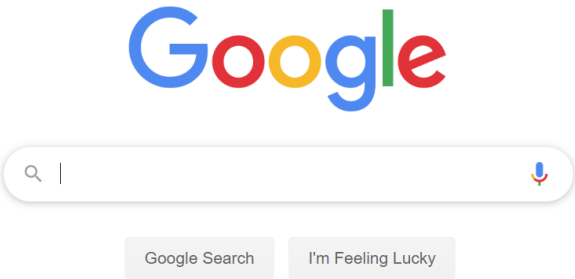


Рис. 6 – Приклад використання закону Фіттса

Висновки

При побудові програмних додатків існує широкий набір рекомендацій та законів, покликаних спростити сприйняття інформації. Це принципи вибору елементів візуального представлення такі, як розбірливість та читабельність шрифтів, кольори – одні з найважливіших факторів візуального представлення, що тісно пов'язані з психологією, та використання білого простору – навмисно виділеного порожнього місця, яке використовується для того, щоб

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

розділяти простір на фрагменти, що повинні сприйматися одночасно. Щоб користувач міг не лише легко сприймати інформацію, а й максимально просто і інтуїтивно вирішувати свою задачу, існують принципи побудови візуальної взаємодії. Це закон Якоба, за яким фіксується вже звична для користувача поведінка, закон Хіка, що полягає в поступовому представленні даних, закони Гештальта для групування елементів та закон Фіттса, що регулює легкодоступність основних елементів. Дана стаття містить аналіз основних та найбільш вагомих на думку авторів підходів до подачі інформації з метою її кращого сприйняття кінцевим споживачем. Наведені практичні приклади застосування принципів оптимального візуального представлення інформації і оптимальної взаємодії з користувачем, за рахунок використання яких значно покращується інтерфейс програмного продукту та сприйняття інформації користувачем. За результатами наведеного оглядового аналізу законів та принципів візуального представлення планується наступна робота у напрямку розробки оптимальної моделі UX/UI структури для побудови програмного забезпечення із врахуванням основних потреб клієнта.

Список літератури

1. Roetzel P. G. Information overload in the information age: a review of the literature from business administration, business psychology, and related disciplines with a bibliometric approach and framework development. *Bus Res*. 2019. 12. P. 479-522. doi: 10.1007/s40685-018-0069-z.
2. Mirończuk M. M. The BigGrams: the semi-supervised information extraction system from HTML: an improvement in the wrapper induction. *Knowl. Inf. Syst.* 2018. 54. P. 711-776. doi: 10.1007/s10115-017-1097-2.
3. Yilmaz H. On color perception. *Bulletin of Mathematical Biophysics*. 1962. 24. P. 5-29. doi: 10.1007/BF02477863.
4. Joshua Porter. 52 Weeks of UX. Week 10. Visual Hierarchy. 2010. URL: https://52weeksofux.com/post/443828775/visual-hierarchy.
5. Kate Moran. The Aesthetic-Usability Effect. 2017. URL: https://www.nngroup.com/articles/aesthetic-usability-effect/.
6. Jeff Wang. Crash Course: UI Design. 2017. URL: https://medium.com/hh-design/crash-course-ui-design-25d13ff60962.
7. Eppler M. J., Mengis J. The concept of information overload: A review of literature from organization science, accounting, marketing, MIS and related disciplines. *The Information Society*. 2004. 20 (5). P. 325-344. doi: 10.1007/978-3-8349-9772-2_15.
8. Color Meaning and Psychology. URL: https://graf1x.com/color-psychology-emotion-meaning-poster/.
9. Lin D. Y. M. Evaluating older adults' retention in hypertext perusal: impacts of presentation media as a function of text topology. *Computers in Human Behavior*. 2004. 20. P. 491-503. doi: 10.1016/j.chb.2003.10.024.
10. Aesthetic Usability Effect. URL: https://lawsofux.com.
11. Lallemand C., Koenig V., Gronier G. How Relevant is an Expert Evaluation of User Experience based on a Psychological Needs-Driven Approach? *Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Fun, Fast, Foundational (NordiCHI '14), New York, NY, ACM*, 2014. P. 11-20. doi: 10.1145/2639189.2639214.
12. Чому хороший сервіс неможливий без хорошого UI. URL: https://evergreens.com.ua/ua/articles/ui-trends.html.
13. Rosie Allabarton. What Is The UX Design Process? A Complete Actionable Guide. 2019. URL: https://careerfoundry.com/en/blog/ux-design/the-ux-design-process-an-actionable-guide-to-your-first-job-in-ux/.
14. Jeff Johnson. Designing With the Mind in Mind, Second Edition: Simple Guide to Understanding User Interface Design Guidelines, Massachusetts, Morgan Kaufmann, 2014. 250 p. doi: 10.1016/C2012-0-07128-1.
15. Shai Schwartz. The million dollar presentation. 2017. URL: https://www.emaze.com/2017/08/28/the-million-dollar-presentation/.
16. Olguntürk N. Psychological Color Effects. In: Luo R. (eds) Encyclopedia of Color Science and Technology. Springer, Berlin, Heidelberg. 2015. doi: 10.1007/978-3-642-27851-8_230-7.

References (transliterated)

1. Roetzel P. G. Information overload in the information age: a review of the literature from business administration, business psychology, and related disciplines with a bibliometric approach and framework development. *Bus Res*., 2019, 12, P. 479-522, doi: 10.1007/s40685-018-0069-z.
2. Mirończuk M. M. The BigGrams: the semi-supervised information extraction system from HTML: an improvement in the wrapper induction. *Knowl. Inf. Syst,* 2018, 54, P. 711-776, doi: 10.1007/s10115-017-1097-2.
3. Yilmaz H. On color perception. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 1962, 24, P. 5-29, doi: 10.1007/BF02477863.
4. Joshua Porter. 52 Weeks of UX. Week 10. Visual Hierarchy. 2010. Available at: https://52weeksofux.com/post/443828775/visual-hierarchy.
5. Kate Moran. The Aesthetic-Usability Effect. 2017. Available at: https://www.nngroup.com/articles/aesthetic-usability-effect/.
6. Jeff Wang. Crash Course: UI Design. 2017. Available at: https://medium.com/hh-design/crash-course-ui-design-25d13ff60962.
7. Eppler M. J., Mengis J. The concept of information overload: A review of literature from organization science, accounting, marketing, MIS and related disciplines. *The Information Society,* 2004, 20 (5), P. 325-344, doi: 10.1007/978-3-8349-9772-2_15.
8. Color Meaning and Psychology. Available at: https://graf1x.com/color-psychology-emotion-meaning-poster/.
9. Lin D. Y. M. Evaluating older adults' retention in hypertext perusal: impacts of presentation media as a function of text topology. *Computers in Human Behavior*, 2004, 20, P. 491-503, doi: 10.1016/j.chb.2003.10.024.
10. Aesthetic Usability Effect. Available at: https://lawsofux.com.
11. Lallemand C., Koenig V., Gronier G. How Relevant is an Expert Evaluation of User Experience based on a Psychological Needs-Driven Approach? *Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Fun, Fast, Foundational (NordiCHI '14), New York, NY, ACM*, 2014, P. 11-20, doi: 10.1145/2639189.2639214.
12. Chomu khoroshij servi`s nemozhlivij bez khoroshogo UI. Available at: https://evergreens.com.ua/ua/articles/ui-trends.html.

13. Rosie Allabarton. What Is The UX Design Process? A Complete Actionable Guide. 2019. Available at: https://careerfoundry.com/en/blog/ux-design/the-ux-design-process-an-actionable-guide-to-your-first-job-in-ux/.
14. Jeff Johnson. Designing With the Mind in Mind, Second Edition: Simple Guide to Understanding User Interface Design Guidelines, Massachusetts, Morgan Kaufmann, 2014. 250 p, doi: 10.1016/C2012-0-07128-1.
15. Shai Schwartz. The million dollar presentation. 2017. Available at: https://www.emaze.com/2017/08/28/the-million-dollar-presentation/.
16. Olguntürk N. Psychological Color Effects. In: Luo R. (eds) Encyclopedia of Color Science and Technology. Springer, Berlin, Heidelberg, 2015, doi: 10.1007/978-3-642-27851-8_230-7.

Відомості про авторів (About authors)

Литвиненко Леонід Олександрович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інформаційних технологій, кібербезпеки та математичних дисциплін, Приватний вищий навчальний заклад “Європейський університет”; м. Київ, Україна; e-mail: l.lytvynenko@gmail.com.

Leonid Lytvynenko – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Lecturer of the Department of Information Technology, Cyber Security and Mathematical Sciences, Private Higher Education Institution “European University”; Kyiv, Ukraine; e-mail: l.lytvynenko@gmail.com.

Скляренко Олена Вікторівна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інформаційних технологій, кібербезпеки та математичних дисциплін, Приватний вищий навчальний заклад “Європейський університет”; м. Київ, Україна; ORCID: http://orcid.org/0000-0001-6555-1223; e-mail: sigma.inet@gmail.com.

Olena Skliarenko – Candidate of physico-mathematical Sciences (Ph.D.), Associate professor, Head of the Department of Information Technology, Cyber Security and Mathematical Sciences, Private Higher Education Institution “European University”; Kyiv, Ukraine; ORCID: http://orcid.org/0000-0001-6555-1223; e-mail: sigma.inet@gmail.com.

Колодінська Яніна Олексіївна – студентка факультету інформаційних систем та технологій, Приватний вищий навчальний заклад “Європейський університет”; м. Київ, Україна; e-mail: sm@rty.pp.ua.

Yanina Kolodinska – student of the Faculty of Information Systems and Technologies, Private Higher Education Institution “European University”; Kyiv, Ukraine; e-mail: sm@rty.pp.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Литвиненко Л. О., Скляренко О. В., Колодінська Я. О. Логіка побудови інтерфейсів у програмному забезпеченні. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 54-59. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.07.

Please cite this article as:

Lytvynenko L., Skliarenko O., Kolodinska Y. Logic of building interfaces in the software. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1 (3), pp. 54-59, doi:10.20998/2413-4295.2020.03.07.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Литвиненко Л. А., Скляренко Е. В., Колодинская Я. А. Логика построения интерфейсов в программном обеспечении. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 54-59. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.07.

АННОТАЦИЯ *Из-за постоянного роста информации в мире появляются новые вызовы не только в задачах обработки и хранения больших массивов данных, но и в подаче результатов обработки и анализа конечному пользователю приложений. Основной задачей статьи является анализ подходов к подаче информации в виде, в котором её восприятие происходит быстрее путем применения принципов оптимальной визуальной подачи информации и оптимального взаимодействия с пользователем. В статье рассматриваются понятия визуального представления и визуального взаимодействия и различия между ними. Анализируются основные составляющие для построения визуального представления программных приложений, в том числе шрифты и такие их характеристики как разборчивость и читабельность. Также рассмотрены различные свойства цветов, приведена классификация по усредненному восприятию различной окраски в окружающей среде и влияние белого пространства на читабельность. С точки зрения построения оптимального визуального взаимодействия можно всегда использовать инструментарий A/B тестов, однако, по мнению авторов, гораздо эффективнее проводить тесты относительно незначительных изменений, используя определенные принципы построения визуального взаимодействия. Среди таких принципов в статье проанализированы следующие законы: закон Якоба, который указывает на необходимость использования уже устоявшихся и привычных компонентов или сценариев визуального взаимодействия без их существенного изменения, используя опыт пользователя в других приложениях; закон Хика, регулирующий количество одновременных опций, доступных для пользователя на одном экране; закон Гештальта про общие границы, регулирующий способы группировки элементов путем отграничения области от окружающих элементов определенной границей; закон Гештальта о близости объектов, которые находятся рядом и воспринимаются мозгом человека как группы; закон Фитса о важности легкодоступности основных элементов и необходимости их размещения в непосредственной близости к пользователю. Приведены примеры практического использования указанных законов.*

Ключевые слова: *программное обеспечение; интерфейс; программное приложение; визуальное представление (UI); визуальное взаимодействие (UX); графический интерфейс пользователя; тестирование программного продукта; проектирование программного обеспечения*

Надійшла (received) 08.02.2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

УДК 331.101.1 doi:10.20998/2413-4295.2020.03.08

РОЛЬ ЛЮДСЬКОГО ЧИННИКА В УПРАВЛІННІ ВИРОБНИЧОЮ БЕЗПЕКОЮ

Г. В. МИГАЛЬ[1*], О. Ф. ПРОТАСЕНКО[2]

[1] кафедра автомобілів та транспортної інфраструктури, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", Харків, УКРАЇНА
[2] кафедра природоохоронних технологій, екології та БЖД, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків, УКРАЇНА
[*]e-mail: g.mygal@khai.edu

АНОТАЦІЯ *У статті основну увагу приділено дослідженню питання впливу людського чинника на рівень безпеки людини в умовах сучасного виробництва. Актуальність дослідження обумовлена фактом швидкої зміни принципів організації і роботи виробництва, наслідком чого є зміна вимог до персоналу. У цьому процесі на перший план виходять вимоги до індивідуальних характеристик людини. Сьогодні надійність і безпечність виробничої системи напряму пов'язані з людським чинником. У зв'язку із цим дослідження питання визначення ролі людського чинника у системі управління виробничою безпекою є основною метою роботи. Для досягнення поставленої цілі у роботі проаналізовані сучасні технології з управління людським чинником на виробництві, на підставі чого встановлено, що найбільш ефективним є поєднання традиційних підходів до забезпечення безпеки працівника (ергономічні методи) з сучасними досягненнями (інформаційні і когнітивні технології). Розглянуто поняття «ризикована поведінка» та визначені системні причини її виникнення. Показано, що підвищення виробничої безпеки базується на програмуванні моделі безпечної поведінки людини у виробничому середовищі, що відображено за допомогою модифікованої піраміди Хайнриха, згідно якої основою для створення безпечних умов діяльності є опанування працівниками поняття «людський чинник» і його важливості для забезпечення індивідуальної та виробничої безпеки. Показано, що врахування людського чинника у питаннях безпеки дозволяє підвищувати ефективність прогнозування виникнення небезпечних подій і обирати найбільш ефективні заходи щодо забезпечення безпеки на виробництві. У якості одного із практичних заходів щодо управління виробничою безпекою у роботі запропоновано впроваджувати у систему навчання при підвищенні кваліфікації працівників виробництв курсу «Людський чинник на виробництві». Наявний позитивний досвід викладання цієї навчальної дисципліни підтверджує доцільність застосування такого заходу. У подальшому розвиток цього напрямку дозволить розробити індивідуальний підхід до формування навичок і вмінь людини, що приймає рішення у виробничому середовищі.*
Ключові слова: *людський чинник; індивідуальність; безпека; управління; виробництво; ергономіка*

THE ROLE OF THE HUMAN FACTOR IN MANUFACTURING SAFETY MANAGEMENT

G. MYGAL[1*], O. PROTASENKO[2]

[1]Department of Automobile and Transportation Infrastructure, The National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute» (KhAI), Kharkiv, UKRAINE
[2]Department of Environmental Technologies, Ecology and Safety of Vital Activity, S. Kuznets Kharkov National University of Economics, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT *The article focuses on researching of influencing the human factor on the level of modern manufacture safety. The principles of the manufacture organization are changing rapidly; as a result, there is an active change in requirements to personal. Requirements to individual characteristics of a person are brought to the first place because they are the resource that directly affects safety and production efficiency. Therefore, the manufacturing system reliability and safety is directly related to the human factor. This fact causes the necessity of a fundamentally new approach to the manufacturing system organization and functioning in the field of safety. In this regard, researching the role of the human factor in the manufacturing safety management system is the primary goal of the work. A literature analysis shows the multidimensional of the human factor problem. It causes the necessity of application of an integrated approach to the problem solution. For this purpose, it was analysed the modern technologies of human factor management in manufacturing. It was established the most effective actions for human factor management are the combination of traditional approaches to ensuring employee safety (ergonomic methods) with modern achievements (information and cognitive technologies). It was researched the concept of "risky behaviour" and the systemic causes of such behaviour. The programming of safe human behaviour model in the ever-changing manufacturing environment allows improving manufacturing safety. It was shown through the modified Heinrich's pyramid. According to the pyramid, the basis for creating a safe working environment is the ability of the employee to learn the concept "human factor" and its importance for ensuring individual safety. Accounting the human factor in safety issues makes it possible to increase the efficiency of forecasting the hazardous events occurrence and choose the most effective measures to ensure safety at manufacturing. The introducing of the "Human Factor on Manufacturing" discipline in the training system for employees proposed as a practical measure to improve safety in the workplace. The available positive experience in the application of such an event suggests that it is possible in the future to develop an individual approach to the formation of the skills and abilities of a person who makes decisions in the working environment.*
Keywords: *human factor; individuality; safety; management; manufacturing; ergonomics*

Вступ

У сучасному світі принципи організації і роботи виробництва швидко змінюються. Логічним наслідком цього процесу є активна зміна вимог до персоналу: кваліфікації, стану здоров'я, психологічних якостей та інших характеристик. Тобто сьогодні основну увагу фокусують на індивідуальних

© Г. В. МИГАЛЬ, О. Ф. ПРОТАСЕНКО, 2020

характеристиках людини, оскільки вони є тим ресурсом, який безпосередньо впливає на безпеку, ефективність і продуктивність виробництва. Іншими словами, надійність і безпечність виробничої системи напряму пов'язані з людським чинником. Цей факт обумовив потребу у створенні принципово нового підходу до питання організації і функціонування системи виробничої безпеки на підприємстві.

Відомо, що безпечну поведінку людини визначають багато чинників, таких як традиції і стереотипи, виховання, рівень освіти і культури, коло інтересів, світоглядні позиції та інші, що у сукупності і становить зміст поняття «людський чинник». Тому базовим принципом нового підходу до питання безпеки на виробництві мають стати комплексні дослідження, що включають оцінювання інженерно-технічних, соціальних, інформаційних, психологічних і психофізіологічних показників діяльності працівника [1,2], що дозволить зробити системне визначення ролі людського чинника у питаннях безпеки на виробництві та завдяки цьому визначити шляхи її підвищення. Важливість визначення ролі людського чинника у безпеці виробництва підтверджують і офіційні статистичні дані, згідно яких людський чинник є причиною 80-90% аварій на виробництві [3,4]. Отже, на сьогодні сформувалась проблема: необхідність визначення ролі людського чинника у питаннях управління безпекою на виробництві. У цьому зв'язку актуальними є пошукові дослідження підходів до врахування індивідуальних характеристик людини як основних ризикоутворюючих чинників аварій на виробництві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Управління безпекою у більшості – це управління людським чинником. З березня 2018 року вже працює стандарт ISO 45001 (Health & Safety) «Система менеджменту охорони здоров'я й безпеки праці». Ця система є узагальненням і доповненням існуючих стандартів ISO серій 9001 (Quality), 31000 (Risk management), 14001 (Environment), та оновленням стандарту OHSAS 18001:2007. Згідно мети впровадження стандарту, підприємства потребують досягнення стійкої результативності в області професійного здоров'я і безпеки, а також демонстрації акціонерам, співробітникам, клієнтам та іншим зацікавленим сторонам своєї здатності управляти ризиками і підвищувати результативність своєї діяльності, продукції та послуг [5]. Стандарт ISO 45001:2018 позиціонується як ключовий для будь-якої організації, залученої в охорону праці та забезпечення безпеки на робочому місці. Він є інструментом для поліпшення загального стану здоров'я персоналу і підвищення рівня безпеки в організаціях. Інфографіка, що наведена на Інтернет-ресурсі ISO, показує повну залежність безпеки на виробництві від людського чинника [5].

Сучасні технології з управління людським чинником на виробництві поєднують у собі три напрямки науково-практичної діяльності [1,6]: 1) ергономіку (використовує узагальнені технології контролю стану здоров'я працівників: професійний відбір, регулювання режимів праці і відпочинку, медичний контроль тощо); 2) інформаційні технології (застосовує системи інформаційної допомоги і підтримки працівника); 3) когнітивні технології (створюють базу для безперервного навчання й оновлення знань працівника).

З позицій ергономіки найбільш перспективним напрямком у питанні управління людським чинником є використання досягнень нейроергономіки і нейробіології, а також когнітивної ергономіки [7-12]. Наприклад, концепція «Vision Zero» – міжнародна настанова, яку сьогодні успішно впроваджено у багатьох країнах світу. Концепція містить основні принципи виробництва з нульовим травматизмом і безпечними умовами праці і стосується трьох основних сфер застосування: безпека праці, здоров'я (гігієна праці) і добробут працівників. При цьому одним з ефективних інструментів «Vision Zero» для підвищення поведінкової безпеки є проведення візитів з поведінкової безпеки (ВПБ). Це ефективний інструмент для керівників на місцях та працівників служб охорони праці. ВПБ спрямовані на виявлення та усунення небезпечної поведінки та підкріплення безпечної, на зміну свідомості працівника, тобто першочерговою є робота на попередження нещасного випадку. Основною запорукою якісного проведення ВПБ є діалог спостерігача (керівника) і виконавця робіт. Мета – не покарання працівника, який працює небезпечно, а коригування його поведінки, формування і розвиток у нього принципів безпечної поведінки. Також стратегія проведення ВПБ передбачає привернення уваги керівників до робітників, які працюють з дотриманням вимог безпеки, дякувати їм за це і, таким чином, підтримувати і надалі розвивати в них звичку безпечної поведінки. Таким чином, через когнітивні процеси відбувається поступове, але стійке підвищення рівня безпеки працівників.

Як відомо, зараз людство переживає четверту промислову революцію. У її основу лягли автоматизація, штучний інтелект, біотехнології, інтернет речей тощо. Безумовно, все це торкнулося і сфери охорони праці. Найбільш затребуваними інформаційними технологіями у сфері охорони праці є забезпечення доступу до важливої інформації; застосування інтелектуальних систем попередження та оповіщення; безперервне дистанційне навчання. Впровадження інформаційних інтелектуальних систем для профілактики і контролю процесів, пов'язаних з вимогами охорони праці, промислової безпеки та охорони навколишнього середовища, дозволяє виявляти ризики та будувати аналітичні стратегії їх запобігання [13]. Сучасні інформаційні системи оповіщення дозволяють спостерігати за

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

дотриманням правил, що значною мірою знижує ризик травматизму на виробництві.

Однак найбільш ефективні дії з управління людським чинником можливі лише на перетині цих трьох напрямків [14], коли поєднують традиційні підходи до забезпечення безпеки працівника (ергономічні методи) з сучасними досягненнями (інформаційні і когнітивні технології).

Мета роботи

Таким чином, не дивлячись на значні досягнення у питаннях забезпечення безпеки працівника, **проблема управління виробничою безпекою** на сьогодні залишається актуальною. Проте її **невирішеною частиною** є питання визначення ролі людського чинника у системі управління виробничою безпекою. Її вирішення дозволить через врахування індивідуальних особливостей працівника перейти від поняття «рівень загальної безпеки працівників» до поняття «індивідуальна безпека працівника», оскільки у більшості випадків безпека залежить не від колективних, а від індивідуальних рішень людини. Отже **метою роботою** є дослідження й аналіз ролі людського чинника в управлінні виробничою безпекою.

Виклад основного матеріалу

Очевидно, що проблема безпеки виробництва набагато глибша і знаходиться на перетині площин соціальної та індивідуальної свідомості, психології учасників, соціальної та індивідуальної поведінки та індивідуальних психофізіологічних особливостей людини (рис. 1).

Рис. 1 – Багатоаспектність проблематики людського чинника

Ризикована поведінка людини є багатофакторним та мало прогнозованим явищем, що виникає з багатьох причин. Найбільш значущою є критичне зростання психоемоційного й інформаційного навантаження на людину в системі виробничих відносин, що призводить до сумарного ефекту порушення індивідуальних механізмів стресової адаптації людини та її неадекватної адаптивно-компенсаторної поведінки в стані стресу. У цьому зв'язку необхідно враховувати психофізіологічні особливості людей, що приймають рішення в системі «людина-техніка-середовище». Системні причини небезпечної або ризикованої поведінки людини знаходяться на перетині площин поінформованості людей, їхнього бажання використовувати існуючу інформацію та психофізіологічних і психологічних особливостей. Відповідно і засоби їх регулювання потрібно вибирати з урахуванням особливостей цих впливів. Доведено, що підвищення виробничої безпеки базується на програмуванні моделі безпечної поведінки людини в мінливому виробничому середовищі, що можна проілюструвати за допомогою модифікованої піраміди Хайнриха (рис. 2) [15].

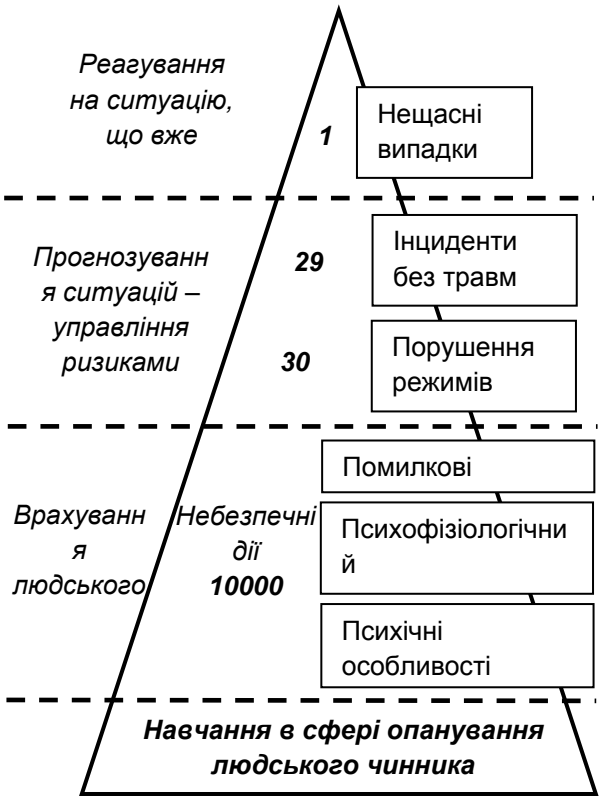


Рис. 2 – Модифікована піраміда Хайнриха

Згідно представленої на рисунку піраміди, основою для створення безпечних умов діяльності є опанування працівниками поняття «людський чинник» і його важливості для забезпечення індивідуальної безпеки. Це дозволяє, згідно статистичних даних, підвищити ефективність автоматизованих виробництв на 10-20%, знизити плинність кадрів на 5-10%, скоротити час навчання складним професіям на 15-30%. У подальшому

врахування людського чинника у питаннях безпеки дозволить підвищити ефективність прогнозування виникнення небезпечних подій, а вже на підставі цього пропонувати найбільш ефективні заходи щодо забезпечення безпеки на виробництві.

Підходи до вирішення проблем безпеки шляхом управління людським чинником. Відомо, що основною проблемою є свідоме немотивоване порушення існуючих інструкцій і правил з безпеки. Тому сьогодні актуальним є підхід, що розглядає безпеку як «стан середовища» професійної діяльності. Такий підхід передбачає врахування людської індивідуальності (функціонального стану та здоров'я, мотивів та моделей поведінки тощо) на усіх етапах життєвого циклу виробництва. Тобто формування безпечної моделі поведінки людини на виробництві здійснюється на підставі врахування психофізіологічних ризиків і включає такі елементи:

1) прогресивне зменшення впливу людського чинника шляхом передачі частини функцій від людини оператора до систем штучного інтелекту;

2) розробка і впровадження інтегрованих систем підтримки прийняття рішень;

3) оптимізація впливу людського чинника на безпеку через удосконалення і розвиток системи професійної підготовки, що дозволяє створити підґрунтя для розвитку такого поняття, як культура безпеки.

Формування культури безпеки базується на:

1) розробці логіки мотивації і прийняття рішення;

2) розумінні динаміки функціонального стану людини і його психофізіологічних можливостей і обмежень;

3) створенні умов для безперервного навчання і одержання нового досвіду.

Нажаль, на сьогодні в Україні низький рівень культури безпеки серед працівників, проявом і свідченням чого є неувага працівників до стану індивідуального здоров'я. Основний пріоритет сучасного працівника – це збереження робочого місця за будь-яких умов, тому всі інші питання, у тому числі безпека і здоров'я, мають другорядне значення. Через це в Україні рівень травматизму і профзахворюваності з року в рік знижується повільно. Також суттєву роль у процесі формування культури безпеки у працівників грають роботодавці, які через застосування механізмів професійного навчання і соціальної пропаганди мають заохочувати працівників вчитися контролювати індивідуальний рівень безпеки. І цей факт також є причиною низьких темпів підвищення безпеки на виробництві порівняно, наприклад, з країнами Західної Європи, де вже повноцінно працює стандарт ISO 45001 (Health & Safety) «Система менеджменту охорони здоров'я й безпеки праці», що забезпечує безпеку і збереження здоров'я працівників на максимально високому рівні, який на сьогодні можна досягти.

Також одним із системних кроків з підвищення безпеки у виробничому середовищі за рахунок впливу на людський чинник є впровадження у систему навчання при підвищенні кваліфікації працівників виробництв курсу «Людський чинник на виробництві». Метою у цьому випадку є підвищення ефективності, безпечності та надійності діяльності людини у виробничій системі за рахунок розуміння зв'язку між станом людини, його психофізіологічними особливостями та поведінкою, розуміння індивідуальності працівника як першоджерела проблем безпеки на виробництві.

Орієнтовна програма курсу-тренінгу «Людський чинник у виробництві» повинна включати:

1) людський чинник: проблема надійності, стійкості й ефективності діяльності і прийняття рішення людиною в системі «людина-техніка»; принципи діяльності людини в системі «людина-техніка-середовище»;

2) загальне поняття про функціональний стан людини, психічні властивості та процеси, що лежать в основі «людського чинника», з погляду сучасної нейроергономіки;

3) психофізіологічне підґрунтя феномену людського чинника;

4) проблему помилок людини-виконавця та їх попередження;

5) проблему прийняття рішень, в основі яких когнітивні викривлення, моделі та мотиви поведінки;

6) питання мотивації та само мотивації, лідерства та роботі в команді.

Особлива увага також повинна приділятися практичним питанням поведінки людини в стресових умовах, що дає можливість слухачам краще зрозуміти інших учасників системи «людина-техніка-середовище»: аналіз психічної структури особистості: реагування в конфліктній ситуації, комунікабельність, темперамент, стресостійкість; аналіз мотиваційної спрямованості особистості; лідерство; питання здоров'я персоналу, технології підтримки та покращення здоров'я.

На сьогодні вже отримано перший позитивний досвід викладання навчальної дисципліни «Інженерія людського чинника» у рамках програми підготовки магістрів у Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» за інженерними спеціальностями «Прикладна механіка», «Галузеве машинобудування», «Авіаційна та ракетно-космічна техніка», «Електроенергетика, електротехніка та електромережі», «Енергетичне машинобудування», «Теплоенергетика», «Авіаційний транспорт», «Автомобільний транспорт»».

Висновки

Безпека технологій та обладнання, безпека діяльності людини у цьому середовищі – ознака

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

найвищої кваліфікації людини, яка є частиною будь-якого етапу життєвого циклу виробництва. Уміння запобігти ризикам, мінімізувати їх наслідки, пов'язані із людським чинником, це сьогодні одна з найсуттєвіших професійних навичок. Це обґрунтовано тим, що сучасні технології та обладнання самі по собі не гарантують безпеки людині, а навіть інколи і навпаки – обладнання з високим рівнем забезпечення безпеки викликає у працівника помилкове відчуття захищеності, що підвищує ризик, якщо не враховувати особливості природи людського чинника. Тобто актуальним є акцент на питання навчання людини на усіх етапах життєвого циклу виробництва.

Головним результатом має стати розробка індивідуального підходу до формування навичок і вмінь людини, що приймає рішення у виробничому середовищі з урахуванням своїх властивостей, формування культури безпечного функціонування у виробничому середовищі. Таким чином, буде створена можливість оптимізувати організацію навчального процесу в межах концепції індивідуалізації.

Список літератури

1. Мигаль Г. В. Управление безопасностью: психофизиологические аспекты. *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. 2015. Вып. 70. С. 216-225.
2. Мигаль Г. В., Протасенко О. Ф. Інженерія людського чинника в сучасній освіті. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* 2019. Том 30 (69), № 6. С. 1-6. doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/01.
3. Dul Jan, Bruder Ralph. A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics.* 2012. Vol. 55, No. 4. P. 377-395. doi: 10.1080/00140139.2012.661087.
4. Saward Justin R. E., Stanton Neville A. Individual latent error detection: Simply stop, look and listen. *Safety Science*. 2018. Vol. 101. P. 305-312. doi: 10.1016/j.ssci.2017. 09.023.
5. Стандарты ISO. URL: https://www.iso.org/ru/popular-standards.html (дата звернення: 21.02.2020).
6. Wilson John R. Fundamentals of systems ergonomics/human factors. *Applied Ergonomics.* 2014. Vol. 45, Issue 1. P. 5-13. doi: 10.1016/j.apergo.2013.03.021.
7. Stevens Ronald H., Galloway Trysha L., Willemsen-Dunlap Ann. Neuroergonomics: quantitative modeling of individual, shared, and team neurodynamic information. *Human Factors.* 2018. Vol. 60, No. 7. P. 1022-1034. doi: 10.1177/0018720818781623.
8. Hsiao Hongwei, Chang Joonho, Simeonov Peter. Preventing emergency vehicle crashes: status and challenges of human factors issues. *Human Factors.* 2018. Vol. 60, No. 7. P. 1048-1072. doi: 10.1177/0018720818786132.
9. Cornelius Adrian Marinescu, Sharples Sarah, Ritchie Alastair Campbell, López Tomas Sánchez, McDowell Michael, Morvan Hervé P. Physiological parameter response to variation of mental workload. *Human Factors.* 2018. Vol. 60, No. 1. P. 31-56. doi: 10.1177/0018720817733101.
10. Kapkın Engin, Joines Sharon. An investigation into the relationship between product form and perceived meanings. *International Journal of Industrial Ergonomics.* 2018. Vol. 67. P. 259-273. doi: 10.1016/j.ergon.2018.05.009.
11. Hancock P.A., Drury, C.G. Does human factors/ergonomics contribute to the quality of life? *Theoretical Issues in Ergonomics Science.* 2011. Vol. 12, No. 5. P. 416–426. doi: 10.1080/1464536X.2011.559293.
12. Young Mark S., Brookhuis Karel A., Wickens Christopher D., Hancock Peter A. State of science: mental workload in ergonomics. *Ergonomics.* 2015. Vol. 58. P. 1-17. doi: 10.1080/00140139.2014.956151.
13. Alberdi Ane, Aztiria Asier, Basarab Adrian, Cook Diane J. Using smart offices to predict occupational stress. *International Journal of Industrial Ergonomics.* 2018. Vol. 67. P. 13-26. doi: 10.1016/j.ergon.2018.04.005.
14. Протасенко, О. Ф., Мигаль Г. В. Нові поняття сучасної ергономіки. *Открытые информационные и компьютерные технологии.* 2018. Вип. 79. С. 162-171.
15. Marshall, Pablo, Hirmas Alejandro, Singer Marcos. Heinrich's pyramid and occupational safety: a statistical validation methodology. *Safety Science.* 2018. Vol. 101. P. 180-189. doi: 10.1016/j.ssci.2017.09.005.

References (transliterated)

1. Mygal G. V. Upravlenie bezopasnost`yu: psikhofiziologicheskie aspekty [Safety Management: Psychophysiological Aspects]. *Otkrytye informaczionnye i kompyuternye integrirovannye tekhnologii*, 2015, 70, pp. 216-225.
2. Mygal G. V., Protasenko O. F. Inzheneriya lyudskogo chinnika v suchasniy osviti [Human factor engineering in modern education]. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, 2019, 30 (69), pp. 1-6, doi: 10.32838/2663-5941/2019.6-1/01.
3. Dul Jan, Bruder Ralph. A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics*, 2012, 55 (4), pp. 377-395, doi: 10.1080/00140139.2012.661087.
4. Saward Justin R. E., Stanton Neville A. Individual latent error detection: Simply stop, look and listen. *Safety Science*, 2018, Vol. 101, pp. 305-312, doi: 10.1016/j.ssci.2017.09.023.
5. Standarts ISO. Available at: https://www.iso.org/ru/popular-standards.html (accessed 21.02.2020).
6. Wilson John R. Fundamentals of systems ergonomics/human factors. *Applied Ergonomics,* 2014, 45 (1), pp. 5-13, doi: 10.1016/j.apergo.2013.03.021.
7. Stevens Ronald H., Galloway Trysha L., Willemsen-Dunlap Ann. Neuroergonomics: quantitative modeling of individual, shared, and team neurodynamic information. *Human Factors,* 2018, 60 (7), pp. 1022-1034. doi: 10.1177/0018720818781623.
8. Hsiao Hongwei, Chang Joonho, Simeonov Peter. Preventing emergency vehicle crashes: status and challenges of human factors issues. *Human Factors,* 2018, 60 (7), pp. 1048-1072. doi: 10.1177/0018720818786132.
9. Cornelius Adrian Marinescu, Sharples Sarah, Ritchie Alastair Campbell, López Tomas Sánchez, McDowell Michael, Morvan Hervé P. Physiological parameter response to variation of mental workload. *Human Factors,* 2018, 60 (1), pp. 31-56, doi: 10.1177/0018720817733101.
10. Kapkın Engin, Joines Sharon. An investigation into the relationship between product form and perceived meanings. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2018, Vol. 67, pp. 259-273, doi: 10.1016/j.ergon.2018.05.009.

11. Hancock P.A., Drury, C.G. Does human factors/ergonomics contribute to the quality of life? *Theoretical Issues in Ergonomics Science,* 2011, Vol. 12, no. 5, pp. 416–426, doi: 10.1080/1464536X.2011.559293.
12. Young Mark S., Brookhuis Karel A., Wickens Christopher D., Hancock Peter A. State of science: mental workload in ergonomics. *Ergonomics,* 2015, Vol. 58, pp. 1-17, doi: 10.1080/00140139.2014.956151.
13. Alberdi Ane, Aztiria Asier, Basarab Adrian, Cook Diane J. Using smart offices to predict occupational stress. *International Journal of Industrial Ergonomics,* 2018, 67, pp. 13-26, doi: 10.1016/j.ergon.2018.04.005.
14. Protasenko O. F., Mygal G. V. Novi ponyattya suchasnoyi ergonomiki [New concepts of modern ergonomics]. *Otkrytye informaczionnye i kompyuternye integrirovannye tekhnologii,* 2018, 79, pp. 162-171.
15. Marshall Pablo, Hirmas Alejandro, Singer Marcos. Heinrich's pyramid and occupational safety: a statistical validation methodology. *Safety Science,* 2018, Vol. 101, pp. 180-189, doi: 10.1016/j.ssci.2017.09.005.

Сведения об авторах (About authors)

Мигаль Галина Валеріївна – доктор технічних наук, доцент, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», професор кафедри автомобілів та транспортної інфраструктури; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-9862-9338; e-mail: g.mygal@khai.edu.

Galina Mygal – Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Docent, The National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute» (KhAI), Professor, Department of Automobile and Transportation Infrastructure; Kharkiv, Ukraine; ORCID ID: 0000-0002-9862-9338; e-mail: g.mygal@khai.edu.

Протасенко Ольга Федорівна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, доцент кафедри природоохоронних технологій, екології та безпеки життєдіяльності; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-8203-5703; e-mail: olha.protasenko@hneu.net.

Olga Protasenko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Simon Kuznets Kharkov National University of Economics, Docent, Department of Environmental Technologies, Ecology and Safety of Vital Activity; Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-8203-5703; e-mail: olha.protasenko@hneu.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Мигаль Г. В., Протасенко О. Ф. Роль людського чинника в управлінні виробничою безпекою. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 60-65. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.08.

Please cite this article as:

Mygal G., Protasenko O. The role of human factor in manufacturing safety management. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1 (3), pp. 60-65, doi:10.20998/2413-4295.2020.03.08.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Мигаль Г. В., Протасенко О. Ф. Роль человеческого фактора в управлении производственной безопасностью. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 60-65. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.08.

АННОТАЦИЯ *В статье основное внимание уделено исследованию вопроса влияния человеческого фактора на уровень безопасности в условиях современного производства. Актуальность исследования обусловлена быстрым изменением принципов организации и работы производства, следствием чего является активное изменение требований к персоналу. В этом процессе на первый план выходят требования к индивидуальным характеристикам человека. На сегодня надежность и безопасность производственной системы напрямую связаны с человеческим фактором. В связи с этим исследование вопроса определения роли человеческого фактора в системе управления производственной безопасностью является основной целью работы. Для достижения поставленной цели проанализированы современные технологии по управлению человеческим фактором на производстве, на основании чего установлено, что наиболее эффективным подходом является сочетание традиционных способов обеспечения безопасности работника (эргономические методы) с современными достижениями (информационные и когнитивные технологии). Рассмотрено понятие «рискованное поведение» и определены системные причины его возникновения. Показано, что повышение производственной безопасности базируется на программировании модели безопасного поведения человека в производственной среде, что продемонстрировано с помощью модифицированной пирамиды Хайнриха. Обосновано, что учет человеческого фактора в вопросах безопасности позволяет повышать эффективность прогнозирования возникновения опасных событий и выбирать наиболее эффективные мероприятия по обеспечению безопасности на производстве. В качестве одного из практических мероприятий по управлению производственной безопасностью в работе предложено внедрять в систему обучения при повышении квалификации работников курса «Человеческий фактор на производстве». Имеющийся положительный опыт применения такого подхода подтверждает целесообразность введения данного мероприятия на предприятиях. На основании этого можно предположить, что дальнейшее развитие этого направления позволит разработать индивидуальный подход к формированию навыков и умений человека, принимающего решения в производственной среде.*

Ключевые слова: *человеческий фактор; индивидуальность; безопасность; управление; производство; эргономика*

Надійшла (received) 23.02.2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

УДК 615.47:616-07 doi:10.20998/2413-4295.2020.03.09

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОСТИ И ОРГАНИЗАЦИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛЯЦИИ УГЛЕВОДНОГО ОБМЕНА

Е. И. СОКОЛ[1], С. С. ЛАПТА[1*], С. И. ЛАПТА[2], О. И. СОЛОВЬЁВА[3]

[1] кафедра ПБМЭ, НТУ "ХПИ", Харьков, УКРАИНА
[2] кафедра физики, ХНПУ им.Сковороды, Харьков, УКРАИНА
[3] кафедра информационных технологий, ХНУВС им. І. Кожедуба, Харьков, УКРАИНА
[*]e-mail: stas69@ukr.net

АННОТАЦИЯ *Статья посвящена актуальному методологическому вопросу, представляющему и непосредственный практический интерес, выяснения сложности и организации физиологической системы регуляции углеводного обмена для выбора адекватного ее математического описания: в стохастическом или в детерминированном виде. Известно, что часто наблюдаемые нарушения в этой системе приводят к тяжелому эндокринологическому заболеванию – сахарному диабету. Наиболее распространенная его форма – сахарный диабет 2-го типа обладает длительным латентным периодом, когда в отсутствии лечения уже развиваются его поздние опасные сосудистые и неврологические осложнения. Радикально повысить уровень ранней диагностики латентного сахарного диабета на основе доступных для клинического измерения данных пациента на периферии оказалось возможным провести лишь с помощью соответствующей математической модели. В течение длительного времени фундаментальный вопрос о сложности и организации системы регуляции углеводного обмена решался интуитивно в детерминированном виде. Лишь в последнее время это решение было подвергнуто сомнению, и была предпринята попытка моделирования системы регуляции углеводного обмена в стохастическом виде, однако, без должного обоснования и без получения каких-либо конкретных результатов. При этом основания для разработки математической модели системы регуляции углеводного обмена в классе стохастических моделей очевидны. Любая сложная система в общем случае имеет вероятностный характер, используемые при ее параметрической идентификации экспериментальные данные также всегда содержат ошибки измерений, т. е., являются случайными величинами. В данной статье, используя общую методику анализа сложных систем Бира-Глушкова и известную точность измерения гликемии и инсулинемии, впервые проведено исследование сложности и организации физиологической системы регуляции углеводного обмена. Было показало, что эта система является очень сложной и детерминированной, что позволило в дальнейшем при моделировании динамики гликемии и инсулинемии в организме человека ограничиться аппаратом детерминированных дифференциальных уравнений.*
Ключевые слова: *сахарный диабет; гликемия; сложная система; детерминированность; математическая модель*

THE RESEARCH OF THE COMPLEXITY AND ORGANIZATION OF THE PHYSIOLOGICAL SYSTEM OF CARBOHYDRATE EXCHANGE REGULATION

E. SOKOL[1], S. LAPTA[1], S. LAPTA[2], O. SOLOVYOVA[3]

[1] Department of Industrial and Biomedical Electronics, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE
[2] Department of physics, Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, Kharkiv, UKRAINE
[3] Department of Information Technology, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT *The article is devoted to an actual methodological issue, that have also the direct practical interest, to clarify the complexity and organization of the physiological system of carbohydrate exchange regulation for selecting an adequate mathematical description of it in a stochastic or deterministic form. It is known that the frequently observed disturbances in this system lead to severe endocrinological disease – Diabetes mellitus. The most widespread form of it – the Diabetes mellitus type II has long latent period, at which, in the absence of treatment, the late dangerous vascular and nervous complications are already developing. To increase radically the level of early diagnostics of the latent Diabetes mellitus on the basis of available for the clinical measurement of the patient data on the periphery, it turned out to be possible only on the basis of the corresponding mathematical model. For a long time, the fundamental question of the complexity and organization of the system of carbohydrate metabolism regulation was solved intuitively in a deterministic form. Only recently this decision was questioned, and an attempt was made to model the carbohydrate exchange system regulation in a stochastic form, however, without proper justification and without obtaining any concrete results. At that, the bases for elaboration of the mathematical model of the system of carbohydrate exchange regulation in the class of stochastic models are obvious. Any complex system in general case is probabilistic in nature, the experimental data, used in its parametric identification, also always contain the measurement errors, that is, they are indeterminate variables. In this article, using the general method for the analysis of the complex Bir-Glushkov systems and the known exactness of glycemia and insulinemia measurings, for the first time the research of the complexity and organization of the physiological system of carbohydrate exchange regulation was carried out. It was shown that this system is very complex and deterministic, that*

© Е. И. СОКОЛ, С. С. ЛАПТА, С. И. ЛАПТА, О. И. СОЛОВЬЁВА, 2020

permitted, when modeling the glycemia and insulinemia dynamics in the human body, to limit by the apparatus of the determinated differential equations.
***Keywords**: Diabetes mellitus; glycemia; complex system; determinism; mathematical model*

Введение

Характерной особенностью современной медицины, получившей название доказательной и телемедицины, является ее все более тесная интеграция с точными техническими науками, развитие которых основано на применении математических расчетов и электронно-вычислительной техники. При этом в медицине постепенно, но неуклонно происходит процесс перехода от качественных показателей пациента и заболевания, от экспертной субъективной диагностики к объективной диагностике по количественным характеристикам, полученным с помощью медицинских приборов.

Идее определения значений внутренних параметров организма пациента, которые непосредственно необходимы для проведения диагностики и терапии, но недоступны для прямого измерения, уже более полувека. Для ее реализации было предложено построить и использовать физиологически адекватную математическую модель соответствующих процессов с параметрами, имеющими диагностический смысл, идентифицировать которую предполагалось по традиционным доступным клиническим данным пациента.

В связи с известными серьезными медико-социальными проблемами сахарного диабета (СД) [1], в настоящее время он исследован клинически и физиологически, по-видимому, глубже других заболеваний. Поэтому процессы регуляции углеводного обмена, нарушения в которых приводят к СД, оказались наиболее подготовленными к их описанию на языке математических моделей. За последние полвека номинально было предложено неподдающееся учету множество математических моделей и приложений, связанных с СД, частично отраженных в обзоре [2]. Однако их принципиальные недостатки обусловили актуальность проблемы построения физиологически адекватной математической модели системы регуляции углеводного обмена до сих пор.

Несмотря на большое множество предложенных до последнего времени математических моделей регуляции углеводного обмена действительно оригинальных, базовых среди них всего лишь несколько. Это эмпирическая фрагментарная модель Гревилля спадающего участка гликемической кривой внутривенного теста толерантности к глюкозе (ВТТГ) [3]. гипотетическая модель Болье для ПТТГ [4], несамосогласованная модель Бергмана ВТТГ [5] и наши эффективные универсальные модели [6,18-19]. Все эти принципиально отличные между собой модели по построению и по возможности практического клинического применения объединяет то, что все они построены интуитивно и априорно в классе детерминированных динамических моделей.

Лишь в последнее время появились попытки развития моделей системы регуляции углеводного обмена в стохастическом виде, однако, без убедительного обоснования и без получения каких-либо конкретных результатов [7,8]. Поэтому представляется необходимым провести математическое исследование сложности и организации физиологической системы регуляции углеводного обмена для выбора адекватного ее математического описания: в стохастическом или в детерминированном виде.

Цель работы

Цель данного исследования по выбору адекватного класса моделирования физиологической системы регуляции углеводного обмена согласно общей теории математического моделирования должна была быть поставлена давно, еще в первых работах в этом направлении. Ей должна предшествовать лишь постановка задачи и проведение экспериментов со статистической обработкой их результатов. В нашем случае апостериорного решения данного вопроса мы будем использовать известные клинические данные, полученные в дальнем зарубежье на совершенных анализаторах глюкозы и инсулина [5,9], которые являются единственными главными переменными состояния минимальной модели глюкозоинсулинового метаболизма. Для определения сложности и организации системы регуляции углеводного обмена нами будет применена методика Бира-Глушкова [10,11].

Изложение основного материала

Очевидным основанием для отмеченных выше попыток разработок математической модели системы регуляции углеводного обмена в классе стохастических моделей [7,8] является то, что любая сложная система в общем случае имеет вероятностный характер. Кроме того, используемые при ее параметрической идентификации экспериментальные (клинические) данные всегда содержат ошибки измерений, следовательно, являются случайными величинами.

Это является очевидным основанием для разработок интересующей нас математической модели системы регуляции углеводного обмена в классе стохастических моделей. Обычно стохастическая модель строится на основе

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

соответствующей детерминированной модели, введением в нее возможных внешних случайных аддитивных помех $\xi(t)$, связанных с ошибками измерений, и введением зависимости параметров модели от времени, что соответствует ранее неучтенным различным второстепенным внутренним неконтролируемым факторам, влияние которых следует рассматривать как случайное. Так поступили и авторы работ [7,8], опираясь на свое детерминированное уравнение, усложнив его настолько, что они не смогли закончить его анализ, не смотря на множество примененных формальных, нефизиологичных допущений.

При этом у нас возникли вопросы: чем обусловлена неудача введения стохастичности в свою детерминированную модель регуляции углеводного обмена авторами работ [7,8]: сложным громоздким аппаратом анализа стохастического дифференциального уравнения или очевидными недостатками самого детерминированного уравнения, положенного в основу моделирования. Еще более важный практический вопрос состоит в том: целесообразно ли и авторам других детерминированных моделей системы регуляции углеводного обмена, в частности нам, вводить в них элементы стохастичности или это излишне.

При этом необходимо учесть известное положение [11] о том, что выбор класса моделей, в котором следует строить математическую модель сложной системы, определяется в каждом конкретном случае наблюдаемым разбросом повторных экспериментальных значений измеряемой величины и точностью используемого измерительного прибора. Как известно из литературы [5,9], разброс значений повторных измерений уровня гликемии и инсулинемии у пациента при неизменных условиях исследования находится в пределах погрешности их измерения современными анализаторами в лучших исследовательских лабораториях мира в 0,1мг% (0,1 мг глюкозы на 100 мл крови) и 0,01мкЕд/мл инсулина (1 Ед инсулина равна 0,04 мг его), соответственно.

Следует заметить, что в отечественных клинических лабораториях, оснащенных, как правило, еще советским оборудованием, номинальная точность измерения гликемии составляет 5%, а инсулинемия не измеряется вовсе. Бытовые современные глюкометры, широко используемые пациентами с СД2, к сожалению, обладают пока еще меньшей точностью в 20%.

Для классификации сложных систем по степени сложности, на детерминированные, квазидетерминированные и вероятностные известна общая методика исследования Бира-Глушкова по значениям параметра H_m сложности [10] и параметра R организации [11] системы.

В случае одномерной дискретной переменной выхода системы (измеряемой величины y при постоянных внешних условиях) N значений измерений образуют ряд y_1, y_2, y_3, ..., y_N или с учетом возможной кратности m_i встречаемости значения y_i: y_1, y_2, y_3, ..., y_k. Здесь k – число различных полученных значений, зависящее от точности измерений Δy.

Если переменная y непрерывна, то при N измерениях с точностью Δy в интервале $y_{min} \le y \le y_{max}$ он разбивается k точками деления $y_i = y_{min} + (i - \frac{1}{2})\Delta y \quad (i = 1,2,3,\ldots,k)$, где k – целая часть от деления разности наибольшего и наименьшего значений y на точность их измерения Δy:

$$k = [(y_{max} - y_{min}) / \Delta y]. \qquad (1)$$

При этом кратность m_i встречаемости значения y_i – это число значений y, попадающих в интервал: $y_i - (\Delta y/2) \le y < y_i + (\Delta y/2)$.

Параметр С. Бира H_m [10], имеющий смысл величины максимально возможной неопределенности системы при оценке уровня ее организации по данной переменной, определяется выражением

$$H_m = \ln k. \qquad (2)$$

Для расчета параметра H_m максимальной неопределенности, характеризующей максимально возможную дезорганизацию системы, следует учитывать максимальное число всех в принципе наблюдаемых ее состояний не только при ее нормальном функционировании, но также и при отклонениях от него.

Второй параметр R В. Глушкова [11], смысл которого состоит в степени детерминированности системы, вводится по формуле:

$$R = 1 - H / H_m, \qquad (3)$$

где промежуточный параметр

$$H = -\sum_{i=1}^{k} \tilde{p}_i \ln \tilde{p}_i, \qquad (4)$$

имеет смысл текущей неопределенности уровня организации системы или энтропии [11];

Здесь

$$\hat{p}_i = m_i / N \qquad (5)$$

– относительная частота встречаемости повторно измеренного значения y_i.

По классификации С. Бира [10] системы с параметром H_m, принимающем значения от 0 до 3 относят к простым, в случае $3 < H_m < 6$ – к сложным, при $H_m > 6$ – к очень сложным. По параметру уровня организации R В. Глушкова [11] системы с $0{,}3 < R < 1$ являются детерминированными, при $0{,}1 < R < 0{,}3$ – квазидетерминированными и при $0 < R < 0{,}1$ – вероятностными. Совместное определение уровня сложности и организации системы проводится по классификационной диаграмме из работы [11] (рис. 1).

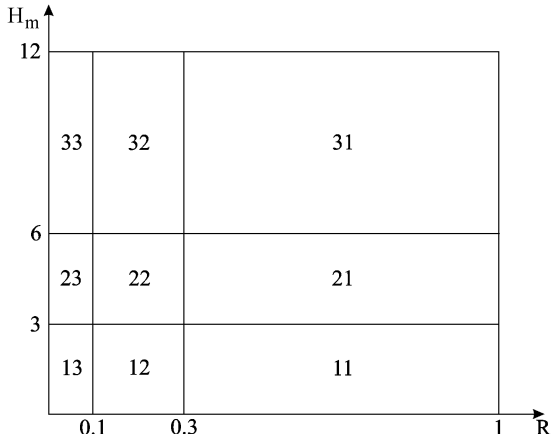


Рис. 1 – Классификационная диаграмма из работы [11]: 11 – простая детерминированная, 12 – простая квази-детерминированная, 13 – простая вероятностная система; 21 – сложная детерминированная, 22 – сложная квази-детерминированная, 23 – сложная вероятностная система; 31 – очень сложная детерминированная, 32 – очень сложная квази-детерминированная, 33 –очень сложная вероятностная система

Измеряемые уровни гликемии g и инсулинемии i являются непрерывными переменными, которые, в принципе, могут принимать любые значения в норме и в патологии в интервалах $50 \le g \le 500$ (мг%), $3 \le i \le 230$ (мк Ед / мл).

Возможная точность их измерения приводит к их дискретизации, откуда следует, что число различных, в принципе возможных, их значений равно: $k_g = 4500$ для гликемии и $k_i = 22700$ для инсулинемии. По этим значениям параметров k_g, k_i и формуле (2) были найдены значения параметров сложности системы регуляции углеводного обмена по гликемии: $H_m^g \approx 10{,}71$ и по инсулинемии: $H_m^i \approx 11{,}24$. Поэтому по классификации С. Бира (рис. 1) [10] эту систему следует классифицировать, как сложную.

Суммирование в формуле (4) проводится по всем значениям индекса i. Среди них встречаются такие, которым соответствуют значения переменной, отсутствующие в измеренных данных. Для них кратность этих значений $m_i = 0$.

Все остальные значения частот m_i, без ограничения общности, можно считать имеющими кратность единица. Соответствующие относительные частоты (5) равны:

$$\tilde{p}_i = \frac{1}{N}.$$

При $m_i = 0$ и $\tilde{p}_i = 0$, а также и произведения: $\tilde{p}_i \ln \tilde{p}_i = 0$. Поэтому суммирование в формуле (4) следует вести не от 1 до k, а от 1 до N:

$$H = -\sum_{i=1}^{N} \tilde{p}_i \ln \tilde{p}_i = -\frac{1}{N} N \ln \frac{1}{N} = \ln N. \qquad (6)$$

Для определения сложности и организации системы регуляции углеводного обмена по методике Бира-Глушкова были использованы литературные экспериментальные данные уровня гликемии и инсулинемии из работ [5, 9, 12-17]. Результаты расчетов по формулам (1) – (6) были сведены в табл.1.

Таблица 1 – Результаты вычислений значений параметра H_m Бира и параметра R Глушкова по экспериментальным значениям гликемии g и инсулинемии i ВТТГ (v) и ПТТГ (p).

v , p g , i	ВТТГ $N = 28$	ПТТГ $N = 22$
$50 \le g \le 500$ мг% Δg мг%	$H_m^{gv} \approx 10{,}71$; $R^{gv} \approx 0{,}69$	$H_m^{gp} \approx 10{,}71$ $R^{gp} \approx 0{,}71$
$3 \le i \le 230$ мкЕд / мл $\Delta i = 0{,}01$ мкЕд / мл	$H_m^{iv} \approx 11{,}24$; $R^{iv} \approx 0{,}70$	$H_m^{ip} \approx 11{,}24$ $R^{ip} \approx 0{,}72$

Обсуждение результатов

Как видно из результатов проведенного анализа, для физиологической системы регуляции углеводного обмена по литературным данным измерения уровня гликемии и инсулинемии при проведении ВТТГ и ПТТГ параметры С. Бира и В. Глушкова имеют значения в пределах: $H_m^{g,i} \approx 11$; $R^{g,i} \approx 0{,}70$. По классификационной диаграмме на рис.1 это значит, что эта система является очень сложной и детерминированной.

Физиологически этот вывод обусловлен тем, что данная система, как и большинство функциональных систем в организме человека, является гомеостатической. Гормонально-гуморальными средствами она обеспечивает

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

гомеостатические процессы установления равновесного состояния гликемии и инсулинемии, которые носят причинный или детерминированный характер.

Следовательно, при математическом моделировании физиологической системы регуляции углеводного обмена можно ограничиться детерминированным ее описанием. При этом динамический характер функционирования данной системы и необходимость описания причинно-следственных связей между ее переменными требуют привлечения аппарата дифференциальных уравнений.

Предпринятые в работах [7,8] попытки моделирования системы регуляции углеводного обмена в классе стохастических дифференциальных уравнений следует признать излишними.

Выводы

Впервые проведено исследование сложности и организации физиологической системы регуляции углеводного обмена по общей методике Бира-Глушкова. Показало, что эта система является очень сложной и детерминированной. Поэтому, несмотря на кажущийся ее стохастический характер и предполагаемую необходимость ее моделирования в классе стохастических дифференциальных уравнений, проведенное в данной статье исследование обосновало возможность при ее описании ограничиться более простым и эффективным аппаратом детерминированных дифференциальных уравнений. По-видимому, аналогичные выводы о сложности, организации и детерминированности можно сделать и о других физиологических системах организма человека, имеющих гомеостатический характер.

Построение физиологически адекватных моделей системы регуляции углеводного обмена в виде дифференциального уравнения 1-го порядка и системы таких уравнений, выходящее за рамки данной статьи, было описано в наших работах [6,18,19].

Список литературы

1. Кроненберг Г. М., Мелмед Ш., Полонски К. С. *Сахарный диабет и нарушения углеводного обмена*. М.: Рид Элсивер, 2010. 437 с.
2. Palumbo P., Ditlevsen S., Bertuzzi A., De Gaetano A. Mathematical modeling of the glucose insulin system: a review. *Math. Biosci*. 2013. 244 (2). 69–81. doi: 10.1016/j.mbs.2013.05.006.
3. Greville G. D. The intravenous glucose tolerance equation. *Biochem. J.* 1943. Vol. 37. P. 17-23. doi: 10.1042/bj0370017.
4. Bolie V. W. Coefficients of normal blood glucose regulation. *J. Appl. Physiol*. 1961. Vol.16. P. 783-8. doi: 10.1152/jappl.1961.16.5.783.
5. Bergman R. N., Ider Y. Z., Bowden C. R., Cobelli C. Quantitative estimation of insulin sensitivity. *Am. J. Physiol*. 1979. V. 236. P. E667-E677. doi: 10.1152/ajpendo.1979.236.6.E667.
6. Лапта С. И., Лапта С. С., Соловьева О. И. *Функционально-структурное математическое моделирование сложных гомеостатических систем*: моногр. Харьков: Изд. ХНЭУ, 2009. 332 с.
7. Picchmi U., Ditlevsen S., De Gaetano A. Modeling the euglycemic hyperinsulinemic clamp by stochastic differential equations. *J. Math. Biol*. 2006. 53. 5. P. 771. doi: 10.1007/s00285-006-0032-z.
8. Picchmi U., Ditlevsen S., De Gaetano A. Maximum likelihood estimation of a time-inhomogeneous stochastic differential model of glucose dynamics. *Math. Med. Biol*. 2008. 25. P. 141. doi: 10.1093/imammb/dqn011.
9. Breda E., Cavaghan V. K., Toffolo G., Polonsky K. S., Cobelli C. Oral Glucose Tolerance Test Minimal Model Indexes of β-Cell Function and Insulin Sensitivity. *Diabetes*. 2001. Vol. 50. P. 150-158. doi: 10.2337/diabetes.50.1.150.
10. Бир С. *Кибернетика и управление производством*: Пер. с англ. М.: ИЛ, 1963. 275 с.
11. *Методы математической биологии. Книга 1. Общие методы анализа биологических систем*: Учеб. пособие для вузов. Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1980. 240 с.
12. Salinari, S., Mingrone, G., Bertuzzi, A., Capristo, E., Rubino, F. Downregulation of Insulin Sensitivity After Oral Glucose Administration: Evidence for the Anti-Incretin Effect. *Diabetes*. 2017. V.66. P. 2756-2763. doi: 10.2337/db17-0234.
13. Schauer P. R., Mingrone G., Ikramuddin S., Wolfe B. Clinical outcomes of metabolic surgery: efficacy of glycemic control, weight loss, and remission of diabetes. *Diabetes Care*. 2016. 39. P. 902-911. doi: 10.2337/dc16-0382.
14. Dalla Man C., Caumo A., Basu R., Rizza R., Toffolo G., Cobelli C. Minimal model estimation of glucose absorption and insulin sensitivity from oral test: validation with a tracer method. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 2004. 287. P. E637-E643. doi: 10.1152/ajpendo.00319.2003.
15. Breda E., Cavaghan M. K., Toffolo G., Polonsky K. S., Cobelli C. Oral glucose tolerance test minimal model indexes of beta-cell function and insulin sensitivity. *Diabetes.* 2001. 50. P. 150-158. doi: 10.2337/diabetes.50.1.150.
16. Dalla Man C., Yarasheski K. E., Caumo A., et al. Insulin sensitivity by oral glucose minimal models: validation against clamp. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 2005. 289. P. E954-E959. doi: 10.1152/ajpendo.00076.2005.
17. Salinari S., Bertuzzi A., Asnaghi S., Guidone C., Manco M., Mingrone G. First-phase insulin secretion restoration and differential response to glucose load depending on the route of administration in type 2 diabetic subjects after bariatric surgery. *Diabetes Care.* 2009. 32. P. 375-380. doi: 10.2337/dc08-1314.
18. Sokol Y., Lapta S., Chmykhova O., Solovyova O., Karachntsev I., Kravchun N., Goncharova O. The Negative Feedback Connection in the Homeostatic System of Carbohydrate Exchange Regulation. *In 2018 IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO) (April 2018)*, 2018. pp. 235-238. doi: 10.1109/ELNANO.2018.8477505.
19. Sokol Y., Lapta S., Chmykhova O., Solovyova O., Goncharova O. Diagnostic biotechnical system of the quantitative diagnostics of malabsorption. *2017 IEEE 37th*

International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2017. P. 255-258. doi: 10.1109/ELNANO.2017.7939758.

References (transliterated)

1. Kronenberg G. M., Melmed Sh., Polonski K. S. *Saharnyj diabet i narusheniya uglevodnogo obmena*: M., Rid Elsiver, 2010. 437 p.
2. Palumbo P., Ditlevsen S., Bertuzzi A., De Gaetano A. Mathematical modeling of the glucose insulin system: a review, *Math. Biosci*., 2013, 244, 2, 69-81, doi: 10.1016/j.mbs.2013.05.006.
3. Greville G. D. The intravenous glucose tolerance equation. *Biochem. J*., 1943, Vol. 37, P. 17-23, doi: 10.1042/bj0370017..
4. Bolie V. W. Coefficients of normal blood glucose regulation. *J. Appl. Physiol.*, 1961, Vol. 16, P. 783-8, doi: 10.1152/jappl.1961.16.5.783.
5. Bergman R. N., Ider Y. Z., Bowden C. R., Cobelli C. Quantitative estimation of insulin sensitivity., *Am. J. Physiol.*, 1979, V. 236, P. E667-E677, doi: 10.1152/ajpendo.1979.236.6.E667.
6. Lapta S. I., Lapta S. S., Soloveva O. I. *Funkcionalno-strukturnoe matematicheskoe modelirovanie slozhnyh gomeostaticheskih sistem*: monografiya, Harkov, Izd. HNEU, 2009, 332 p.
7. Picchmi U., Ditlevsen S., De Gaetano A. Modeling the euglycemic hyperinsulinemic clamp by stochastic differential equations. *J. Math. Biol.*, 2006, 53, 5, P. 771, doi: 10.1007/s00285-006-0032-z.
8. Picchmi U., Ditlevsen S., De Gaetano A. Maximum likelihood estimation of a time-inhomogeneous stochastic differential model of glucose dynamics. *Math. Med. Biol.*, 2008, 25, P. 141, doi: 10.1093/imammb/dqn011.
9. Breda E., Cavaghan V.K., Toffolo G., Polonsky K. S., Cobelli C. Oral Glucose Tolerance Test Minimal Model Indexes of β-Cell Function and Insulin Sensitivity. *Diabetes*, 2001, Vol. 50, P. 150-158, doi: 10.2337/diabetes.50.1.150.
10. Bir S. *Kibernetika i upravlenie proizvodstvom*. M., IL, 1963, 275 p.
11. *Metody matematicheskoj biologii. Kniga 1. Obshie metody analiza biologicheskih sistem: Ucheb. posobie dlya vuzov*. Kiev, Visha shkola. Golovnoe izd-vo, 1980. 240 p.
12. Salinari S., Mingrone G., Bertuzzi, A., Capristo E., Rubino F. Downregulation of Insulin Sensitivity After Oral Glucose Administration: Evidence for the Anti-Incretin Effect. *Diabetes*, 2017, V.66, P. 2756-2763, doi: 10.2337/db17-0234.
13. Schauer P. R., Mingrone G., Ikramuddin S., Wolfe B. Clinical outcomes of metabolic surgery: efficacy of glycemic control, weight loss, and remission of diabetes. *Diabetes Care*, 2016, 39, P. 902-911, doi: 10.2337/dc16-0382.
14. Dalla Man C., Caumo A., Basu R., Rizza R., Toffolo G., Cobelli C. Minimal model estimation of glucose absorption and insulin sensitivity from oral test: validation with a tracer method. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 2004, 287, P. E637-E643, doi: 10.1152/ajpendo.00319.2003.
15. Breda E., Cavaghan M. K., Toffolo G., Polonsky K. S., Cobelli C. Oral glucose tolerance test minimal model indexes of beta-cell function and insulin sensitivity. *Diabetes*, 2001, 50, P. 150-158, doi: 10.2337/diabetes.50.1.150.
16. Dalla Man C., Yarasheski K. E., Caumo A., et al. Insulin sensitivity by oral glucose minimal models: validation against clamp. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 2005, 289, P. E954-E959, doi: 10.1152/ajpendo.00076.2005.
17. Salinari S., Bertuzzi A., Asnaghi S., Guidone C., Manco M., Mingrone G. First-phase insulin secretion restoration and differential response to glucose load depending on the route of administration in type 2 diabetic subjects after bariatric surgery. *Diabetes Care*, 2009, 32, P. 375-380, doi: 10.2337/dc08-1314.
18. Sokol Y., Lapta S., Chmykhova O., Solovyova O., Karachntsev I., Kravchun N. and Goncharova O. The Negative Feedback Connection in the Homeostatic System of Carbohydrate Exchange Regulation. *In 2018 IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO) (April 2018).* 2018, pp. 235-238, doi: 10.1109/ELNANO.2018.8477505.
19. Sokol Y., Lapta S., Chmykhova O., Solovyova O., Goncharova O. Diagnostic biotechnical system of the quantitative diagnostics of malabsorption. *2017 IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO),* 2017, P. 255-258, doi: 10.1109/ELNANO.2017.7939758.

Сведения об авторах (About authors)

Сокол Евгений Иванович – д-р техн. наук, проф., ректор НТУ "ХПИ", г. Харьков, Украина; ORCID: 0000-0002-5278-9272; e-mail: sokol@kpi.kharkov.ua.

Yevgen Sokol – Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-5278-9272; e-mail: sokol@kpi.kharkov.ua.

Лапта Станислав Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, преподаватель-стажёр кафедры промышленной и биомедицинской электроники НТУ "ХПИ"; г. Харьков, Украина; ORCID: 0000-0002-0738-572X; e-mail: stas69@ukr.net.

Stanislav Lapta – Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor, Department of Industrial and Biomedical Electronics, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-0738-572X; e-mail: stas69@ukr.net.

Лапта Сергей Иванович – д-р техн. наук, проф., профессор кафедры физики Харьковского национального педагогического университета им. Г. Сковороды; г. Харьков, Украина; ORCID: 0000-0003-3906-7248; e-mail: sergey_lapta@ukr.net.

Sergey Lapta – Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor, Department of physics, Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-3906-7248; e-mail: sergey_lapta@ukr.net.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Соловьева Ольга Игоревна **–** к.т.н., Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, заведующий кафедрой информационных технологий, г. Харьков, Украина; ORCID: 0000-0003-4403-9532; e-mail: olga01@ukr.net.

Olga Solovyova **–** PhD in Technical Sciences, Head of Department Information Technology, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, ORCID: 0000-0003-4403-9532; e-mail: olga01@ukr.net.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Сокол Е. И., Лапта С. С., Лапта С. И., Соловьёва О. И. Исследование сложности и организации физиологической системы регуляции углеводного обмена. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 66-72. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.09.

Please cite this article as:

Sokol E., Lapta S., Lapta S., Solovyova O. Research of complexity and organization of the physiological system of carbohydrate exchange regulation. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1 (3), pp. 66-72, doi:10.20998/2413-4295.2020.03.09.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Сокол Є. І., Лапта С. С., Лапта С. І., Соловйова О. І. Дослідження складності і організації фізіологічної системи регулювання вуглеводного обміну. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 66-72. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.09.

АНОТАЦІЯ *Стаття присвячена актуальному методологічному питанню, яке має безпосередній практичний інтерес, з'ясуванню складності і організації фізіологічної системи регуляції вуглеводного обміну для вибору адекватного її математичного опису: в стохастичному або в детермінованому вигляді. Відомо, що часто спостерігаються порушення в цій системі, які призводять до важкого ендокринологічного захворювання - цукрового діабету. Найбільш поширена його форма - цукровий діабет 2-го типу має тривалий латентний період, коли в відсутності лікування вже розвиваються його пізні небезпечні судинні та нервові ускладнення. Радикально підвищити рівень ранньої діагностики латентного цукрового діабету на основі доступних для клінічного виміру даних пацієнта на периферії виявилося можливим лише на основі відповідної математичної моделі. Протягом тривалого часу фундаментальне питання про складність і організацію системи регуляції вуглеводного обміну вирішувалося інтуїтивно в детермінованому вигляді. Лише останнім часом це рішення було поставлене під сумнів, і була зроблена спроба моделювання системи регуляції вуглеводного обміну в стохастичною вигляді, проте, без належного обґрунтування і без отримання будь-яких конкретних результатів. При цьому підстави для розробки математичної моделі системи регуляції вуглеводного обміну в класі стохастичних моделей очевидні. Будь-яка складна система в загальному випадку має ймовірносний характер. Експериментальні дані, які використовуються при її параметричній ідентифікації, також завжди містять похибки вимірювань, тобто є стохастичними. У даній статті на основі загальної методики аналізу складних систем Біра-Глушкова, враховуючи точність вимірювання глікемії і інсулінемії, вперше проведено дослідження складності і організації фізіологічної системи регуляції вуглеводного обміну. Було показало, що ця система є дуже складною і детермінованою, що дозволило при моделюванні динаміки глікемії і інсулінемії в організмі людини обмежитися апаратом детермінованих диференціальних рівнянь.*

Ключові слова: *цукровий діабет; глікемія; складна система; детермінованість; математична модель*

Поступила (received) 02.02.2020

УДК 65.012.3 doi:10.20998/2413-4295.2020.03.10

ДЕКОМПОЗИЦІЯ ПРОСТОРУ ПАРАМЕТРІВ УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ СИСТЕМАМИ

І. І. СТАНОВСЬКА[1*], О. Л. СТАНОВСЬКИЙ[2], Є. О. НАУМЕНКО[2]

[1]кафедра вищої математики та моделювання систем, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА
[2]кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА
**e-mail: stanovskairaida@gmail.com*

АНОТАЦІЯ *В управлінні складними системами часто зустрічаються випадки, коли в усіх відношеннях якісно спланований і забезпечений усіма необхідними ресурсами життєвий цикл системи через виникаючи кризи був тимчасово зупинений або навіть припинений взагалі. До таких систем можуть бути віднесені будь-які технічні пристрої та процеси, складні медичні втручання із багатьма внутрішніми параметрами та зовнішніми зв'язками. Складними системами за тими ж ознаками є організаційні проекти та процеси проектного управління, які супроводжуються неминучими кризами. Це пов'язано із використанням застарілих підходів в осмисленні процесів антикризового управління проектами, які при цьому протікають, відсутності ефективних методів оцінювання джерел небезпек, які загрожують проектній діяльності та поточному стану її параметрів, – фактично, результату управління. Не маючи достовірних даних про такі результати, менеджер проекту не в змозі точно розрахувати управляючий вплив на об'єкт, а отже організувати таке управління в проактивному режимі. З аналізу управління складними системами випливає, що і турбулентне середовище не дозволяє повністю підтримувати заплановані на початку проекту структуру та параметри управлінських дій. Однак не тільки середовище негативно впливає на дрейф параметрів управління. Цьому ефективно сприяють і внутрішні проблеми, які постійно уводять ці параметри від планових значень. Це породжує кризові ситуації, які загрожують проекту і постійно спонукають до початку додаткової фази проектного управління: антикризових заходів з попередження та протидії таким загрозам. Встановлені основні завдання подальших досліджень в цьому напрямку і, в першу чергу, врахування особливостей механізму, за яким розвивається проект після початку його реалізації. У зв'язку з цим все більшого поширення набуває так зване антикризове управління, яке має значно більші можливості по ідентифікації і протидії кризам. Загальний простір параметрів такого управління складною системою було умовно розділено на дві частини: планову та антикризову. Розроблено метод підготовки параметрів складної системи та кризи до прийняття антикризових рішень. Метод складається в декомпозиції параметрів системи і організації моніторингу за перебуванням значень цих параметрів в межах допуску із подальшим переміщенням до кризового репозитарію параметрів, які за ці межі вийшли.*

Ключові слова*: складні системи; антикризове управління; декомпозиція параметрів; моніторинг; репозитарій кризових артефактів*

SPACE DECOMPOSITION OF COMPLEX SYSTEMS CONTROL PARAMETERS

I. STANOVSKA[1], O. STANOVSKYI[2], Y. NAUMENKO[2]

[1] Department of Higher Mathematics and Systems Modeling, Odessa National Polytechnic University, Odesa, UKRAINE
[2] Department of Petroleum and Chemical Engineering, Odessa National Polytechnic University, Odesa, UKRAINE

ABSTRACT *In the management of complex systems, there are often cases in which in all respects the life cycle of the system in a qualitatively planned and provided with all necessary resources was temporarily suspended or even terminated altogether due to a crisis. Such systems may include any technical device or process, complex medical loss with many internal parameters and external connections. Complex systems on the same lines are organizational projects and project management processes, which are accompanied by inevitable crises. This is due to the use of outdated approaches in understanding the ongoing project management crisis processes, the lack of effective methods of assessing the sources of hazards that threaten the project activity and the current state of its parameters – in a fact, the result of management. Without reliable data on such results, the project manager is not able to accurately calculate the management impact on the object, and therefore organize such management in a proactive manner. From the analysis of complex systems management it follows that the turbulent environment does not fully support the structure and parameters of management actions planned at the beginning of the project. However, not only the environment adversely affects the drift of control parameters. This is also effectively facilitated by internal problems that continually introduce these parameters from planned values. This creates crisis situations that threaten the project and constantly encourage the start of an additional phase of project management: anti-crisis measures to prevent and counter such threats. The main tasks of further researches in this direction and, first of all, taking into account the peculiarities of the mechanism by which the project develops after its implementation are set. In this regard, the so-called anti-crisis management, which has a much greater ability to identify and combat crises, is becoming more widespread. The general space of the parameters of such management of a complex system was conditionally divided into two parts: planned and anti-crisis. The method of preparation of parameters of complex system and crisis for making anti-crisis*

© І. І. СТАНОВСЬКА, О. Л. СТАНОВСЬКИЙ, Є. О. НАУМЕНКО, 2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

decisions has been developed. The method consists in decomposing the system parameters and organizing monitoring of the values of these parameters within the tolerance with the further moving to the crisis repository of the parameters that went beyond these limits.
***Keywords**: complex systems; crisis management; decomposition of parameters; monitoring; repository of crisis artifacts*

Вступ

В управлінні складними системами доволі часто зустрічаються випадки, коли в усіх відношеннях якісно спланований і забезпечений усіма необхідними ресурсами життєвий цикл системи, через виникаючи кризові явища було тимчасово зупинено або навіть припинено взагалі. До таких систем можуть бути віднесені будь-які технічні пристрої та процеси, складні медичні втручання із багатьма внутрішніми параметрами та зовнішніми зв'язками. Складними системами за тими ж ознаками є організаційні проекти та процеси проектного управління, які супроводжуються неминучими кризами.

У зв'язку з цим все більшого поширення набуває так зване антикризове управління, яке має значно більші можливості з ідентифікації та протидії кризам.

Зрозуміло, що нові проблеми та антикризові засоби їхнього подолання неминуче ускладнюють моделі проектної діяльності. Так, наприклад, такі моделі нещодавно отримали «п'яте вимірювання» – ментальні і когнітивні оцінки поточного стану процесів проекту і прийняття проектних рішень [1]. З'явилися й нові антикризові методи побудови та роботи із проектними моделями, наприклад, використання властивостей подібності між ними та математичними моделями основних законів природи і суспільства [2].

Простір параметрів проекту постійно піддається еволюції. Таке явище є частково запланованим, а частково вимушеним, стохастичним, пов'язаним із непередбачуваною заздалегідь антикризовою діяльністю [3]. На жаль, антикризове розширення простору моделювання та ускладнення морфології процесів управління не завжди супроводжується підвищенням точності та адекватності проектних моделей.

Це пов'язано із використанням застарілих підходів до осмислення процесів антикризового управління проектами, що при цьому протікають, відсутності ефективних методів оцінювання джерел небезпек, що загрожують проектній діяльності та поточному стану її параметрів, – фактично, результату управління. За відсутності достовірних даних про такі результати, менеджер проекту не в змозі точно розрахувати керуючий вплив на об'єкт, а отже організувати таке управління у проактивному режимі [4].

Аналіз літературних джерел

Головна особливість управління складними системами – велика кількість параметрів, за допомогою яких можна впливати на процеси, що в них відбуваються [5,6]. Зауважимо для порівняння, що в класичній АСУ бажано мати мінімальну кількість керуючих впливів [7], а тут їх сотні! Це різко ускладнює й оцінку ситуації в умовах кризи, а також прийняття ефективних антикризових рішень.

Виникає перша головна суперечність [8], – кожне антикризове втручання у проект неминуче призводить до еволюції початкового плану – останній все більше відрізняється від реальності, а якщо таких втручань багато (найбільш поширений варіант), то від початкового плану може взагалі нічого не залишитися! Моделі, які використовувалися при початковому плануванні проекту, стають неадекватними, що миттєво та негативно відбивається на точності й ефективності антикризових морфологічних і параметричних рішень [9–11].

Проектна діяльність має, принаймні, дві складові: виконання плану проекту, а також антикризові дії, коли «щось у проекті раптом починає йти не за планом». Такі позапланові процеси іноді починають настільки шкодити перебігу проектної діяльності, що можуть зупинити її взагалі.

Виникає й більш глибока проблема, – кожне антикризове втручання у проект фактично руйнує початковий план.

Це означає одне: оскільки без плану керувати проектом із чітко визначеною метою неможливо, команда проекту після кожного такого втручання, особливо структурного, повинна швидко розпочати створення нового (або корегування старого) плану, для чого її необхідно забезпечити новою методологією антикризового управління проектами на основі морфологічного та параметричного експрес-аналізу організаційно-технічних систем для оцінювання поточного стану проекту [12].

Адже управління будь-яким процесом, а тим більш проектом буде ефективним лише тоді, коли менеджер буде максимально достовірно обізнаним про реальний стан проектів, по-перше, та про результати своєї діяльності, по-друге [13,14].

Мета роботи

Метою дослідження стала розробка та впровадження нових моделей та методів морфологічного й параметричного аналізу організаційно-технічних систем антикризового управління для підвищення ефективності такого управління.

Для досягнення цієї мети у роботі були поставлені та розв'язані наступні задачі:

– виконати аналіз кризових явищ, викликаних внутрішньою природою процесів управління проектами і зовнішніми викликами довкілля, що призводять до гальмування, а іноді і до повної зупинки проекту;

– запропонувати технологію декомпозиції та виокремлення кризових параметрів планових процесів;

– розробити метод підготовки параметрів проекту та проектних криз до прийняття антикризових рішень;

– розробити та провести випробування антикризової системи оптимізації процесу прийняття проектних рішень при управлінні проектами та програми в медичній практиці.

Виклад основного матеріалу

Криза та гносеологічні коріння криз при управлінні складними системами. На початку визначимося із термінологією, яка використовується надалі в роботі.

Визначення 1. Проблема – (питання, недолік чи потреба чогось, завада, перепона від надлишку чи наявності чогось, процес) явище збуджувального характеру, незадоволений попит чи нереалізовані потреби (нестача або відсутність, надлишок або наявність чого-небудь), дефект, вада чи загроза, що змушує цілеспрямовано ліквідувати проблему шляхом уникнення взаємодії або зміни стану об'єкту, себе або свого ставлення до подій.

Визначення 2. В антикризовому управлінні синонімом Проблеми є Криза – наявність, надлишок, відсутність або недолік будь-чого: енергії, коштів, матеріалів, техніки, людей, тощо.

Визначення 3. Головна особливість антикризового проектного управління – відносно велика кількість параметрів, за допомогою яких можна впливати на процеси.

Визначення 4. Головне протиріччя антикризового проектного управління: низька точність морфологічних та параметричних антикризових рішень через незадовільну адекватність проектних моделей.

Визначення 5. Наукова проблема, яка розв’язується у роботі: підвищення точності та адекватності багатопараметричних проектних моделей за рахунок нових методів аналізу організаційно-технічних систем.

Визначення 6. Ризик – можлива небезпека будь-якої несприятливої події:

– коли ризикова подія, завдяки антикризовому управлінню, *не відбулася*, мова йде про проактивне управління ризиками: зниження ймовірності її настання та прогнозоване зменшення витрат на її компенсацію;

– коли ризикова подія *відбулася*, можуть бути два наслідки:

– ризикова подія, яка відбулася, «не зачепила» жодного параметру проекту так, щоб він вийшов за межі допуску;

– ризикова подія, яка відбулася, призвела до виходу за межі допуску хоча б одного параметру проекту, тобто до кризи в проекті.

Криза – це викликані будь-чим (у тому числі, – і ризиками) критичні зміни параметрів проекту, які в сукупності можуть зупинити проект

Виникнення та подолання кризи – це чотирьохкрокова логічна структура: кризова подія → проектна криза → антикризове рішення → виконання антикризового рішення.

Таким чином, ризик, навіть, якщо ризикова подія відбулася, не завжди призводить до кризової події (рис. 1).

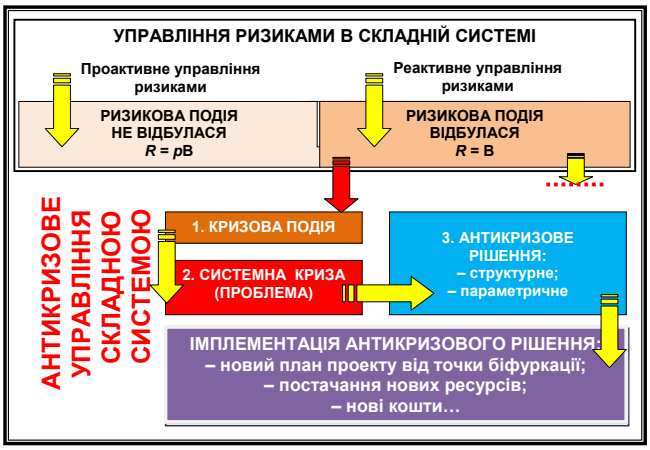


Рис. 1 – Антикризове управління складною системою

З моменту початку першої проактивної реакції управління на першу за часом проектну кризу або кризову подію проект виходить за межі початкового плану і починає все далі від нього відхилятися.

Приводом для початку антикризової частини проекту може бути:

– проектна криза, тобто вихід хоча б одного параметра планової проектної діяльності за межі допусків, зазначених у плані, наприклад, зниження фінансування нижче дозволеного планом рівня;

– кризова подія, – ще не криза, але така, що може до неї призвести (наприклад, несподіване банкрутство інвестора).

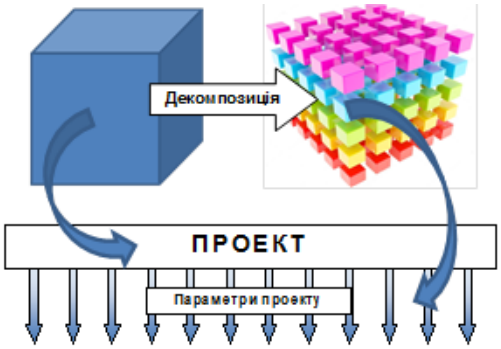
У першому випадку антикризові дії необхідно починати негайно, в другому, – можна зачекати, маючи надію, що кризова подія «не переросте» в проектну кризу. У підсумку, антикризове управління після виникнення чергової кризи втручається у плановий плин проекту та замінює його повністю або частково на антикризовий, який обов'язково містить етап нового планування або коригування чинного плану.

Декомпозиція та виокремлення кризових параметрів планових процесів на прикладі управління проектом. Протягом усього життєвого циклу проектного управління його супроводжують кризи, викликані внутрішньою природою процесів управління проектами і зовнішніми викликами довкілля, що призводять до гальмування, а іноді й до повної зупинки процесу.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Розділимо загальний простір параметрів антикризового управління на дві частини: планову (після початку проекту або після кожної біфуркації) та антикризову (ідентифікація кризи, прийняття антикризового рішення та планування проекту після біфуркації).

Для отримання переліку параметрів *першої частини* необхідно після початку проекту та кожної його антикризової зміни виконувати ***декомпозицію*** поточної проектної частини у вигляді переліку, як це представлено, наприклад, на рис. 2.



ПП={пп$_1$, …, пп$_r$}

Рис. 2 – Декомпозиція поточної частини проекту у вигляді переліку елементарних параметрів

У результаті, отримується множина r параметрів проекту, які послідовно або паралельно наближають досягнення його мети:

$$\mathbf{ПП}=\{пп_1, \ldots, пп_r\} \qquad (1)$$

Перелік параметрів проекту (1) встановлюють при розбудові плану. Його можна розширювати за потреби розв'язання різних кризових ситуацій.

При виконанні проекту найбільш уразливою частиною останнього є параметри, що входять до множини (1). Адже з Визначення 2 випливає, що достатньо виходу за припустимі межі хоча б одного планового проектного параметру (наприклад, постачання коштів) – і проект може зупинитися. Тому виконання нерівностей:

$$\forall пп_i \in \mathbf{ПП}\left(пп_{i\min} \le пп_i \le пп_{i\max}\right) \qquad (2)$$

є обов'язковою умовою «безкризового» проекту.

Метод підготовки параметрів проекту та проектних криз до прийняття антикризових рішень.

При плануванні проектної діяльності, коли активна її фаза ще не розпочалася, можна, не кваплячись, виокремити усі параметри складної системи (проекту), що враховує план (рис. 3).

На цьому ж етапі розв'язується проблема вибору метрологічного забезпечення для визначення (або прямого вимірювання) цих параметрів із заданою періодичністю [15] для постійного моніторингу виконання умов (2).

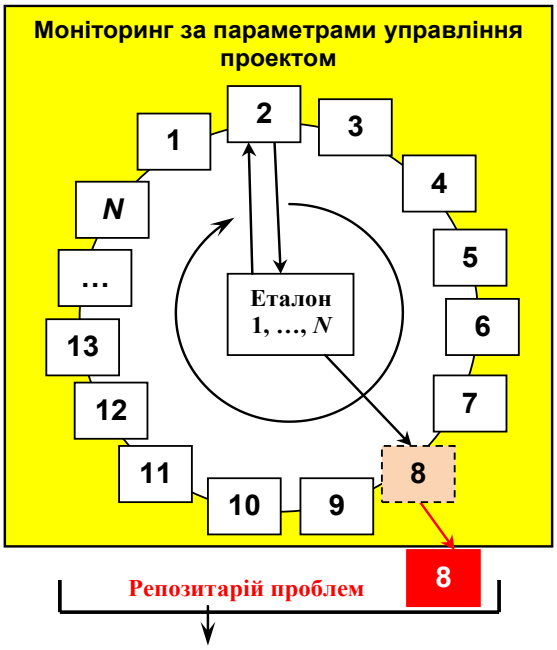


Рис. 3 – Моніторинг за параметрами управління складною системою із виявленням проблем та розміщенням їх до репозитарію

Виконання умов (2) є необхідною процедурою будь-якого антикризового управління. Якщо виявляється, що (2) не виконується хоча б для одного планового параметру, то він переноситься до репозитарію кризових проблем (а таких «кризогенних» параметрів може бути більше одного), і одночасно розпочинаються антикризові дії, про які мова піде далі (див. рис. 3).

Перелік таких параметрів може бути представлений вектором:

$$\mathbf{ПП_{кр}}=\{пп_{кр1}, \ldots, пп_{кр r}\}, \qquad (3)$$

з яким і працює далі антикризовий менеджер.

Практичне використання результатів дослідження. На основі результатів дослідження запропонований метод декомпозиції простору параметрів управління складними системами.

У Центрі реконструктивної та відновної медицини (Університетській клініці) Одеського національного медичного університету були проведені випробування розробленої антикризової системи «CRIMEDPROM» (anti-crisis medical projects management) оптимізації процесу прийняття проектних рішень при управлінні проектами та програми в медичній практиці, в складі якої задіяний метод декомпозиції простору параметрів управління складними системами.

Система «CRIMEDPROM» була використана

при управлінні антикризовою програмою вибору лікувальної тактики та проведенні спеціального лікування (оперативного та хіміотерапевтичного) у пацієнтів з дисемінованими розповсюдженими пухлинами органів черевної порожнини IV стадії з використанням циторедуктивних оперативних втручань. Випробування системи «CRIMEDPROM» показали високу клінічну ефективність.

Обговорення результатів

З аналізу літературних джерел у галузі управління складними системами випливає, що турбулентне середовище не дозволяє повністю підтримувати заплановані на початку проекту структуру та параметри управлінських дій. Роботи сучасних науковців та практиків з проектного управління спрямовані на зменшення впливів проектного середовища, але, відповідно до закону Бушуєва, ніколи не зможуть зменшити цей вплив до нуля.

Слід зазначити, що не тільки середовище негативно впливає на дрейф параметрів управління. Цьому ефективно сприяють і внутрішні проблеми, які постійно зрушують ці параметри від планових значень [10].

Це породжує кризові ситуації, які загрожують проекту і постійно спонукають до початку додаткової фази проектного управління: антикризових заходів з попередження та протидії таким загрозам. Встановлені основні завдання подальших досліджень в цьому напрямку і, в першу чергу, врахування особливостей механізму, за яким розвивається проект після початку його реалізації.

Розроблено метод підготовки параметрів проекту та кризи до прийняття антикризових рішень. Метод складається з двох кроків.

Крок 1 – декомпозиція параметрів проектної діяльності і організація постійного стекового моніторингу за перебуванням значень цих параметрів в межах допуску. Коли значення деякого параметру виходить за межі, він переміщується до кризового депозитарію і оголошується початок антикризових дій.

Крок 2 – ідентифікація параметрів кризи та формування деякої кількості антикризових рішень, кожне з яких може з деякими витратами розв’язувати проектну проблему.

Висновки

Загальний простір параметрів антикризового управління було умовно розділено на дві частини: планову (після початку проекту або після кожної біфуркації) та антикризову (ідентифікація кризи, прийняття антикризового рішення та планування проекту після біфуркації).

У Центрі реконструктивної та відновної медицини (Університетській клініці) Одеського національного медичного університету були проведені випробування розробленої в ОНПУ антикризової системи «CRIMEDPROM» (*anti-crisis medical projects management*) оптимізації процесу прийняття проектних рішень при управлінні проектами та програми в медичній практиці.

Список літератури

1. Попович М. *Проблеми теорії ментальності*. К.: Наук. думка, 2006. 407 с.
2. Савельева О. С., Становский А. Л., Становская И. И., Березовская Е. И., Хеблов И., Гурьев И. Н., Саух И. А. Формализация пространства управления проектами. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків: НТУ «ХПІ». 2016. № 42 (1214). С. 154-158. doi:10.20998/2413-4295.2016.42.25.
3. Белощицкий А. А. Модель расширяющейся вселенной проектов в управлении образовательными средами. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2012. № 1/11 (55). С. 41-43.
4. Становская И. И., Щедров И. Н., Березовская Е. И. Профилактика и управление латентными рисками. *Збірник наукових праць національного університету кораблебудування*. 2014. № 3.
5. Xiujuan Zhang, Ying Wu. Effective medium theory for anisotropic metamaterials. *Scientific Reports 5*. 2015. Article number: 7892.
6. Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK®). 5-е изд. USA/США: Project Management Institute, 2013. 586 с.
7. Іванов А. О. *Теорія автоматичного керування*. Підручник. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. 2003. 250 с.
8. Чернов С. К. Учет рисков и неопределенностей в организационных проектах. *Управління проектами та розвиток виробництва*. 2006. № 1 (17). С. 41-44.
9. Гогунский В. Д., Бибик Т. В., Становская И. И. Управление комплексными рисками программы сопровождения систем аварийной защиты объектов ответственного назначения. *Збірник наукових праць національного університету кораблебудування*. Миколаїв: НУК. 2012. № 2. С. 104-108.
10. Становська І. І., Колеснікова К. В. Стратифікація індивідуальних компетенцій з метою побудови динамічних морфологічних моделей проектного управління. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами.* 2019. № 1(1326). С. 30-36. doi: 10.20998/2413-3000.2019.1326.5.
11. Шахов А. В., Шамов А. В. Моделирования движения организации в проектной среде. *Управління розвитком складних систем. Управління проектами*. 2011. № 7. С. 68-72.
12. Persaud Nadini, Woodhouse Michelle, Scriven Michael. Enhancing the strategic management process through the use of professional evaluation methods and the logic of evaluation. *Journal of multidisciplinary evaluation*. 2016. Vol. 12. Iss. 26.
13. Sinitsyn N. A., Kundu S., Backhaus S. Safe Protocols for Generating Power Pulses with Heterogeneous Populations of Thermostatically Controlled Loads. *Energy Conversion and Management.* 2013. № 67. P. 297. doi:10.1016/j.enconman.2012.11.021.
14. Квашук В. П., Рак Ю. П., Бондаренко В. В. Механізми

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

управління розподілом ресурсів у проектах розвитку складних соціально-економічних систем. *Управління розвитком складних систем*. 2013. № 15. С. 25-29.
15. Оборский Г. А., Становский А. Л., Прокопович И. В., Духанина М. А. Выбор метрологического обеспечения управления сложными объектами литейного производства с трудноизмеримыми параметрами. *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологи*. 2014. № 6/3 (72). С. 41-47.
16. Яковенко Ю. Проблема артефакту в соціології: Історико-теоретичний формат аналізу. *Психологія і суспільство: Укр. наук-екон. та соц.-псих. Часопис*. 2004. № 4. С. 75-94.

References (transliterated)

1. Popovich M. *Problemy teorii mentalnosti* [Problems of the theory of mentality]. K., Sciences opinion, 2006. 407 p.
2. Savelyeva O. S., Stanovsky A. L, Stanovskaya I. I., Berezovskaya E. I., Heblov I., Guryev I. N., Sauh I. A. Formalyzatsyia prostranstva upravlenyia proektamy [Formalization of project management space]. *Bulletin of NTU "KPI". Series: New Solutions in Modern Technologies*. Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, 42 (1214), pp. 154-158. doi:10.20998/2413-4295.2016.42.25.
3. Beloshchitsky A. A. Model rasshiryayuscheysya vselennoy proektov v upravlenii obrazovatelnyimi sredami. [Model of the expanding universe of projects in the management of educational environments]. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*. 2012, 1/11 (55), pp. 41-43.
4. Stanovskaya I. I., Shchedrov I. N., Berezovskaya E. I. Profilaktika i upravlenie latentnyimi riskami [Prevention and management of latent risks]. *Proceedings of the National University of Shipbuilding*. 2014, 3.
5. Xiujuan Zhang, Ying Wu. Effective medium theory for anisotropic metematerials. *Scientific Reports 5*, 2015, Article number: 7892.
6. Project Management Knowledge Guide (PMBOK® Guide). - 5th ed. - USA / USA: Project Management Institute. 2013, 586 p.
7. Ivanov A. O. Teoriia avtomatychnoho keruvannia [The theory of automatic control: A textbook]. - Dnepropetrovsk: National Mining University. 2003, 250 p.
8. Chernov S. K. Uchet riskov i neopredelennostey v organizatsionnyih proektah [Accounting of risks and uncertainties in organizational projects]. *Project management and production development*. 2006, 1 (17), pp. 41-44.
9. Gogunsky V. D., Bibik T. V., Stanovskaya I. I. Upravlenie kompleksnyimi riskami programmyi soprovozhdeniya sistem avariynoy zaschityi ob'ektov otvetstvennogo naznacheniya [Management of complex risks of the program of maintenance of systems of emergency protection of objects of responsible destination]. *Collection of scientific works of the national university of shipbuilding*. Nikolaev: NUS, 2012, 2, pp. 104-108.
10. Stanovskaya I. I., Kolesnikova K. V. Stratyfikatsiia indyvidualnykh kompetentsii z metoiu pobudovy dynamichnykh morfolohichnykh modelei proektnoho upravlinnia [Stratification of individual competences for the purpose of building dynamic morphological models of project management]. *Bulletin of NTU "KPI". Series: Strategic Management, Portfolio, Program and Project Management.* Kharkiv, NTU "KPI", 2019, 1 (1326), pp. 30-36. doi: 10.20998/2413-3000.2019.1326.5.
11. Shakhov A. V., Shamov A. V. Modelirovaniya dvizheniya organizatsii v proektnoy srede [Modeling the movement of organization in the design environment]. *Management of the development of complex systems. Project management*, 2011, 7, pp. 68-72.
12. Persaud Nadini, Woodhouse Michelle, Scriven Michael. Enhancing the strategic management process through the use of professional evaluation methods and the logic of evaluation. *Journal of multidisciplinary evaluation,* 2016, Vol. 12, Iss. 26.
13. Sinitsyn N. A., Kundu S., Backhaus S. Safe Protocols for Generating Power Pulses with Heterogeneous Populations of Thermostatically Controlled Loads. *Energy Conversion and Management,* 2013, 67, p. 297. doi: 10.1016/j.enconman.2012.11.021.
14. Kvashuk V. P., Rak Yu. P., Bondarenko V. V. Mekhanizmy upravlinnia rozpodilom resursiv u proektakh rozvytku skladnykh sotsialno-ekonomichnykh system [Mechanisms of resource allocation management in projects of development of complex socio-economic systems]. *Management of development of complex systems*, 2013, 15, pp. 25-29.
15. Oborsky G. A., Stanovsky A. L., Prokopovich I. V., Dukhanina M. A. Vyibor metrologicheskogo obespecheniya upravleniya slozhnyimi ob'ektami liteynogo proizvodstva s trudnoizmerimyimi parametrami [The choice of metrological support for the management of complex foundry objects with hard-to-measure parameters]. *Eastern European Journal of Advanced technologies. Information technology*. Kharkov, 2014, 6/3 (72), pp. 41-47.
16. Yakovenko Yu. Problema artefaktu v sotsiolohii: Istoryko-teoretychnyi format analizu [The Problem of Artifact in Sociology: Historical-Theoretical Format of Analysis]. *Psychology and Society: Ukr. of Economics. and social psych. Magazine,* 12/2004, 4, pp. 75-94.

Відомості про авторів (About authors)

Становська Іраіда Іванівна – доктор технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет, професор кафедри вищої математики та моделювання систем, м. Одеса, Україна; ORCID: 0000-0003-0601-7658; e-mail: stanovskairaida@gmail.com.

Iraida Stanovska – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Higher Mathematics and Modeling Systems Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; ORCID: 0000-0003-0601-7658; e-mail: stanovskairaida@gmail.com.

Становський Олександр Леонідович – доктор технічних наук, професор, Одеський національний політехнічний університет, завідувач кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування, м. Одеса, Україна; ORCID: 0000-0002-0360-1173; e-mail: ostanovskyi@gmail.com.

Olexsandr Stanovskyi – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; ORCID: 0000-0002-0360-1173; e-mail: ostanovskyi@gmail.com.

Науменко Євгенія Олександрівна – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, старший викладач кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування, м. Одеса, Україна; ORCID: 0000-0002-6963-3995; e-mail: naumenko.e.o@opu.ua.

Ievgenija Naumenko – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; ORCID: 0000-0002-6963-3995; e-mail: naumenko.e.o@opu.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Становська І. І., Становський О. Л., Науменко Є. О. Декомпозиція простору параметрів управління складними системами. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 73-79. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.10.

Please cite this article as:

Stanovska I., Stanovskyi O., Naumenko I. Space decomposition of complex systems control parameters. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1 (3), pp. 73-79, doi:10.20998/2413-4295.2020.03.10.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Становская И. И., Становский А. Л., Науменко Е. А. Декомпозиция пространства параметров управления сложными системами. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 73-79. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.10.

АННОТАЦИЯ *В управлении сложными системами часто встречаются случаи, когда во всех отношениях качественно спланированный и обеспеченный всеми необходимыми ресурсами жизненный цикл системы через возникший кризис был временно остановлен или даже прекращен вообще. К таким системам могут быть отнесены любые технические устройства и процессы, сложные медицинские вмешательства со многими внутренними параметрами и внешними связями. Сложными системами по тем же признакам являются организационные проекты и процессы проектного управления, сопровождающиеся неизбежными кризисами. Это связано с использованием устаревших подходов в осмыслении процессов антикризисного управления проектами, которые при этом протекают, отсутствием эффективных методов оценки источников опасности, которые угрожают проектной деятельности и текущему состоянию ее параметров - фактически, результата управления. Не имея достоверных данных о таких результатах, менеджер проекта не в состоянии точно рассчитать управляющее воздействие на объект, а значит организовать такое управление в проактивном режиме. Из анализа управления сложными системами следует, что и турбулентная среда не позволяет полностью поддерживать запланированные в начале проекта структуру и параметры управленческих действий. Однако не только среда негативно влияет на дрейф параметров управления. Этому эффективно способствуют и внутренние проблемы, которые постоянно уводят эти параметры от плановых значений. Это порождает кризисные ситуации, которые угрожают проекту и постоянно побуждают к началу дополнительной фазы проектного управления: антикризисных мер по предупреждению и противодействию таким угрозам. Установлены основные задачи дальнейших исследований в этом направлении и, в первую очередь, учета особенностей механизма, по которому развивается проект после начала его реализации. В связи с этим все большее распространение приобретает так называемое антикризисное управление, которое обладает значительно большими возможностями по идентификации и противодействию кризисам. Пространство параметров такого управления сложной системой было условно разделено на две части: плановую и антикризисную. Нами разработан метод подготовки параметров сложной системы и кризиса к принятию антикризисных решений. Метод состоит в декомпозиции параметров системы и организации мониторинга за состоянием значений этих параметров в пределах допуска с последующим перемещением в кризисный репозитарий параметров, которые за эти пределы вышли.*

Ключевые слова: *сложные системы; антикризисное управление; декомпозиция параметров; мониторинг; репозитарий кризисных артефактов*

Надійшла (received) 15.02.2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

УДК 661.842.622:661.321.004.8 doi:10.20998/2413-4295.2020.03.11

ПРОБЛЕМА ВИКИДІВ КАРБОН (IV) ОКСИДУ ТА МОЖЛИВІ ШЛЯХИ ЇЇ ВИРІШЕННЯ

Є. О. МИХАЙЛОВА[1*], В. О. ПАНАСЕНКО[2], Н. Б. МАРКОВА[3]

[1] кафедра природоохоронних технологій, екології та безпеки життєдіяльності, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, м. Харків, УКРАЇНА*
[2] Державна установа «Державний науково-дослідний і проектний інститут основної хімії», м. Харків, УКРАЇНА
[3] кафедра фізичної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, УКРАЇНА
[*] e-mail: mykhailova.e@ukr.net

АНОТАЦІЯ *Розглянуто екологічну проблему антропогенних викидів карбон (IV) оксиду, який відноситься до парникових газів прямої дії та безпосереднє впливає на зміну клімату планети. Головними причинами підвищення концентрації антропогенного CO_2 в атмосфері є енергетичні установки, що працюють на викопному паливі, промислові виробництва та вирубка лісів. Одним із секторів економіки, що викидає в атмосферу парникові гази, є хімічна галузь, зокрема виробництво кальцинованої соди. За статистичними даними на 1 тону продукту утворюється приблизно 200-300 кг карбон (IV) оксиду. З урахуванням об'ємів виробництва кальцинованої соди та законодавства содові заводи зобов'язані платити екологічний податок за викиди CO_2. Таким чином, економічні механізми регулювання викидів антропогенних парникових газів стимулюють дослідження цієї проблеми та розроблення ефективних методів її вирішення, зокрема і у виробництві кальцинованої соди. Метою роботи є комплексний аналіз проблеми викидів карбон (IV) оксиду у виробництві кальцинованої соди та визначення перспективних методів її вирішення. Виробництво кальцинованої соди, яке здійснюють за методом Сольве, викидає в атмосферне повітря до 178 млн. т забруднюючих речовин на рік. Основними джерелами викидів є стадія випалу карбонатної сировини, стадія приготування амонізованого розсолу та теплоагрегати ТЕЦ. Загальна концентрація карбон (IV) оксиду в газових викидах становить від 2 до 35 об. %. Для знешкодження CO_2 в промисловості використовують абсорбційні, адсорбційні та каталітичні способи. Наведено загальну характеристику кожного методу та зазначено їх головні переваги та недоліки. Таким чином, вибір оптимального способу очищення у виробництві кальцинованої соди буде здійснюватися залежно від необхідного ступеня очищення, обсягу та складу газу, що викидається, властивостей абсорбентів, адсорбентів та каталізаторів, можливих шляхів утилізації вилученого CO_2, місця розташування содового підприємства. Однак, визначальним фактором залишається техніко-економічні показники для використання того чи іншого способу.*
Ключові слова: *карбон (IV) оксид; парникові гази; кальцинована сода; абсорбція; адсорбція; каталітичні методи*

CARBON (IV) OXIDE EMISSIONS PROBLEM AND THE POSSIBLE WAYS TO ITS SOLVING

E. MYKHAILOVA[1*], V. PANASENKO[2], N. MARKOVA[3]

[1] Department of Environmental Technologies, Ecology and Safety of Vital Activity, Simon Kuznets Kharkov National University of Economics, Kharkiv, UKRAINE
[2] State institution "State Research and Design Institute of Basic Chemistry", Kharkiv, UKRAINE
[3] Department of Physical Chemistry, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT *The environmental problem of anthropogenic carbon (IV) oxide emissions, which is a greenhouse gas of direct action and directly influences the climate change of the planet, is considered. The main reasons of increasing the concentration of anthropogenic CO_2 in the atmosphere are power plants running on fossil fuels, industrial production and deforestation. One of the sectors of the economy that emits greenhouse gases is the chemical industry, in particular soda ash manufacture. According to statistics, about 200-300 kg of carbon (IV) oxide is formed per 1 ton of product. Taking into account the volumes of soda ash manufacture and the legislation soda plants are obliged to pay an environmental tax for CO_2 emissions. Thus, the economic mechanisms of regulating anthropogenic greenhouse gas emissions stimulate the study of this problem and the development of effective methods of its solution, in particular in soda ash manufacture. The purpose of this work is a comprehensive analysis of the problem of carbon (IV) oxide emissions in soda ash manufacture and identification of promising methods for its solution. The soda ash manufacture, which is carried out by the Solve method, emits into the air up to 178 million tons of pollutants a year. The main sources of emissions are the stage of carbonate raw material firing, the stage of preparation of the ammoniated brine and the heat generator of CHP. The total concentration of carbon (IV) oxide in the gas emissions is from 2 to 35 vol. %. Absorption, adsorption and catalytic methods are used in the industry for the neutralization of CO_2. The general characteristics of each method are presented and their main advantages and disadvantages are indicated. Thus, the choice of the optimum method of gas cleaning in soda ash manufacture will be made depending on the degree of cleaning required, volume and composition of the gas*

© Є. О. МИХАЙЛОВА, В. О. ПАНАСЕНКО, Н. Б. МАРКОВА, 2020

emitted, properties of adsorbents, absorbers and catalysts, possible ways of utilization of CO_2 extracted, location of the soda plant. However, the determining factor remains the technical and economic indicators for the use of one method or another.
***Keywords**: carbon (IV) oxide; greenhouse gases; soda ash; absorption; adsorption; catalytic methods*

Вступ

Екологічна проблема, пов'язана з глобальною зміною клімату, визначається однією з головних у світовому суспільстві. Адже вона впливає на багато аспектів існування довкілля та суспільства, зокрема людське здоров'я, аномально екстремальні погодні явища, місцеву та глобальну економіку. З точки зору більшості кліматологів існують переконливі, всеосяжні і послідовні об'єктивні докази того, що саме людина повинна у зміні клімату таким чином, що це загрожує нашому суспільству і екосистемам, від яких ми залежимо. Висновки про це полягають в наступному [1]:

- планета нагрівається через зростання концентрацій так званих парникових газів (H_2O, CO_2, CH_4, O_3, N_2O), що уловлюють тепло в атмосфері Землі;
- велика частина збільшення концентрації цих газів за останнє сторіччя зумовлена діяльністю людини, особливо спалюванням викопного палива і вирубкою лісів;
- природні причини завжди грають роль у зміні клімату Землі, але на даний час переважають антропогенні чинники;
- потепління планети призведе до швидких змін багатьох інших кліматичних моделей, включаючи збільшення швидкості підйому рівня моря та зміни в гідрологічному циклі; зростаючі концентрації карбон (IV) оксиду роблять океани більш кислими;
- поєднання цих складних змін клімату загрожує прибережним містам, продовольчим і водним ресурсам, морським і прісноводним екосистемам, лісам, високогірним районам тощо.

Існують і діаметрально протилежні погляди на цю проблему. Деякі дослідники стверджують, що незважаючи на збільшення антропогенних викидів CO_2 за останні п'ятдесят років більш ніж в два рази, його вміст в атмосфері не змінився, що пояснюється саморегулюванням процесу кругообігу цього газу в природі. Отже, посилення парникового ефекту в земній атмосфері не залежить від техногенних викидів карбон (IV) оксиду, і обмеження викидів CO_2 позбавлені наукового обґрунтування [2].

Все ж таки більша частина наукової спільноти вважає, що саме спалювання викопного палива й деякі інші промислові процеси призводять до викидів в атмосферу парникових газів, які спричиняють антропогенне глобальне потепління. За оцінками Міжнародного енергетичного агентства (англ. International Energy Agency, IEA) [3] майже дві третини рекордного з 2013 року зростання викидів припало на електроенергетику. Глобальні викиди карбон (IV) оксиду, пов'язані з енергетикою, зросли на 1,7 мас. % в 2018 році, досягнувши історичного максимуму, який склав 33,1 Гт CO_2. Збільшення викидів обумовлено більш високим споживанням енергії в результаті сильної глобальної економіки, а також погодних умов в деяких частинах світу, що призвело до збільшення попиту на енергію для опалення та охолодження.

В умовах глобалізації кожна окрема країна не може планувати свій економічний розвиток, зокрема промислового сектора, без урахування розвитку світової економіки, що узгоджуються між країнами на рівні ООН. Ратифікувавши у 2016 році Паризьку угоду, Україна взяла на себе зобов'язання із забезпечення сталого розвитку економіки з одночасним скороченням викидів парникових газів. Відповідно Угоди до 2030 року країна має забезпечити скорочення викидів парникових газів на 40 %, а до 2050 року – на 60 % від рівня 1990 року [4].

Задля досягнення цілей Паризької угоди Україною використовується ряд інструментів щодо регулювання викидів парникових газів та недопущення негативних змін клімату, а саме:

- розроблення та надала до Секретаріату Рамкової Конвенції ООН зі зміни клімату Стратегії низьковуглецевого розвитку України до 2050 року [5], яка передбачає скорочення викидів парникових газів, відмову від викопного палива і старт інвестування у відновлювальні джерела енергії;
- використання ставки екологічного податку на викиди карбон (IV) оксиду, який передбачений Податковим кодексом України. З метою стимулювання підприємств до зменшення забруднення довкілля, а також наближення до ставок за викиди парникових газів у країнах ЄС [6] з 1 січня 2019 року ставка зросла з 0,41 грн/т до 10 грн/т [7]. Передбачається також поетапне підвищення ставки до рівня 30 грн за тонну у 2023 році із щорічним її підвищенням на 5 грн за тонну викидів CO_2.
- введення єдиної для всіх об'єктів господарювання уніфікованої методики розрахунку об'ємів викидів парникових газів відповідно до законопроекту [8], що спрямовано на отримання достовірних даних про викиди парникових газів на рівні окремого підприємства та створення передумов для вибору ринкових та інших економічних інструментів регулювання викидів парникових газів.

Особливість впровадження зазначених екологічних механізмів в Україні полягає в тому, що дані про кількість викидів CO_2 відображаються у формі статистичної звітності 2-ТП повітря за рік (звітний період), копія якої подається до органу Державної фіскальної служби за місцезнаходженням стаціонарного джерела викидів. Якщо річний обсяг викидів карбон (IV) оксиду суб'єкта господарювання перевищує 500 т/рік, то згідно [7] він зобов'язаний зареєструватися платником податку, нарахувати та

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

сплатити екологічний податок за податковий період, коли відбулося таке перевищення. Не є платниками податку суб'єкти, якими здійснюються викиди CO_2 в обсязі не більше 500 т/рік.

Серед багатьох секторів економіки хімічна та нафтохімічна промисловості належать до найбільших споживачів енергії. На їх частку припадає близько 10 % від загального споживання енергії та 7 % від загальної кількості антропогенних викидів парникових газів у світі [9]. З огляду на те, що хімічний сектор є фундаментальною основою для синтезу багатьох основних проміжних і кінцевих продуктів з метою задоволення потреб людини, прогнозується подальший його розвиток, що, в свою чергу, призведе до збільшення викидів парникових газів. До таких небезпечних об'єктів хімічної галузі відносяться заводи з виробництва кальцинованої соди та содопродуктів.

Мета роботи

Комплексний аналіз проблеми викидів карбон (IV) оксиду у виробництві кальцинованої соди та визначення перспективних методів її вирішення.

Виклад основного матеріалу

Кальцинована сода (Na_2CO_3) – це кристалічний порошок білого кольору, добре розчинний у воді, водні розчини якого мають сильні лужні властивості. Натрій карбонат застосовують при виготовленні скла, миючих засобів, паперу, продуктів харчування і напоїв, використовують в металургії, нафтохімії, фармацевтиці. Основними виробниками Na_2CO_3 є Китай (найбільший в світі виробник і постачальник), Азіатсько-Тихоокеанський регіон, США, Європа, Близький Схід, Африка, Латинська Америка. Лише кілька країн світу добувають кальциновану соду з природних джерел (США, Китай, Туреччина), в більшості випадків виробництво натрію карбонату здійснюється синтетичним способом з хлориду натрію та вапняку за методом Сольве.

У 2018 році виробництво кальцинованої соди у світі склало 56,5 млн. т, показавши середньорічний темп зростання в 2 % протягом 2011–2018 років. Звіти експертів прогнозують, що до 2024 року обсяг ринку досягне 67,4 млн. т. Цьому сприятиме розвиток будівельної та автомобільної промисловостей, які стимулюють попит на кальциновану соду при виробництві листового скла, зростаючий попит на мило і миючі засоби в регіонах, що розвиваються через підвищення рівня життя і особистої гігієни, а також широке використання Na_2CO_3 в промисловості для очищення стічних вод завдяки введенню суворих екологічних нормативів урядами різних країн [10].

За результатами статистичних даних на 1 тону виробленої кальцинованої соди утворюється близько 200–300 кг карбон (IV) оксиду. Ураховуючи світове виробництво натрій карбонату викиди CO_2 становлять в середньому 0,014 Гт, що відповідає приблизно 6 мас. % викидів парникових газів у світовій хімічній галузі.

Станом на 2013 рік Україна займала 9 місце у світі за виробництвом кальцинованої соди, обсяг якої склав 720 тис. т [11]. Отже, кількість карбон (IV) оксиду, що викидається содовою галуззю країни становить в середньому 180 млн. т. Таким чином, содові заводи мають зареєструватися і сплачувати значний екологічний податок за викиди CO_2. А це, в свою чергу, призведе до підвищення ціни на продукт і зниженню конкурентоспроможності українського виробництва кальцинованої соди у світі. Таким чином, економічні механізми регулювання викидів антропогенних парникових газів, які впроваджені в Україні, стимулюють дослідження цієї проблеми та розроблення ефективних методів її вирішення, зокрема і у виробництві кальцинованої соди.

Аміачний метод одержання кальцинованої соди (спосіб Сольве), на долю якого припадає біля 70 % світового виробництва, має високий рівень організації технологічного процесу і порівняно високу економічну ефективність. У той же час, недоліками цього методу є низький ступінь використання сировини, висока енергоємність і наявність значної кількості відходів. Через недосконалість технології та обладнання кожного року содові заводи викидають в атмосферу приблизно 178 млн. $м^3$ газоподібних забруднювачів та пилу, зокрема і CO_2.

Карбон (IV) оксид – це кислотний оксид, який обмежено розчиняється у воді і добре взаємодіє з лугами, розчинами солей, що мають лужні властивості, органічними сполуками, що містять гідроксильні групи і при зниженій температурі і підвищеному тиску добре розчиняється в спиртах, в ацетоні та інших органічних розчинниках. Особливостями CO_2 є здатність сублімувати при температурі мінус 78 °С та скраплюватися при тиску до 5,65 МПа і температурі 20 °С.

Карбон (IV) оксид не відноситься до класу токсичних сполук, отже санітарно-гігієнічний норматив (ГДК) для нього відсутній. Але в умовах виробничих і житлових приміщень бажано, щоб вміст CO_2 був не більше 0,6–0,7 об. %, так як тривале перебування при високих концентраціях CO_2 викликає стомлюваність, головний біль і небажані зміни в організмі людини.

Основна характеристика газових викидів, які утворюються у виробництві кальцинованої соди і містять карбон (IV) оксид наведена в табл. 1 [12]:

Зазначимо, що при розробці національного кадастру парникових газів в Україні згідно рекомендацій Міжурядової групи експертів з питань змін клімату карбон (IV) оксид відносять до парникових газів прямої дії, а карбон (II) оксид і оксиди нітрогену – до парникових газів непрямої дії. Останні безпосередньо не є парниковими газами, але опосередковано впливають на парниковий ефект в

результаті хімічних реакцій в атмосфері. Тому їх викиди також рекомендовано обмежувати відповідно Паризької угоди, підписаної Україною [13].

Таблиця 1 – Характеристика газових викидів виробництва кальцинованої соди

Джерело викиду	Склад газу	Вміст CO_2 в газі, об. %
Стадія випалу карбонатної сировини	CO_2, CO, NO_x та пил	≤ 35
Стадія приготування амонізованого розсолу	CO_2, CO, NH_3	2–5
Теплоагрегати ТЕЦ	CO_2, SO_2, NO_x, CO та пил	7-15

Серйозно проблемою зниження викидів карбон (IV) оксиду почали займатися з 1970-х років. Спочатку технології знешкодження були зосереджені на уловлюванні і зберіганні CO_2, який утворювався на вугільних електростанціях, шляхом його закачування глибоко під землю. Такий спосіб використовувався тільки нафтовими компаніями, щоб вводити газ з карбон (IV) оксидом у свердловини для збільшення повноти видобутку нафти. Зараз в Україні також проводяться дослідження щодо вдосконалення и впровадження цього методу [14].

Слід зазначити, що содові підприємства також почали займатися проблемою викидів CO_2 ще в 70–80 роках минулого століття. У більшості випадків, технології знешкодження карбон (IV) оксиду вимагають чималих капітальних і експлуатаційних грошових витрат, тому способи уловлювання, очищення й зберігання CO_2 постійно вдосконалюються.

Для знешкодження карбон (IV) оксиду у промислових викидах використовують абсорбційні, адсорбційні та каталітичні способи (табл. 2) [15]. Найбільш широке застосування знайшли абсорбційні способи очищення, які основані або на хімічному зв'язуванні CO_2 – хемосорбції, або на його розчинності – фізичної абсорбції, а також їх комбінуванні. У сучасних технологіях очищення газових викидів від карбон (IV) оксиду перше місце посідає поглинання CO_2 аміноспиртами – хімічна абсорбція. Як хемосорбенти у виробництві застосовують водні розчини етанольної амінокислоти:

- МЕА – моноетаноламін $(C_2H_5O)NH_2$ – густа масляниста рідина з температурою кипіння 170 °С, змішується з водою в усіх співвідношеннях, слабка основа, токсична (ГДК = 30 мг м^3);

- ДЕА – діетаноламін $(C_2H_5O)_2NH$ – густа масляниста рідина з температурою кипіння 280 °С, добре змішується з водою, сильна основа;

- ТЕА триетаноламін $(C_2H_5O)_3N$ – безбарвна рідина з температурою кипіння 335 °С, змішується з водою в усіх співвідношеннях, слабка основа.

Присутність гідроксильних груп визначає лужні властивості етаноламінів, а отже їх здатність взаємодіяти з карбон (IV) оксидом. Найбільшу поглинальну здатність має МЕА, проте через більш високу летючість (тиск пари складає $0{,}2\times10^{-9}$ МПа при температурі 38 °С) можливе забруднення газу, що очищується, парами МЕА, тому на практиці використовують суміші етаноламінів і інших речовин.

Етаноламіни добре розчинні у воді (максимальна концентрація становить 50 мас. %), однак викликають корозію металів, тому для обмеження цього явища при очищенні застосовують розчини з вмістом етаноламінів 10–20 мас. %. Сучасні установки працюють під тиском до 2,76 МПа при температурі 35–47 °С.

Таблиця 2 – Промислові способи очищення технологічних газів від карбон (IV) оксиду

Спосіб	Продукт після очищення	Вміст CO_2 в газі для очищення, об. %
Абсорбційні методи		
Поглинання розчинами аміноспиртів	CO_2	≤ 30
Поглинання карбонатними розчинами (Na_2CO_3, K_2CO_3)	CO_2	≤ 30
Промивання органічними розчинниками (CH_3OH, ацетон)	CO_2	≤ 30
Промивання водою	CO_2	будь-який
Поглинання розчинами лугів (NH_3, KOH, NaOH)	Na_2CO_3, $NaHCO_3$, NH_4HCO_3	≤ 0,3
Адсорбційні методи		
Поглинання фізичними сорбентами	CO_2	≤ 40
Поглинання хімічними сорбентами	CO_2	≤ 20
Каталітичні методи		
Відновлення воднем (метанування)	CH_4, H_2O	≤ 0,6

Відпрацьовані розчини аміноспиртів піддають регенерації при підвищенні температури до кипіння

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

розчину. Найбільший ефект досягається при тиску 0,138–0,246 МПа, коли теплота десорбції газів вища за теплоту випаровування розчинника. При цьому відбувається більш повна регенерація розчину при менших витратах теплоти.

Процес знешкодження карбон (IV) оксиду за допомогою розчинів аміноспиртів характеризується підвищеною селективністю і високим ступенем очищення. Однак гранично допустима поглинальна здатність адсорбенту обмежена допустимою корозією обладнання і гранично допустимою теплотою хемосорбції. До недоліків процесу також можна віднести великі енергетичні витрати (приблизно 70 %) на регенерацію адсорбенту та отримання тепла [16].

Авторами роботи [17] доведено, що зменшити енергетичні та капітальні витрати на регенерацію можливо шляхом використання електрохімічного циклу видалення, що полегшить десорбцію CO_2 та регенерацію аміну.

За аналогією з етаноламіновим очищенням здійснюється поглинання карбон (IV) оксиду карбонатними розчинами, зазвичай натрію або калію. У промисловості існують різні модифікації цього процесу, основними відмінностями яких є різні активатори, температура і концентрація розчинів. Найбільше застосування одержав метод очищення гарячими розчинами поташу під тиском 2,56–2,95 МПа з масовою концентрацією K_2CO_3 20–30 %. Як активатор додають приблизно 2 % ДЕА, як інгібітор від корозії – 0,5 мас. % V_2O_5. Температуру в процесі абсорбції підвищують від 87 до 107 °С, температуру регенерації підтримують не нижче 117 °С [15].

Після очищення газу розчинами етаноламінів і поташу газ у своєму складі містить 0,03–0,05 об. % CO_2, що вимагає подальшого тонкого очищення. Крім того, в цьому випадку не вилучається CO, вміст якого в технологічному газі може становити 0,3–0,4 об. %.

Треба зазначити, що перед проведенням процесу хімічної абсорбції карбон (IV) оксиду з викидних газів необхідно вилучити SO_2 та NO_x, які теж в ньому присутні. Для цього використовують певні способи очищення [18,19].

Досить широкий розвиток отримав процес очищення технологічних газів від карбон (IV) оксиду способом фізичної абсорбції при низьких температурах. Спосіб ґрунтуються на високій розчинності CO_2 в органічних полярних розчинниках при низьких температурах і підвищених тисках і легко видаляються з них при зниженні тиску. Найбільше практичне застосування знайшли процеси очищення, де як розчинник використовується метанол (процес «Ректізол») і ацетон. Видалення CO_2 здійснюють під тиском 0,5–1,5 МПа при температурі від мінус 40 до мінус 80 °С [16].

Основними перевагами низькотемпературної абсорбції є:

- низькі питомі витрати розчинника через його високу поглинальну здатністю при підвищеному тиску і низьких температурах;
- значне зниження питомої витрати енергії, так як насичений розчинник охолоджується внаслідок зниження тиску на ступені регенерації;
- низька корозія обладнання;
- доступність і низька вартість застосовуваних розчинників.

У той же час такі схеми мають і недоліки, головними з яких є ретельний монтаж, висока культура обслуговування, теплоізоляція обладнання високої якості.

Промивання газу, що містить CO_2, водою на практиці використовується як попереднє очищення. Процес проводять в інтервалі температур 5–15 °С при підвищеному тиску 1,0–3,0 МПа. Витрата води на зрошення становить 0,1 м$_3$ на 1 м^3 газу, що очищається. У разі використання підвищеного тиску регенерацію CO_2 доцільно проводити шляхом зниження тиску розчину після поглинання в спеціальних апаратах – регенераторах. Перевагою цього способу є простота та відносна невелика вартість. Головними недоліками є невисока ступінь очищення – приблизно 70–80%, що обумовлено максимальною поглинальною здатністю води (8 кг CO_2 на 100 кг води), та низькою селективністю.

Поглинання карбон (IV) оксиду в газових викидів за допомогою водних розчинів лугів раціонально як варіант кінцевого очищення незначних обсягів газу з невисоким вмістом CO_2. У інших випадках вибір методу визначатиме техніко-економічна доцільність процесу. Автори роботи [20] пропонують використовувати як поглинач розчин NaOH, що надасть можливість отримати товарний продукт – кальциновану соду, продаж якої компенсує вартість процесу очищення. У дослідженнях [21] доведено ефективність знешкодження карбон (IV) оксиду з використанням водного розчину аміаку. Такий інтегрований підхід дозволить не тільки видалити CO_2 з газових викидів, але й таким чином знизити вміст NH_3 в розчині, що мінімізує споживання енергії для вилучення аміаку в певній технології.

У даний час найбільш перспективним способом очищення технологічних газів від карбон (IV) оксиду вважається фізична та хімічна адсорбція. Основна відмінність цих двох видів обумовлена енергетичною характеристикою зв'язків. Фізична адсорбція викликана силами Ван-дер-Ваальса, тому теплота фізичної адсорбції має невелике значення і складає 10–30 кДж/моль. Для цього процесу можлива регенерація адсорбенту. Крім того процес протікає при низьких температурах (приблизно 20 °С). Фізична адсорбція може протікати на активному вугіллі, силикогелі, алюмогелі, проте мала адсорбційна ємність обмежує їх використання. Тому, в основному, в промисловості для очищення від CO_2 застосовують синтетичні цеоліти, що володіють селективністю і

високою сорбційною ємністю. Стадія десорбції проводиться шляхом нагрівання адсорбенту, продувкою інертним газом і вимагає значних енерговитрат.

Також проводяться дослідження щодо розроблення більш ефективних поглинаючих карбоновмістних матеріалів (Starbons), виготовлених з органічних відходів, які мають до 65 % більшу адсорбційну здатність, а також демонструють втричі більш високу селективність для адсорбції CO_2 порівняно з активованим вугіллям [22].

Хімічна адсорбція заснована на хімічному зв'язку між адсорбатом і адсорбентом, в результаті чого утворюються поверхневі сполуки. Процес носить активаційний характер, адже теплота реакції складає близько 100–400 кДж/моль. Як хімічні адсорбенти застосовують оксиди заліза і цинку, але їх використання обмежене через низьку технологічність, неможливість регенерації та необхідність утилізації відпрацьованого сорбенту. Високотемпературними адсорбентами, що працюють в циклах сорбція-десорбція, для селективного поглинання карбон (IV) оксиду можуть бути використані: прожарені доломіт, гідротальціти, силікати і цирконати лужних металів, оксид кальцію, модифікований катіонами лужних металів. Такі поглиначі здатні видаляти CO_2 з технологічних газів при температурі 400–900 °C [16].

Крім зазначених способів очищення газів від карбон (IV) оксиду застосовуються також каталітичні методи, які базуються на гетерогенному каталізі шляхом перетворення домішок в нешкідливі сполуки або ті, що легко видаляються з газу. Даний метод застосовується, коли в газі присутні домішки, які недостатньо повно видаляються за допомогою рідинних поглиначів або адсорбентів, тобто як тонка очистка.

Процес каталітичного очищення відбувається шляхом відновлення CO_2 за допомогою водню на поверхні каталізатора з одержанням CH_4 і H_2O. Як каталізатор використовують системи, що складаються з активної фази (оксидів кобальту, нікелю, молібдену) і носія – алюмінію оксиду. Найбільш ефективними в цьому випадку є нікель-алюмінієві каталізатори (30-50 мас. % NiO), які під час процесу відновлення мають високу активну поверхню, термостійкість і міцність. Технологічні параметри становлять: температура – 250–400 °C, тиск – до 29,6 МПа, об'ємна швидкість газу 6000–20000 год$^{-1}$ [15].

Основною перевагою каталітичного способу є високий ступінь очищення (до 98 %). Основні недоліки – певні вимоги до якості каталізатора, жорсткі вимоги до складу газу, якій очищується, щодо вмісту сполук сірки, які є каталітичною отрутою, утворення нових речовин, що треба видаляти з газу.

Висновки

У даний час серед способів знешкодження карбон (IV) оксиду в промислових газових викидах значна частка припадає на очищення за допомогою розчинів етаноламінів – 62 %, частка інших технологій становить приблизно 15 %, решта – викиди неочищеного газу. З точки зору виробництва кальцинованої соди вибір найбільш ефективного способу очищення буде здійснюватися залежно від необхідного ступеня очищення, обсягу газу, що викидається, місця розташування содового підприємства. Як параметри, що впливатимуть на вибір оптимального способу також можна виділити:

- наявність водяної пари та інших домішок (SO_2, NO_x, CO, пил) в складі газу, що очищається;
- летючість абсорбенту;
- міцність адсорбенту;
- активність каталізатору;
- селективність та можливість регенерації;
- вартість і термін служби.

Після очищення технологічних газів від карбон (IV) оксиду постає головне питання щодо утилізації CO_2 або продуктів, що утворились під час цього процесу. Зараз у світі основним напрямом утилізації вилученого з газів карбон (IV) оксиду є його використання в комерційних цілях:

- для видобутку нафти вторинним способом;
- у харчовій промисловості для виробництва продуктів харчування і напоїв після очищений CO_2 до рівня харчової чистоти;
- як сировина для виробництва полімерів, метанолу, харчової соди.

Продукти процесу очищення можуть застосовуватися як паливо (CH_4), мінеральні добрива (NH_4HCO_3) та мінеральні солі ($NaHCO_3$).

Альтернативою може бути підземне зберігання зрідженого CO_2 (секвестрування), як метод зниження кількості карбон (IV) оксиду.

Однак визначальним фактором залишається техніко-економічні показники для використання того чи іншого способу.

Список літератури

1. Gleick P. H., Adams R. M., Amasino R. M. et al. Climate Change and the Integrity of Science. *Science*. 2010. Vol. 328, Issue 5979. P. 689-690. doi: 10.1126/science.328.5979.689.
2. Геращенко И. О. О влиянии промышленных выбросов углекислого газа на климатические изменения. *Газохимия*. 2010. № 6(16). С. 55-57.
3. Global Energy & CO_2 Status Report 2019. *IEA*. URL: https://www.iea.org/reports/global-energy-and-co2-status-report-2019/emissions#abstract.
4. Буренко Т. Енергоефективність у промисловості: додатковий тягар чи інструмент модернізації та зменшення викидів парникових газів? *ECOBUSINESS. Екологія підприємства*. 2019. № 1(78). С. 14-17. URL: http://ecolog-ua.com/sites/default/files/banners/2019/1_2019_full/present_nomer.pdf.
5. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року. Київ, 2018. URL: https://menr.gov.ua/files/docs/Proekt/LEDS_ua_last.pdf.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

6. Andersen M. S. Europe's experience with carbon-energy taxation. *S.A.P.I.EN.S S* [Online]. 2010. Vol. 3, Issue 2. URL: http://journals.openedition. org/sapiens/1072.
7. Про внесення змін до Податкового кодексу України та деяких інших законодавчих актів України щодо покращення адміністрування та перегляду ставок окремих податків і зборів: Закон України від 23 листопада 2018 р. № 2628-VIII / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2628-19.
8. Проект Закону про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів / Верховна Рада України. URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/ webproc4 1?pf3511=64881.
9. Griffin P. W., Hammond G. P., Norman J. B. Industrial energy use and carbon emissions reduction in the chemicals sector: A UK perspective. *Applied Energy*. 2018. Vol. 227. P. 587-602. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.08.010.
10. Soda Ash Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2019-2024. URL: https://www.researchandmarkets.com/reports/4828744/soda-ash-market-global-industry-trends-share?utm_source=CI&utm_medium=PressRelease&utm_code=gl2xm7&utm_campaign=1289066+-+Global+Soda+Ash+Markets%2c+2011-2018+%26+2019-2024&utm_exec=chdo54prd.
11. Soda Ash Production by Country (Thousand metric tons). *IndexMundi*. URL: https://www.indexmundi.com/minerals /?product=soda-ash&graph=production.
12. Михайлова Є. О. Проблема газових викидів виробництва кальцинованої соди *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції (16–18 травня 2018 р., Харків).* Харків: НТУ «ХПІ», 2018. С. 271.
13. Михайлова Є. О. Сучасні кроки України у вирішенні проблеми глобальної зміни клімату. *Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика. Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції (24 листопада 2016 р., Харків).* Харків: ФОП Бровін О.В., 2016. С. 183-184.
14. Кондрат Р. М., Серединський Д. Ю., Кондрат О. Р. Дослідження застосування вуглекислого газу для вилучення залишкової нафти з обводнених нафтових покладів. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2010. № 2(35). С. 26-30.
15. Товажнянський Л. Л., Лобойко О. Я., Гринь Г. І. та ін. *Технологія зв'язаного азоту*. Харків: НТУ «ХПІ», 2007. 536 с.
16. Мухаметгалиев И. М., Черкасова Е. И., Муллахметова Л. И., Ласковенокова Е. А. Очистка газов от кислых компонентов. *Вестник Казанского технологического университета*. 2017. Т 20, № 3. С. 54-60.
17. Stern M. C., Simeon F., Herzogb H., Hatton T. A. Post-combustion carbon dioxide capture using electrochemically mediated amine regeneration. *Energy & Environmental Science*. 2013. Issue 8. P. 2505-2517. doi: 10.1039/C3EE41165F.
18. Михайлова Є. О. Аналіз методів знешкодження сульфуру (IV) оксиду в газових викидах виробництва кальцинованої соди. *Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції (25–26 жовтня 2018 р., Херсон).* Херсон: Олді-плюс, 2018. С. 172-176.
19. Михайлова Є. О. Можливі способи очищення газових викидів від оксидів нітрогену в умовах виробництва кальцинованої соди. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення. Збірник наукових статей XV Міжнародної науково-практичної конференції (9–13 вересня 2019 р., Харків).* Харків: ПП «Стиль-Іздат», 2019. С. 227-231.
20. Yusuf A., Giwa A., Mohammed E. O., Mohammed O., Hajaj A. Al, Abu-Zahra M. R. M. CO_2 utilization from power plant: A comparative techno-economic assessment of soda ash production and scrubbing by monoethanolamine. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 237. P. 117760. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117760.
21. Jongpitisub A., Siemanond K., Henni A. Simulation of Carbon-Dioxide-Capture Process using Aqueous Ammonia. *Computer Aided Chemical Engineering*. 2015. Vol. 37. P. 1301-1306. doi: 10.1016/B978-0-444-63577-8.50062-0.
22. Dura G., Budarin V. L., Castro-Osma J. A., Shuttleworth P. S., Quek S. C. Z., Clark J. H., North M. Importance of Micropore-Mesopore Interfaces in Carbon Dioxide Capture by Carbon-Based Materials. *Angewandte Chemie*. 2016. Vol. 55, Issue 32. P. 9173-9177. doi: 10.1002/anie.201602226.

References (transliterated)

1. Gleick P. H., Adams R. M., Amasino R. M. et al. Climate Change and the Integrity of Science. *Science*, 2010, Vol. 328, Issue 5979, pp. 689-690, doi: 10.1126/science.328. 5979.689.
2. Gerashchenko I. O., Lapidus A. L. O vliyanii promyshlennykh vybrosov uglekislogo gaza na klimaticheskiye izmeneniya [On the effect of industrial carbon dioxide emissions on climate change]. *Gas chemistry*, 2010, 6(16), pp. 55-57.
3. Global Energy & CO_2 Status Report 2019. *IEA*. Available at: https://www.iea.org/reports/global-energy-and-co2-status -report-2019/emissions#abstract.
4. Burenko T. Enerhoefektyvnist′ u promyslovosti: dodatkovyy tyahar chy instrument modernizatsiyi ta zmenshennya vykydiv parnykovykh haziv? [Energy efficiency in industry: an additional burden or tool for modernization and reduction of greenhouse gas emissions?]. *ECOBUSINESS. Enterprise ecology*, 2019, no. 1(78), pp. 14-17. Available at: http://ecolog-ua.com/sites/default/files/banners/2019/1_ 2019_full/present_nomer.pdf.
5. Stratehiya nyz′kovuhletsevoho rozvytku Ukrayiny do 2050 roku [Ukraine's Low Carbon Development Strategy until 2050]. Kiev, 2018. Available at: https://menr.gov.ua/files/ docs/Proekt / LEDS_ua_last.pdf.
6. Andersen M. S. Europe's experience with carbon-energy taxation. *S.A.P.I.EN.S S* [Online], 2010, Vol. 3, Issue 2. Available at: http:// journals.openedition.org/sapiens/1072.
7. Pro vnesennya zmin do Podatkovoho kodeksu Ukrayiny ta deyakykh inshykh zakonodavchykh aktiv Ukrayiny shchodo pokrashchennya administruvannya ta perehlyadu stavok okremykh podatkiv i zboriv: Zakon Ukrayiny vid 23 lystopada 2018 r. № 2628-VIII [On amendments to the Tax Code of Ukraine and some other legislative acts of Ukraine on improving the administration and revision of rates of individual taxes and fees: Law of Ukraine of November 23, 2018 No. 2628-VIII]. Verkhovna Rada Ukrayiny [Verkhovna Rada of Ukraine]. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2628-19.

8. Proekt Zakonu pro zasady monitorynhu, zvitnosti ta veryfikatsiyi vykydiv parnykovykh haziv [Draft Law on Principles of Monitoring, Reporting and Verification of Greenhouse Gas Emissions]. Verkhovna Rada Ukrayiny [Verkhovna Rada of Ukraine]. Available at: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=64881.
9. Griffin P. W., Hammond G. P., Norman J. B. Industrial energy use and carbon emissions reduction in the chemicals sector: A UK perspective. *Applied Energy*, 2018, Vol. 227, pp. 587-602, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.08.010.
10. Soda Ash Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2019-2024. Available at: https://www.researchandmarkets.com/reports/4828744/soda-ash-market-global-industry-trends-share?utm_source=CI&utm_medium=PressRelease&utm_code=gl2xm7&utm_campaign=1289066+-+Global+Soda+Ash+Markets%2c+2011-2018+%26+2019-2024&utm_exec=chdo54prd.
11. Soda Ash Production by Country (Thousand metric tons). *IndexMundi*. Available at: https://www.indexmundi.com/minerals/?product=soda-ash&graph=production.
12. Mykhailova E. O. [The problem of gas emissions of soda ash manufacture]. *Informatsiyni tekhnolohiyi: nauka, tekhnika, tekhnolohiya, osvita, zdorov"ya. Tezy dopovidey XXVI mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (16-18 travnya 2018 r., Kharkiv)* [Information technologies: science, technology, education, health. Abstracts of the XXVI International Scientific Conference (16-18 May 2018, Kharkov)]. Kharkov, NTU "KHPI" Publ., 2018, p. 271.
13. Mykhailova E. O. [Modern steps of Ukraine in solving the problem of global climate change]. *Problemy tekhnohenno-ekolohichnoyi bezpeky: osvita, nauka, praktyka. Zbirnyk materialiv Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (24 lystopada 2016 r., Kharkiv)* [Problems of technogenic and ecological safety: education, science, practice. Collection of materials of the All-Ukrainian scientific-practical conference (24 November 2016, Kharkov)]. Kharkov: FOP Brovin O.V. Publ., 2016, pp. 183-184.
14. Kondrat R. M., Seredyns′kyy D. Yu., Kondrat O. R. Doslidzhennya zastosuvannya vuhlekysloho hazu dlya vyluchennya zalyshkovoyi nafty z obvodnenykh naftovykh pokladiv [Investigation of the use of carbon dioxide for the extraction of residual oil from flooded oil deposits]. *Exploration and development of oil and gas fields*, 2010, no. 2(35), pp. 26-30.
15. Tovazhnyansky L. L., Loboyko O. Ya., Grin G. I. et al *Tekhnolohiya zv"yazanoho azotu* [The technology of bound nitrogen]. Kharkov: NTU "KHPI" Publ., 2007. 536 p.
16. Mukhametgaliev I. M., Cherkasova E. I., Mullakhmetova L. I., Laskovenokova E. A. Ochistka gazov ot kislykh komponentov [Purification of gases from acidic components]. *Bulletin of Kazan Technological University*, 2017, Vol. 20, no. 3, pp. 54-60.
17. Stern M. C., Simeon F., Herzogb H., Hatton T. A. Post-combustion carbon dioxide capture using electrochemically mediated amine regeneration. *Energy & Environmental Science*, 2013, Issue 8, pp. 2505-2517, doi: 10.1039/C3EE41165F.
18. Mykhailova E. O. [The analysis of methods of sulfur (IV) oxide neutralization in gas emissions of soda ash production manufacture]. *Ekolohichni problemy navkolyshn'oho seredovyshcha ta ratsional'noho pryrodokorystuvannya v konteksti staloho rozvytku. Zbirnyk tez dopovidey Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (25-26 zhovtnya 2018 r., Kherson)* [Ecological problems of the environment and rational use of nature in the context of sustainable development. Collection of abstracts of the International scientific-practical conference (25 -26 October 2018, Kherson)]. Kherson: Oldi-plyus Publ., 2018, pp. 172-176.
19. Mykhailova E. O. [Possible ways of purification of gas emissions from nitrogens oxides in the conditions of soda ash production manufacture]. *Ekolohichna bezpeka: problemy i shlyakhy vyrishennya. Zbirnyk naukovykh statey XV Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (9-13 veresnya 2019 r., Kharkiv)* [Ecological safety: problems and solutions. Collection of scientific articles of the XV International scientific-practical conference (9-13 September 2019, Kharkov]. Kharkov: PP "Styl′-Izdat" Publ., 2019, pp. 227-231.
20. Yusuf A., Giwa A., Mohammed E. O., Mohammed O., Hajaj A. Al, Abu-Zahra M. R. M. CO_2 utilization from power plant: A comparative techno-economic assessment of soda ash production and scrubbing by monoethanolamine. *Journal of Cleaner Production*, 2019, Vol. 237, p. 117760, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117760.
21. Jongpitisub A., Siemanond K., Henni A. Simulation of Carbon-Dioxide-Capture Process using Aqueous Ammonia. *Computer Aided Chemical Engineering*, 2015, Vol. 37, pp. 1301-1306, doi: 10.1016/B978-0-444-63577-8.50062-0.
22. Dura G., Budarin V. L., Castro-Osma J. A., Shuttleworth P. S., Quek S. C. Z., Clark J. H., North M. Importance of Micropore-Mesopore Interfaces in Carbon Dioxide Capture by Carbon-Based Materials. *Angewandte Chemie*, 2016, Vol. 55, Issue 32. pp. 9173-9177. doi: 10.1002/anie.201602226.

Сведения об авторах (About authors)

Михайлова Євгенія Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, доцент кафедри природоохоронних технологій, екології та безпеки життєдіяльності; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-0182-0823; e-mail: mykhailova.e@ukr.net.

Evgeniia Mykhailova – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Simon Kuznets Kharkov National University of Economics, Associate Professor of Department of Environmental Technologies, Ecology and Safety of Vital Activity; Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-0182-0823; e-mail: mykhailova.e@ukr.net.

Панасенко Володимир Олексійович – доктор технічних наук, професор, Державна установа «Державний науково-дослідний і проектний інститут основної хімії», начальник науково-технічного відділу; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-0441-9063; e-mail: vpanasenko49@gmail.com.

Volodimir Panasenko – Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, State institution "State Research and Design Institute of Basic Chemistry", Head of Scientific and Technical Department; Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-0441-9063; e-mail: vpanasenko49@gmail.com.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Маркова Наталя Борисівна – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник кафедри фізичної хімії; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-9676-1968; e-mail: nmarkova58@ukr.net.

Natalya Markova – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Senior Researcher of Department of Physical Chemistry; Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-9676-1968; e-mail: nmarkova58@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Михайлова Є. О., Панасенко В. О., Маркова Н. Б. Проблема викидів карбон (IV) оксиду та можливі шляхи її вирішення. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 80-88. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.11.

Please cite this article as:

Mykhailova E., Panasenko V., Markova N. Carbon (IV) oxide emissions problem and the possible ways to its solving. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1 (3), pp. 80-88, doi:10.20998/2413-4295.2020.03.11.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Михайлова Е. А., Панасенко В. А., Маркова Н. Б. Проблема выбросов углерода (IV) оксида и возможные пути ее решения. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 80-88. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.11.

АННОТАЦИЯ *Рассмотрена экологическая проблема антропогенных выбросов углерод (IV) оксида, который относится к парниковым газам прямого действия и непосредственное влияет на изменение климата планеты. Главными причинами повышения концентрации антропогенного CO_2 в атмосфере являются энергетические установки, работающие на ископаемом топливе, промышленные производства и вырубка лесов. Одним из секторов экономики, выбрасывающих в атмосферу парниковые газы, является химическая отрасль, в частности производство кальцинированной соды. По статистическим данным на 1 тонну продукта образуется примерно 200-300 кг углерод (IV) оксида. С учетом объемов производства кальцинированной соды и законодательства содовые заводы обязаны платить экологический налог за выбросы CO_2. Таким образом, экономические механизмы регулирования выбросов антропогенных парниковых газов стимулируют исследования этой проблемы и разработку эффективных методов ее решения, в том числе и в производстве кальцинированной соды. Целью работы является комплексный анализ проблемы выбросов углерод (IV) оксида в производстве кальцинированной соды и определение перспективных методов ее решения. Производство кальцинированной соды, которое осуществляется по методу Сольве, выбрасывает в атмосферу до 178 млн. т загрязняющих веществ в год. Основными источниками выбросов являются стадия обжига карбонатного сырья, стадия приготовления аммонизированного рассола и теплоагрегаты ТЭЦ. Общая концентрация углерод (IV) оксида в газовых выбросах составляет от 2 до 35 об. %. Для обезвреживания CO_2 в промышленности используют абсорбционные, адсорбционные и каталитические способы. Приведена общая характеристика каждого метода и указаны их главные преимущества и недостатки. Таким образом, выбор оптимального способа очистки в производстве кальцинированной соды будет осуществляться в зависимости от необходимой степени очистки, объема и состава выбрасываемого газа, свойств абсорбентов, адсорбентов и катализаторов, возможных путей утилизации извлеченного CO2, места расположения содового предприятия. Однако, определяющим фактором остается технико-экономические показатели для использования того или иного способа.*

Ключевые слова: *углерод (IV) оксид; парниковые газы; кальцинированная сода; абсорбция; адсорбция; каталитические методы.*

Надійшла (received) 06.02.2020

УДК 621.35 doi:10.20998/2413-4295.2020.03.12

ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ФОРМУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ СПЛАВАМИ КОБАЛЬТУ В ІМПУЛЬСНОМУ РЕЖИМІ

Т. О. НЕНАСТІНА[1*], М. В. ВЕДЬ[2], М. Д. САХНЕНКО[3], В. О. ПРОСКУРІНА[2]

[1] кафедра технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, УКРАЇНА
[2] кафедра загальної та неорганічної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, УКРАЇНА
[3] кафедра фізичної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, УКРАЇНА
[*]e-mail: nenastina@ukr.net

АНОТАЦІЯ *Електроосадження композиційних покриттів тугоплавкими металами та цирконієм з кобальтом дозволяє отримувати покриття з унікальним поєднанням фізико-хімічних властивостей, недосяжних при використанні інших методів нанесення. Варіюванням складу електроліту в гальваностатичному режимі не вдається отримати якісні композиційні покриття с високим вмістом тугоплавких компонентів та виходом за струмом. Як альтернативу запропоновано використання імпульсного режиму електролізу, що дозволяє вдосконалити технологічний процес отримання композиційних покриттів. Підбір співвідношення тривалості імпульсу та паузи дозволяє уникати введення дорогих добавок і співосаджувати в сплав метали, які в гальваностатичному режимі отримати неможливо. Тому метою роботи було встановлення параметрів електрохімічного нанесення композиційних покриттів кобальту з тугоплавкими металами і цирконієм з нетоксичних електролітів імпульсним електролізом. Використання імпульсного режиму при співвідношенні тривалості імпульсу $1\cdot10^{-3}$-$20\cdot10^{-3}$с и тривалості паузи $2\cdot10^{-3}$-$20\cdot10^{-3}$с та амплітуді катодної густини струму 2-10 А/дм^2 надає можливість одержати композиційні сплави на основі кобальту з підвищеним вмістом цирконію, молібдену і вольфраму порівняно зі стаціонарним режимам. Підвищення робочих густин струму приводить до збільшення вмісту тугоплавких металів в композиційних сплавах, що містять молібден, а також відбувається зменшення розміру зерен у поверхневому шарі сплаву Co-Mo-W_xO_y. На підставі аналізу експериментальних досліджень встановлено вплив амплітуди струму і частоти імпульсів на вихід за струмом і склад композиційних покриттів Co-Mo-W_xO_y, Co-W-ZrO_2 і Co-Mo-ZrO_2. Управління складом гальванічних сплавів Co-Mo-W_xO_y, Co-Mo-ZrO_2 і Co-W-ZrO_2 в досить широкому діапазоні концентрацій сплавотвірних компонентів досягається варіюванням параметрів імпульсного електролізу, що дозволяє адаптувати технологію нанесення до потреб сучасного ринку.*

Ключові слова: *композиційне електролітичне покриття; тернарні сплави; частота; імпульсний режим; густина струму; вихід за струмом*

ELECTROCHEMICAL FORMATION OF COMPOSITION COATINGS BY COBALT ALLOYS IN PULSE MODE

T. NENASTINA[1], M. VED'[2], M. SAKHNENKO[3], V. PROSKURINA[2]

[1] Departament of Technologies of Road-Buiding Materials and Chemistry, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkiv, UKRAINE
[2] Department of General and Inorganic Chemistry, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE
[3] Department of Physical Chemistry, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT *Electrodeposition of refractory metals and zirconium in composite alloys with cobalt allows to obtain coatings with a unique combination of physicochemical properties that are unachievable while using other methods of covering. By varying the composition of the electrolyte in galvanostatic mode it is impossible to obtain high-quality composite coatings with a high content of refractory components and current efficiency. As an alternative, it was suggested the use of pulsed electrolysis mode that allows to improve the producing of composite coatings. The selection of the ratio of pulse duration and pause allows avoiding the introduction of expensive additives and co-depositing metals in the alloy, which is not possible in the galvanostatic mode. Therefore, the purpose of the work was to determine the parameters for electrochemical deposition of cobalt coatings with refractory metals and zirconium from non-toxic electrolytes by pulsed electrolysis. The use of pulse mode at a ratio of the pulse duration $1\cdot10^{-3}$-$20\cdot10^{-3}$ s and a pause duration of $2\cdot10^{-3}$-$20\cdot10^{-3}$ s and an amplitude of the cathodic current density of 2-10 A/dm^2 allows to obtain cobalt-based composite alloys with an increased content of zirconium, molybdenum and tungsten as comparing with stationary modes. Increasing the operating current densities causes the increase of the refractory metals content in composite alloys that contain molybdenum, and also decreases the grain size of the Co-Mo-W_xO_y alloy surface layer. Based on the analysis of the experimental studies, the dependencies of current amplitude and pulse frequency on the current efficiency and composition of Co-Mo-W_xO_y, Co-W-ZrO_2 and Co-Mo-ZrO_2 alloy coating were determined. The control of the composition of Co-Mo-W_xO_y, Co-W-ZrO_2 and Co-Mo-ZrO_2 galvanic alloys in a quite wide range of alloying components concentrations is being achieved by varying the parameters of the pulse electrolysis, which allows adapting of the deposition technology to the needs of the modern market.*

Keywords*: composite coatings; ternary alloys; frequency; pulse mode; current density; current efficiency*

Вступ

Електроосадження сплавів тугоплавких металів з металами підгрупи заліза дозволяє отримувати покриття з унікальним поєднанням фізико-хімічних властивостей, недосяжних при використанні інших методів нанесення, проте закономірності процесу

© Т. О. НЕНАСТІНА, М. В. ВЕДЬ, М. Д. САХНЕНКО, В. О. ПРОСКУРІНА, 2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

багато в чому залишаються нез'ясованими [1-4]. Гіпотези, що пояснюють причину і описують кінетику спільного електроосадження тугоплавких металів з родиною заліза [5-8], будуються на підставі експериментальних даних, отриманих з використанням тієї чи іншої методики підготовки і проведення експерименту. Електрохімічне осадження вольфраму, молібдену і цирконію з кобальтом в сплав ускладнено великою різницею стандартних електродних потенціалів сплавотвірних компонентів [9]. Використання полілігандних електролітів дозволяє зблизити електродні потенціали і, відповідно, отримати покриття високої якості. Попередні дослідження [10] довели можливість нанесення сплавів кобальту з тугоплавкими металами і цирконієм в гальваностатичному режимі. Однак низьке значення виходу за струмом і невеликий вміст цирконію (до 0,6 мас.%) в складі сплаву спрямовує подальші дослідження в бік імпульсного електролізу.

Імпульсні і реверсивні струми знаходять все більш широке застосування в гальванотехніці [11]. Це обумовлюється широкими можливостями для управління структурою, властивостями і якістю одержуваних покриттів, включаючи зовнішній вигляд, а також можливість інтенсифікації процесів осадження порівняно із традиційними методами електролізу. Імпульсний електроліз дозволяє отримувати наноструктуровані покриття, властивості яких відрізняються від властивостей покриттів зі звичайним розміром зерна [12,13]. Перевага застосування імпульсних режимів електролізу полягає у більшій гнучкості і керованості процесу, яка обумовлена значно більшою кількістю незалежних параметрів, які контролюють процес осадження порівняно з електролізом без переривання струму. Це розширює можливість управління електроосадженням і дозволяє отримувати покриття із заданими властивостями. Таким чином, проведення досліджень, спрямованих на формування імпульсним електролізом композиційних покриттів сплавами Co-Mo-ZrO_2, Co-W-ZrO_2 і Co-Mo-W_xO_y та визначення їх складу є актуальною та своєчасною проблемою.

Мета роботи

Удосконалення електрохімічного нанесення композиційних покриттів кобальту з тугоплавкими металами і цирконієм з нетоксичних електролітів імпульсним електролізом.

Методика виконання експерименту

Електрохімічне осадження потрійних сплавів і композитів на основі кобальту з тугоплавкими металами і цирконієм проводили з полілігандних цитратно-дифосфатних електролітів [14, 15] в імпульсному режимі при варіюванні густини струму j=1-10 А/дм^2, тривалості імпульсу $1\cdot10^{-3}$ – $20\cdot10^{-3}$ с та тривалості паузи $2\cdot10^{-3}$ – $20\cdot10^{-3}$с, з використанням потенціостата ПІ-50-1.1 та програматора ПР-8. Співвідношення тривалості імпульсу і паузи змінювали залежно від вимог [16], які висуваються до покриттів, їх призначення і подальшого використання. Як розчинні аноди використовували пластини з кобальту, розміри яких перевищували розміри катоду в 10 разів. Електроліти для осадження композиційних покривів Co-Mo-W_xO_y і Co-Mo(W)-ZrO_2 готували з аналітично чистих реактивів, які розчиняли в невеликій кількості дистильованої води, після чого розчин змішували у певній послідовності, ґрунтуючись на результатах дослідження іонних рівноваг [15]. Покриття сплавами наносили на підкладки з міді (М0), розміром 1 см^2.

Хімічний склад отриманих покриттів визначали рентгенофлуоресцентним методом з використанням портативного спектрометра «СПРУТ», що має відносне стандартне відхилення 10^{-3} – 10^{-2}. Аналіз проводили мінімум в 3 точках з подальшим усередненням отриманих значень [16]. Елементний склад і морфологію поверхні покриттів аналізували на скануючому електронному мікроскопі (СЕМ) ZEISS EVO 40XVP. Зображення отримували за допомогою реєстрації вторинних електронів шляхом сканування електронним пучком, що дало змогу дослідити топографію з високою роздільною здатністю і контрастністю [17, 18]. Похибка вимірювання вмісту компонентів становила ± 1 мас. %. Результати аналізу покриттів отриманих ренгенофлуоресцентним методом і методом скануючого електронного мікроскопа добре узгоджуються між собою, що дозволяє використовувати їх одночасно.

Частоту (f), як одну з характеристик послідовності періодичного повторювання імпульсів і паузи імпульсного електролізу, визначали за формулою:

$$f = 1/(t_і + t_п),$$

де t – період повторення імпульсів, $t_і$ – тривалість імпульсу, $t_п$ – тривалість паузи.

Вихід за струмом сплаву визначали гравіметричним методом з урахуванням загальної кількості електрики, перенесеної в електрохімічній системі.

Обговорення результатів

Дослідження впливу режимів електролізу на склад, структуру та вихід за струмом композиційних покриттів сплавами Co-Mo-ZrO_2, Co-W-ZrO_2 і Co-Mo-W_xO_y, а також встановлення їх взаємозв'язку з властивостями синтезованих сплавів є основою для рекомендацій щодо застосування матеріалів. Використання гальваностатичного режиму, а також варіювання складу компонентів електролітів не дозволяє отримати якісні покриття Co-Mo-ZrO_2 і Co-W-ZrO_2 з вмістом Zr в складі сплаву

більше 0,6 мас. %. Тому для покращення цих властивостей був використаний імпульсний електроліз. Імпульсний електроліз є перспективним методом осадження покриття, оскільки дозволяє вдосконалювати технологічний процес без зміни складу електроліту.

Для визначення ефективності процесу встановлено вплив густини струму на вихід сплавів за струмом ВС (рис.1). Так, вихід по струму для композиційного покриття Co-Mo-W_xO_y практично не залежить від амплітуди імпульсу і знаходиться на досить високому рівні в межах 70-80%, в той час як для сплавів, що містять в своєму складі цирконій, цей показник значно менше.

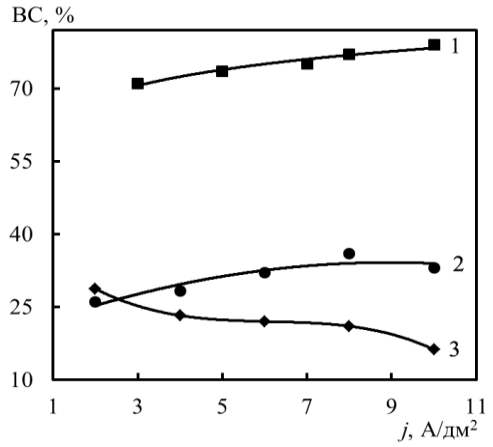


Рис. 1. – Вплив густини струму осадження покривів Co-Mo-W_xO_y (1) Co-Mo-ZrO_2 (2) і Co-W-ZrO_2 (3) на вихід за струмом в імпульсному режимі електролізу t_i = 5·10-3 с, t_n = 1·10-3 с. Температура T = 25 ° C, pH = 8

Вихід за струмом сплаву Co-Mo-ZrO_2 (рис. 1, 2) зростає і стабілізується на рівні 32-35% в інтервалі густин струму 7-10 А/дм^2, що пов'язано з досягненням потенціалу відновлення молібдену з молібдатів в імпульсі і участю адсорбованого водню у відновленні проміжних оксидів тугоплавкого елемента в паузі. У той же час, вихід за струмом сплавів Co-W-ZrO_2 (рис. 1, 3) знижується, що може бути пов'язано з значним гальмуванням відновлення вольфраматів, а також з істотними коливаннями катодного потенціалу, що полегшують видалення бульбашок водню з поверхні електрода, яке зсуває рівновагу реакції $H_{адс} \leftrightarrow H_2$ в бік утворення молекулярного водню.

Густина струму також впливає на склад отриманих покриттів (рис. 2). Отримані результати можна пояснити, зокрема збагаченням сплавів вольфрамом до 15 мас. % при низьких густинах струму. При подальшому збільшенні амплітуди імпульсного струму для сплаву Co-Mo-W_xO_y тугоплавкі метали співосаджуються конкурентно внаслідок зміни швидкості парціальних реакцій відновлення окремих складових зі зміною поляризації, що призводить до поступового збагачення покриттів молібденом за рахунок зменшення вмісту вольфраму, в той час як для сплаву Co-W-ZrO_2 спостерігається зменшення вмісту вольфраму в складі сплаву.

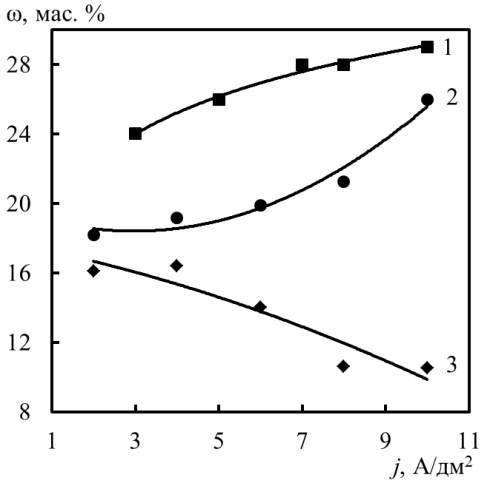


Рис. 2. – Вплив густини струму осадження покривів Co-Mo-W_xO_y (1), Co-Mo-ZrO_2 (2) і Co-W-ZrO_2 (3) на сумарний вміст тугоплавких металів в сплаві. Імпульсний режим електролізу t_i = 5 мс, tn = 1 мс. Температура T = 25 ° C, pH = 8

Для сплаву Co-Mo-ZrO_2, на відміну від Co-W-ZrO_2, спостерігається збільшення вмісту тугоплавких компонентів при підвищенні густини струму, що, імовірно, пов'язано з каталітичною дією кобальту на розряд оксоаніонів молібдену. Вміст цирконію в складі покриттів Co-Mo-ZrO_2 і Co-W-ZrO_2 коливається в межах 1,5-2,5%.

При підвищення густини струму відбувається зменшення розміру зерна в поверхневому шарі, що підтверджує аморфізацію структури Co-Mo-W_xO_y. У аналогічних умовах на поверхні підкладки формується більш дрібнокристалічне покриття композитами Co-Mo-ZrO_2 і Co-W-ZrO_2.

При імпульсному електролізі впродовж імпульсу струму відбувається перерозподіл парціальних швидкостей виділення металів і водню на користь металів. Це призводить до зменшення імовірності залуження прикатодного шару, в результаті чого стримується утворення на поверхні електрода гідроксидів кобальту. Під час паузи за рахунок дифузії відбувається поповнення приелектродного шару металовмісними іонами до значень, що відповідають об'єму електроліту. За таких обставин необхідно проаналізувати вплив тривалості імпульсу на вміст металів та ефективність процесу осадження.

З підвищенням частоти імпульсів з 30 до 90 Гц ВС для композитів Co-Mo-W_xO_y і Co-Mo-ZrO_2 зростає (рис. 3), а для покриттів Co-W-ZrO_2 залежність має протилежний характер.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

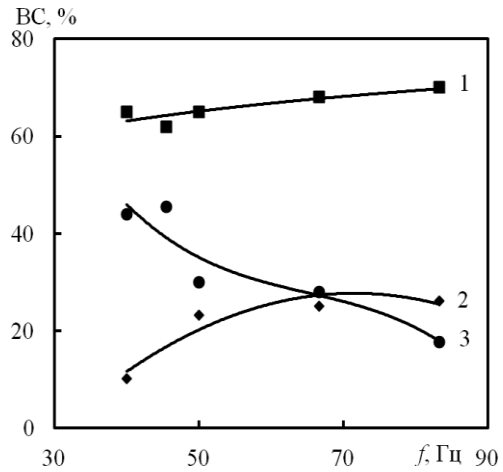


Рис. 3. – Вплив частоти імпульсу на вихід за струмом покриттів Co-Mo-W_xO_y (1) Co-Mo-ZrO_2 (2) і Co-W-ZrO_2 (3) в імпульсному режимі електролізу при j=4 А/дм^2. Температура T = 25 ° C, pH = 8

Аналіз впливу частоти імпульсу на склад покриття відображає (рис. 4) загальну тенденцію щодо включення тугоплавких металів до складу композиційного покриття.

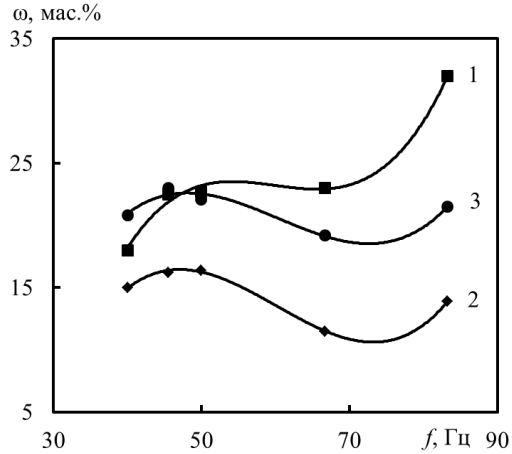


Рис. 4. – Вплив частоти імпульсу на сумарний вміст тугоплавких металів в складі покриттів Co-Mo-W_xO_y (1) Co-Mo-ZrO_2 (2) і Co-W-ZrO_2 (3). Імпульсний режим електролізу j=4 А/дм^2. Температура T = 25 ° C, pH = 8

Максимальний вміст цих металів спостерігається при частоті 88 Гц, а при подальшому підвищенні частоти імпульсів масова частка Mo, W і Zr в складі композиційних матеріалів зменшується. Встановлено, що збільшення тривалості імпульсів вище за запропоновану приводить до підвищення перенапруги виділення тугоплавких металів у сплави і, відповідно, погіршення якості покриття, а тривалості пауз – до зниження продуктивності електролізу.

Висновки

Таким чином, на підставі проведених досліджень встановлено, що з цитратно-дифосфатних електролітів формуються електролітичні покриття Co-Mo-ZrO_2, Co-W-ZrO_2 і Co-Mo-W_xO_y з високим відсотком тугоплавких компонентів, зокрема з вмістом цирконію до 2,5%. Отримані покриття рівномірно розподілені по поверхні і міцно зчеплені з основою.

Визначено параметри імпульсного електролізу для отримання якісних покриттів сплавами на основі кобальту з максимальним ВС і вмістом тугоплавких компонентів. Варіювання амплітуди, шпаруватості і частоти імпульсів дозволяють керувати складом і властивостями покриттів.

Список літератури

1. Jiang L., Lu J., Pan S. et al. Effect of rare earth salt and perpendicular magnetic field on corrosion resistance and microstructure of CoMoP film in chloride solution. *International Journal of Electrochemical Science*. 2010. 7. P. 2188-2200.
2. Siu C. L., Man H. C., Yeung C. H. Interdiffusion coefficients of various cobalt base alloy coatings for Cu/Au system. *Applied Surface Science*. Dordrecnt: Elsevier. 2005. V. 245. P. 79-86. doi: 10.1016/j.apsusc.2004.09.107.
3. Kublanovsky V., Bersirova O., Yapontseva Yu. Cobalt-Molybdenum-Phosphorus Alloys: Electroplating and Corrosion Properties. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces.* 2009. Vol. 45. 5. P. 588-594. doi: 10.1134/S2070205109050165.
4. Esther P., Kennady J., Saravanan P., Venkataehalam T. Structural and Magnetic Properties of Electrodeposited Ni-Fe-W Thin Films. *Journal of Non-Oxide Glasses*. 2009. 3. P. 301-309.
5. Васько А. Т. *Электрохимия молибдена и вольфрама*. Киев: Наукова думка, 1977. 172 с.
6. Tsynsaru N., Cesiulis H., Donten M., Sort J., Pellicer E., Podlaha-Murphy E. Modern trends in tungsten alloys electrodeposition with iron group metals. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry.* 2012. 48. P. 491-520. doi: 10.3103/S1068375512060038.
7. Eliaz N., Gileadi E. Induced codepositio of alloys of tungsten, molybdenum and rhenium with transition metals. *Modern Aspects of Electrochemistry*. 2008. 42. P. 191-301. doi: 10.1007/978-0-387-49489-0_4.
8. Tsyntsaru N., Dikusar A., Cesiulis H. Tribological and Corrosive Characteristics of Electrochemical Coatings Based on Cobalt and Iron Superalloys. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2009. № 48. P. 419-428. doi: 10.1007/s11106-009-9150-7.
9. Yar-Mukhamedova G., Sakhnenko N., Nenastina T. Electrodeposition and properties of binary and ternary cobalt alloys with molybdenum and tungsten. *Applied Surface Science*. 2018. 445 P. 298-307. doi: 10.1016/j.apsusc.2018.03.171.
10. Nenastina T. A., Ved' M. V., Proskurina V. O., Zyubanova S. I. Electrochemical deposition of Co-Mo-W and Co-Mo-Zr coatings from complex electrolytes. *Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry*. Kyiv.: KNUTD 2019. P. 60-66.

11. Павлатоу Э. А., Спиреллис Н. Влияние условий импульсного осаждения металла на структуру и свойства нанокристаллических покрытий из чистого никеля и никелевых композитов. *Электрохимия*. 2008. Т. 44, № 6. С. 802-811.
12. Yuan Xuetao et al. Influence of pulse parameters on the microstructure and microhardness of nickel electrodeposits. *Surface and Coatings Technology*. 2008. Vol. 202, Issue 9. P. 1895-1903. doi: 10.1016/j.surfcoat.2007.08.023.
13. Shen Y. F. et al. Mechanical properties of nanocrystalline nickel films deposited by pulse plating. *Surface and Coatings Technology*. 2008. Vol. 202. Issue 21. P. 5140-5145. doi: 10.1016/j.surfcoat.2008.05.027.
14. Kuznetsov V. V., Pshenichkina T. V. Kinetics of cathodic reactions in the electrodeposition of cobalt-molybdenum alloy. *Russian Journal of Electrochemistry.* 2010. 4. P. 401-410. doi: 10.1134/S1023193510040051.
15. Yar-Mukhamedova G., Sakhnenko N., Koziar M. Ternary cobalt-molybdenum-zirconium coatings for alternative energies. *Applied Surface Science*. 2017. № 421. P. 68-76. doi: 10.1016/j.apsusc.2017.01.196.
16. Mikhailov I. F., Baturin A. A., Mikhailov A. I., Fomina L. P. Perspectives of development of X-ray analysis for material composition. *Functional materials*. 2016. 1. P. 5-14. doi: 10.15407/fm23.01.005.
17. Миронов В. Л. *Основы сканирующей зондовой микроскопии*. М.: Техносфера, 2005. 144 с.
18. Yar-Mukhamedova G., Ved' M., Sakhnenko N., Nenastina T. Electrodeposition and properties of binary and ternary cobalt alloys with molybdenum and tungsten. *Applied Surface Science*. 2018. 445. P. 298-307. doi: 10.1016/j.apsusc.2018.03.171.

References (transliterated)

1. Jiang L., Lu J., Pan S. et al. Effect of rare earth salt and perpendicular magnetic field on corrosion resistance and microstructure of CoMoP film in chloride solution *International Journal of Electrochemical Science*, 2010, no,7, P. 2188- 2200.
2. Siu C. L., Man H. C., Yeung C. H. Interdiffusion coefficients of various cobalt base alloy coatings for Cu/Au system. *Applied Surface Science*, Dordrecnt: Elsevier, 2005, V. 245, P. 79-86, doi: 10.1016/j.apsusc.2004.09.107.
3. Kublanovsky V., Bersirova O., Yapontseva Yu. Cobalt–Molybdenum–Phosphorus Alloys: Electroplating and Corrosion Properties. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces,* 2009, V. 45, no.5, P. 588-594, doi: 10.1134/S2070205109050165.
4. Esther P., Kennady J., Saravanan P., Venkataehalam T. Structural and Magnetic Properties of Electrodeposited Ni-Fe-W Thin Films. *Journal of Non-Oxide Glasses*, 2009, no. 3, P. 301-309.
5. Vasko A.T. *Elektrokhimiya molibdena i vol'frama.* [Electrochemistry of molybdenum and tungsten]. Kiev, Naukova Dumka, 1977. 172 p.
6. Tsynsaru N., Cesiulis H., Donten M., Sort J., Pellicer E., Podlaha-Murphy E. Modern trends in tungsten alloys electrodeposition with iron group metals. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry,* 2012, no. 48, P. 491-520, doi: 10.3103/S1068375512060038.
7. Eliaz N., Gileadi E. Induced codepositio of alloys of tungsten, molybdenum and rhenium with transition metals. *Modern Aspects of Electrochemistry*, 2008, no. 42, P. 191-301, doi: 10.1007/978-0-387-49489-0_4.
8. Tsyntsaru N., Dikusar A., Cesiulis H. Tribological and Corrosive Characteristics of Electrochemical Coatings Based on Cobalt and Iron Superalloys. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 2009, no. 48, P. 419-428, doi: 10.1007/s11106-009-9150-7.
9. Yar-Mukhamedova G., Sakhnenko N., Nenastina T. Electrodeposition and properties of binary and ternary cobalt alloys with molybdenum and tungsten. *Applied Surface Science*, 2018, no. 445 P. 298-307, doi: 10.1016/j.apsusc.2018.03.171.
10. Nenastina T. A., Ved' M. V., Proskurina V. O., Zyubanova S. I. Electrochemical deposition of Co-Mo-W and Co-Mo-Zr coatings from complex electrolytes. *Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry*. Kyiv., KNUTD 2019, P. 60-66.
11. Pavlatou E. A., Spirellis N. Vliyaniye usloviy impul'snogo osazhdeniya metalla na strukturu i svoystva nanokristallicheskikh pokrytiy iz chistogo nikelya i nikelevykh kompozitov. [Influence of the conditions of pulsed metal deposition on the structure and properties of nanocrystalline coatings of pure nickel and nickel composites]. *Electrochemistry*, 2008, no. 6, pp. 802-811.
12. Yuan Xuetao et al. Influence of pulse parameters on the microstructure and microhardness of nickel electrodeposits. *Surface and Coatings Technology*, 2008, V. 202, Issue 9, P. 1895-1903, doi: 10.1016/j.surfcoat.2007.08.023.
13. Y. F. Shen et al. Mechanical properties of nanocrystalline nickel films deposited by pulse plating. *Surface and Coatings Technology*, 2008, V. 202, Issue 21, P. 5140-5145, doi: 10.1016/j.surfcoat.2008.05.027.
14. Kuznetsov V.V., Pshenichkina T.V. Kinetics of cathodic reactions in the electrodeposition of cobalt-molybdenum alloy. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2010, no. 4, P. 401-410, doi: 10.1134/S1023193510040051.
15. Yar-Mukhamedova G., Sakhnenko N., Koziar M. Ternary cobalt-molybdenum-zirconium coatings for alternative energies. *Applied Surface Science*, 2017, no. 421, P. 68-76, doi: 10.1016/j.apsusc.2017.01.196.
16. Mikhailov I. F., Baturin A. A., Mikhailov A. I., Fomina L. P. Perspectives of development of X-ray analysis for material composition. *Functional materials*, 2016, No. 1, P. 5-14, doi: 10.15407/fm23.01.005.
17. Mironov V. L. Osnovy skaniruyushchey zondovoy mikroskopii. [The basics of scanning probe microscopy]. M., Tekhnosfera, 2005. 144 p.
18. Yar-Mukhamedova G., Ved' M., Sakhnenko N., Nenastina T. Electrodeposition and properties of binary and ternary cobalt alloys with molybdenum and tungsten. *Applied Surface Science*, 2018, no. 445, P. 298-307, doi: 10.1016/j.apsusc.2018.03.171.

Сведения об авторах (About authors)

Ненастіна Тетяна Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-6108-4023; e-mail: nenastina@ukr.net.

Tetiana Nenastina – Ph.D., Assoc. prof., The department of technology of road-construction materials and chemistry, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-6108-4023; e-mail: nenastina@ukr.net.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Ведь Марина Віталіївна – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри загальної та неорганічної хімії; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-5719-6284; e-mail: vmv@kpi.kharkov.ua.

Marina Ved' – Dr. Sci., Prof., department of general and inorganic chemistry, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-5719-6284; e-mail: vmv@kpi.kharkov.ua.

Сахненко Микола Дмитрович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри фізичної хімії; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-5525-9525; e-mail: sakhnenko@kpi.kharkov.ua.

Nikolai Sakhnenko – Dr. Sci., Prof., department of physical chemistry, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-5525-9525; e-mail: sakhnenko@kpi.kharkov.ua.

Проскурина Валерія Олегівна– кандидат технічних наук, асистент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», асистент кафедри загальної та неорганічної хімії; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-4215-4190; e-mail: voproskurina@gmail.com.

Valeria Proskurina – Ph.D., assistant**,** department of general and inorganic chemistry, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-4215-4190; e-mail: voproskurina@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Ненастіна Т. О., Ведь М. В., Сахненко М. Д., Проскуріна В. О. Електрохімічне формування композиційних покриттів сплавами кобальту в імпульсному режимі. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 89-94. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.12.

Please cite this article as:

Nenastina T., Ved' M., Sakhnenko M., Proskurina V. Electrochemical formation of composite coatings by cobalt alloys in a pulsed mode. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1 (3), pp. 89-94, doi:10.20998/2413-4295.2020.03.12.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Ненастина Т. А., Ведь М. В., Сахненко Н. Д.., Проскурина В. О. Электрохимическое формирование композиционных покрытий сплавами кобальта в импульсном режиме. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 89-94. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.12.

АННОТАЦИЯ *Электроосаждение композиционных сплавов тугоплавкими металлами и цирконием с кобальтом позволяет получать покрытия с уникальным сочетанием физико-химических свойств, недостижимых при использовании других методов нанесения. Варьированием состава электролита в гальваностатическом режиме не удается получить качественные композиционные покрытия с высоким содержанием тугоплавких компонентов и выходом по току. В качестве альтернативы предложено использование импульсного режима электролиза, что позволяет усовершенствовать технологический процесс получения композиционных покрытий. Подбор соотношения длительности импульса и паузы позволяет избегать введения дорогих добавок и соосаждать в сплав металлы, которые в гальваностатическом режиме получить невозможно. Поэтому целью работы было установление параметров электрохимической нанесения композиционных покрытий кобальта с тугоплавкими металлами и цирконием из нетоксичных электролитов импульсным электролизом. Использование импульсного режима при соотношении длительности импульса $1\cdot10^{-3}$-$20\cdot10^{-3}$с длительности паузы $2\cdot10^{-3}$-$20\cdot10^{-3}$с 2и амплитуде катодной плотности тока 2-10 А/дм^2 позволяет получить композиционные сплавы на основе кобальта с повышенным содержанием циркония, молибдена и вольфрама по сравнению со стационарным режимами. Повышение рабочих плотностей тока приводит к увеличению содержания тугоплавких металлов в композиционных сплавах, содержащих молибден, а также происходит уменьшение размера зерна поверхностного слоя сплава Co-Mo-W_xO_y. На основании анализа экспериментальных исследований установлены зависимости амплитуды тока и частоты импульсов на выход по току и состав покрытий сплавов Co-Mo-W_xO_y, Co-W-ZrO_2 и Co-Mo-ZrO_2. Управление складом гальванических сплавов Co-Mo-W_xO_y, Co-W-ZrO_2 и Co-Mo-ZrO_2 в достаточно широком диапазоне концентраций сплавообразующих компонентов достигается варьированием параметров импульсного электролиза, что позволяет адаптировать технологию нанесения к потребностями современного рынка.*

Ключевые слова: *композиционный электролитические покрытия; тернарные сплавы; частота; импульсный режим; плотность тока; выход по току*

Надійшла (received) 08.02.2020

УДК 637.5 doi:10.20998/2413-4295.2020.03.13

ВПЛИВ КОМПЛЕКСУ β-ЦИКЛОДЕКСТРИНУ З ЙОДОМ НА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ М'ЯСНИХ ФАРШІВ

В. М. ПАСІЧНИЙ[1], А. І. УКРАЇНЕЦЬ, Х. В. ЧЕБАНЕНКО[2*], І. С. КАМЛАЙ[1]

[1] кафедра технології м'яса та м'ясних продуктів, Національний університет харчових технологій, Київ, УКРАЇНА
[2] кафедра харчової хімії, Національний університет харчових технологій, Київ, УКРАЇНА
[*]e-mail: hristinaom@gmail.com

АНОТАЦІЯ *У статті наведено порівняльне дослідження функціонально-технологічних показників фаршів на основі м'яса стегна курчат-бройлерів, свинини напівжирної та яловичини першого сорту. Згідно плану дослідження було удосконалено рецептури зразків, що відрізнялися видом м'ясної сировини, яка використовувалася та наявністю комплексу β-циклодекстрину з йодом. Обробку продуктів проводили однаковим методом. Серед досліджуваних показників обрано pH, вміст вологи, вологозв'язувальну та вміст жиру. Показники вимірювали після приготування та зберігання протягом 30 діб. Усі дослідні зразки мали характерний рівень pH відповідно до виду м'ясної сировини. Значення вмісту вологи було характерним для використовуваної сировини та досягало максимального значення для зразка 8 після приготування – 60,6 %, а мінімуму – для зразка 2 - 47,9%. Вологозв'язувальна здатність усіх зразків знаходиться у залежності з консистенцією продукту. Вона має найнижчі значення серед дослідних зразків, які включають в свою рецептуру філе курчат бройлерів, яке є більш чутливим до термічної обробки, ніж сировина, що використовувалась у інших зразках. Результати визначення вміст жиру у зразках абсолютно відповідають середнім значеннями для даного виду сировини. Найвищі значення отримано у зразках, які містили свинину, найнижчі, які містили червоне м'ясо курчат-бройлерів. За результатами проведених досліджень можна зробити висновки про те, що комплекс йоду з β-циклодекстрином характеризується можливістю утворення 3,5-дийодтирозину при дії комплексу на молекули тирозину, відсутністю негативного впливу на якість готової продукції, Удосконалено рецептуру м'ясних тефтелей у томатному соусі із вмістом отриманого комплексу β-циклодекстрину з йодом в кількості 4 мкг/г продукту, що забезпечує добову потребу в цьому мікроелементі при споживанні 150 г виробів. Отриманий комплекс не впливає на органолептичні властивості, функціонально-технологічні показники характеристики та термін зберігання готових виробів. Отримані результати засвідчують, що заміна яловичини в рецептурі на м'ясо курчат-бройлерів дозволяє виробляти тефтелі з високими якісними показниками.*
Ключові слова*: β-циклодекстрин; йод; м'ясо курчат-бройлерів; тефтелі; функціонально-технологічні характеристики; термін зберігання*

EFFECT OF THE COMPLEX β-CYCLODEXTRIN WITH IODINE ON FUNCTIONAL AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MINCED MEAT

V. PASICHNYI[1], A. UKRAINETS, Kh. CHEBANENKO[2], I. KAMLAY[1]

[1] Department of meat and meat products, National University of Food Technologies, Kyiv, UKRAINE
[2] Department of food chemistry, National University of Food Technologies, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT *A comparative study of functional and technological characteristics of minced meat based on meat of chicken broilers, pork semifinished and first grade beef are presented. According to the research plan, recipe samples differing in the type of used raw meat materials and complex of iodine with β-cyclodextrin content were developed. The processing of products was carried out in the same way. Among the examined parameters were selected: the content of moisture, water holding and water retaining capacity, pH, and fat content. All measurements were examined after preparation and 30 days of storage. All test specimens had a characteristic pH level according to the type of raw material. The moisture content was characteristic of the raw material used and reached the maximum value for sample 8 after preparation – 60,6 %, and the minimum for sample 2 – 47,9%. The moisture content of all samples depends on the consistency of the product. Thus, it has the lowest values among all samples including a broiler chicken fillet in its recipe, which is more sensitive to heat treatment than the raw material used in other specimens. The results of the fat content determination in the test specimens completely correspond to the average values for this type of raw material. The highest values were obtained in the samples containing pork, the lowest ones in the red meat of broiler chickens. It can be concluded that the iodine complex with β-cyclodextrin is characterized by the possibility of the formation of 3,5-diiodothyrosine by the action of the complex on tyrosine molecules, as well as the absence of negative impact on the quality of the finished product. The recipe for meatballs in tomato sauce with the content of the resulting complex β-cyclodextrin with iodine of 4 μg / g of product was improved. The consumption of 150 g of this product fully compensates the daily requirements of iodine. The complex has no impact on quality or sensory characteristics, on functional and technological characteristics and shelf life of the finished product. The results show that the substitution of beef in the recipe for broiler chickens allows producing the meatballs with high quality properties.*
Keywords*: β-cyclodextrin; iodine; meat of chicken broilers; meatballs; functional and technological characteristics; shelf life*

Вступ

Згідно з визначенням ВООЗ однією з головних проблем харчування у XXI ст. стане подолання мікронутрієнтного дефіциту та зокрема дефіциту йоду [1] а також забезпечення населення повноцінним за якістю білком [2]. Зміна харчового статусу повноцінності харчового раціону населення пов'язана з

© В. М. ПАСІЧНИЙ, А. І. УКРАЇНЕЦЬ, Х. В. ЧЕБАНЕНКО, І. С. КАМЛАЙ, 2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

меншим споживанням традиційних харчових продуктів, а дедалі більшим включенням до раціону продукції промислового виробництва, в якій у процесах технологічної обробки залишається мало біологічно активних речовин, вітамінів і мікроелементів. Натомість збільшена частка нетрадиційних харчових інгредієнти – барвників, емульгаторів, тощо [3]. Інтенсивні технології виробництва в землеробстві і тваринництві зумовлюють істотне зменшення необхідних функціональних інгредієнтів уже в самій природній сировині. Малорухливий спосіб життя, споживання висококалорійних продуктів промислового виробництва, психоемоційні навантаження призводять до суттєвого погіршення здоров'я населення і виникнення різного роду стресів.

Одним із можливих шляхів вирішення проблеми дефіциту мікроелементів у харчуванні може стати застосування сполук з корисними властивостями.

Синтезований комплекс β-циклодекстрину з йодом має здатність покращувати йодний статус в організмі людини при вживанні збагачених ним варених ковбасних виробів [4]. Для розширення асортименту продукції та дослідження їх властивостей було виготовлено тефтелі з різних видів м'яса в томатному соусі з додаванням і без додавання комплексу β-циклодекстрину з йодом та проведено їх фізико-хімічні дослідження.

Відсутність досліджень щодо впливу цього комплексу на функціонально-технологічні властивості харчових продуктів дають підстави для більш повного вивчення використання таких речовин функціонального призначення з метою отримання м'ясного виробу підвищеної харчової та біологічної цінності та високими споживчими властивостями.

Тому актуальним на сьогоднішній день є розкриття потенціалу використання нових комплексних сполук циклодекстринів з інкапсулюванням йоду під час виробництва м'ясних тефтелей, дослідження їх впливу на фізико-хімічні властивості та оцінка їх товарознавчих показників.

Мета роботи

Виходячи з наведених вище даних (зокрема недостатньої кількості досліджень, присвячених впливу комплексу β-циклодекстрину з йодом на функціонально-технологічні характеристики різних видів м'ясної сировини), поставлено такі завдання роботи:

- дослідити зміни функціонально-технологічних показників різних видів м'ясної сировини, включаючи м'ясо стегна курчат-бройлерів, свинину напівжирну та яловичину першого сорту при додаванні комплексу β-циклодекстрину з йодом.
- дослідити зміни, які відбуваються з функціонально-технологічними показниками готового продукту впродовж терміну придатності.
- визначити оптимальний вид сировини, який би найкращим чином підійшов для приготування м'ясних тефтелей у томатному соусі з додаванням комплексу β-циклодекстрину з йодом.

Виклад основного матеріалу

За планом експерименту було сформовано по 5 зразків (1-5) фаршів зі свининою нежирною, яловичиною першого сорту, стегновою частиною м'яса курчат-бройлерів без додавання комплексу β-циклодекстрину з йодом та 5 зразків (6-10) з додаванням комплексу.

Рецептура всіх зразків відрізнялася від класичної типом м'яса, кількістю бланшованого рису та наявністю або відсутністю сухої сироватки та білкового стабілізатора [5]. Загальна характеристика складу фаршевих систем представлена у табл. 1.

Таблиця 1 – Загальний склад фаршевих систем

№ зразку	Основа фаршів
1,6	Курятина (контроль)
2,7	Свинина +15 % бланшованого рису
3,8	Яловичина +15 % бланшованого рису
4,9	Курятина +15 % бланшованого рису
5,9	Курятина +20 % бланшованого рису

Усі зразки приготовано таким чином, що м'ясо двічі пропускають через м'ясорубку, додають сіль, дрібно нарізану припущену цибулю, бланшований рис, білковий стабілізатор або сироватку, та комплекс β-циклодекстрину з йодом згідно рецептури.

З метою забезпечення максимально рівномірного розподілу комплексу у харчовій матриці, комплекс попередньо розчиняли у тій кількості води, яка передбачена рецептурою. Перемішують і обробляють тефтелі у вигляді кульок масою 60 грам кожна.

Кульки панірують у борошні, запікають, перекладають в неглибокий посуд в 1-2 ряди, заливають соусом з додаванням води і тушкують 8-10 хв. до готовності. Рецептурний склад всіх модельних фаршів м'ясних тефтелей наведено у табл. 2.

Приготування томатного соусу відбувалося за вже існуючою рецептурою [6]. Для приготування томатного соусу необхідно на сковороді розтопити вершкове масло, додати борошно, коли суміш закипить, зняти її з вогню. Окремо довести сметану до кипіння, додати обсмажену муку, перемішати. Потім ввести томатну пасту, додати сіль і перець за смаком. При необхідності розбавити соус водою.

В кінці процесу приготування для зразків визначали наступні функціонально-технологічні показники: pH водної витяжки з м'яса, вміст вологи, вологозв'язувальну здатність (ВЗЗ), вміст жиру.

Таблиця 2 – Рецептурний склад модельних фаршів м’ясних тефтелей

Найменування сировини	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10
Червоне м’ясо курчат-бройлерів	55	–	–	55	50	55	–	–	55	55
Свинина нежирна	–	55	–	–	–	–	55	–	–	–
Яловичина І сорту	–	–	55	–	–	–	–	55	–	–
Білковий стабілізатор (БС)	4	–	–	–	–	4	–	–	–	–
Бланшований рис	15	15	15	15	20	15	15	15	15	20
Цибуля	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Суха сироватка	–	4	4	4	4	–	4	4	4	4
Сіль	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Борошно пшеничне	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Вода	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Комплекс β-циклодекстрину з йодом						0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005

Обговорення результатів

Вміст вологи вимірювали арбітражним методом – висушуванням наважки середньої проби продукту (3-5 г) за температури 120°С протягом 100-120 хв до постійної маси. Вологозв’язуючу здатність вимірювали методом пресування [7]. У ході роботи усі показники вимірювались в першу добу після термічної обробки зразків та на 30 добу зберігання. У табл. 3 наведено основні фізико-хімічні показники та функціонально-технологічні властивості тефтелей у томатному соусі без та з додаванням комплексу β-циклодекстрину з йодом у досліджуваних зразках.

Усі дослідні зразки мали характерний рівень pH відповідно до виду м’ясної сировини. Проте, значення pH для свинини та яловичини було дещо нижчим за середнє для такої сировини. У зразках з внесенням комплексу β-циклодекстрину з йодом прослідковувалась стабільність значення pH в порівнянні із зразками в системі яких був відсутній цей комплекс. Максимальні відхилення значення pH зафіксовані для зразків 2,7 та 4,9, відповідно 5,45 та 6,05. Однак в цілому при використанні комплексу суттєвих змін pH не спостерігалось.

Вміст вологи в усіх зразках м'ясного фаршу знаходився в межах 48-60% і залежав в першу чергу від виду м'ясної сировини. Максимальне значення вмісту вологи зафіксовано у зразку 8 (60,6%), що є нормою за середніми значеннями для даного виду сировини (60-68%) [8]. Мінімальне – у зразку 2 (47,90 %). Вміст вологи суттєво не змінювався при додаванні комплексу, незалежно від виду сировини. В усіх зразках показник вмісту вологи не зазнав значних змін протягом зберігання, тому, можна зробити висновок про те, що відмінності у значеннях цього показника для різних видів сировини обумовлені фізико-хімічними особливостями вхідної сировини.

Вологозв’язувальна здатність усіх зразків знаходиться у залежності з консистенцією продукту.

Таблиця 3 – Основні показники дослідних зразків

Показники	pH		Вміст вологи, %		ВЗЗа, %		Вміст жиру, %
Номер зразка	1 доба	30 доба	1 доба	30 доба	1 доба	30 доба	1 доба
Зразок № 1	5,90	6,40	55,30	55,60	61,40	59,80	6,73
Зразок № 2	5,45	6,00	47,90	48,40	72,19	71,40	27,00
Зразок № 3	5,65	6,05	60,50	61,00	74,10	71,10	14,60
Зразок № 4	6,05	6,45	59,20	59,70	64,37	62,57	7,96
Зразок № 5	5,98	6,50	60,20	60,70	64,90	62,90	7,96
Зразок № 6	5,91	6,41	55,40	55,70	61,40	59,80	6,73
Зразок № 7	5,45	6,05	48,00	48,50	72,19	71,40	27,00
Зразок № 8	5,66	6,05	60,60	61,10	74,10	71,10	14,60
Зразок № 9	6,05	6,45	59,20	59,70	64,21	62,50	7,96
Зразок № 10	5,98	6,47	60,30	60,80	64,84	62,86	7,96

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

Таким чином вона має найнижчі значення серед дослідних зразків, до рецептури яких включено філе курчат бройлерів, яке є більш чутливим до термічної обробки і осмотичних процесів, ніж сировина, що використовувалась у інших зразках. Максимальне значення ВЗЗ зафіксовано у зразку 3 та 8. Варто відзначити, що значення ВЗЗ не зазнали відчутного зниження для усіх зразків протягом терміну зберігання, різниця між показником після 30 діб зберігання була не більшою за 3%. Це може свідчити про низький рівень денатурації білків основної сировини. Сам комплекс β-циклодекстрину з йодом негативного впливу на вологозв'язувальну здатність, як бачимо з результатів дослідження не несе.

Результати визначення вміст жиру у досліджуваних зразках абсолютно відповідають середнім значенням для даного виду сировини. Найвищі значення отримано у зразках, які містили свинину, найнижчі – червоне м'ясо курчат-бройлерів.

На рис. 1 показано вихід тефтелей у томатному соусі після термічної обробки, виготовлених з додаванням та без додавання комплексу β-циклодекстрину з йодом.

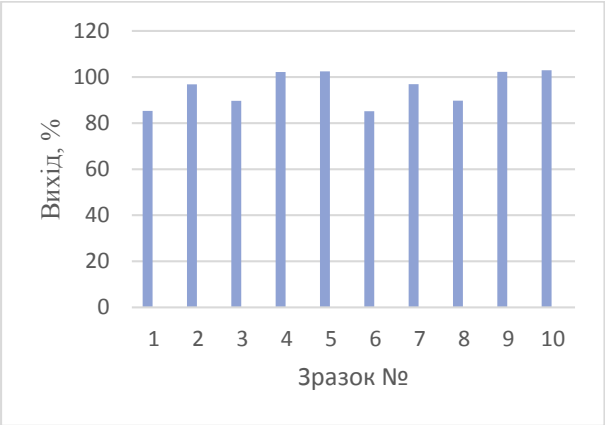


Рис. 1 – Вихід тефтелей у томатному соусі

Найвищі значення виходу мають зразки фаршеві, які складаються із курятини з додаванням сухої сироватки та 15 або 20% бланшованого рису. Вміст добавки ніяким чином суттєво не змінює вихід.

Найгірші показники виходу мали зразки фаршевих систем до яких входив білковий стабілізатор. Такі зразки характеризувались не притаманною для тефтелей консистенцією та мали сторонній присмак.

Також проведено оцінку органолептичних показників якості тефтелей у томатному соусі за дослідженнями [9]. Результати цих показників наведено на рис. 2.

За результатами органолептичних показників можна впевнено стверджувати, що внесена добавка фактично не змінює ці показники, тому орієнтуючись по перших п’яти зразках, найкращі органолептичні показники мають зразки 4 та 5 і відповідно такі ж у зразків 9 та 10.

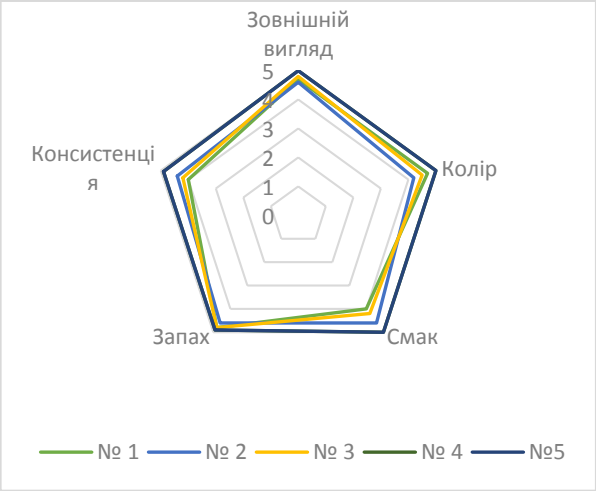


Рис. 2 – Органолептичні показники якості тефтелей

Згідно отриманих результатів досліджень обрано кращий зразок за своїми властивостями. Рецептурний склад цього зразку наведений в табл. 4.

Таблиця 4 – Рецептурний склад

Інгредієнти	Кількість, %
Червоне м'ясо курчат-бройлерів	55,0
Бланшований рис	15,0
Цибуля	10,0
Суха сироватка	4,0
Сіль	1,0
Борошно пшеничне	5,0
Вода	10,0
комплекс	0,0005

Оскільки у технології виробництва м'ясопродуктів, втрати йоду при використанні, наприклад йодованої солі можуть бути досить високими. Позитивним результатом є той факт, що найкращими згідно досліджень обрано рецептури на основі курячого м’яса. Слід зазначити, що куряче м’ясо містить значну кількість фрагментів тирозину, який може вступати у реакцію з молекулярним йодом з утворенням 3,5-дийодтирозину [10]. Ця сполука є проміжною у синтезі трийодтироніну і тироксину – основних гормонів щитоподібної залози. Тому в якості об’єкта збагачення обрано тефтелі з м’яса курятини.

Перспектива залучення у якості додаткового джерела йоду у м’ясній продукції комплексу β-циклодекстрину з йодом розкрита у варених ковбасних виробах. Але оскільки температура термічної обробки тефтелей є вищою, тому дослідження ступеня утримання йоду після термічної

обробки має бути наступним [11]. Комплекс β-ЦД-I_2 плавиться при 72 °С і розкладається при 185 °С при подальшому нагріванні [12]. Тому об'єктом збагачення було обрано тефтелі, оскільки для їхнього виробництва потрібна теплова обробка, яка не досягає температури розкладання синтезованого комплексу, але є вищою ніж для приготування вареного ковбасного виробу. Тому, приведені питання потребують подальшого дослідження.

Висновки

З проведених досліджень можна зробити висновки, що у технології приготування м'ясних тефтелей необхідно враховувати тип основної м'ясної сировини. З результатів можна зробити висновок, що зразки тефтелей приготовлені з м'яса курчат-бройлерів за своїми фізико-хімічними показниками та функціонально-технологічними властивостями показали найкращі результати. Але слід врахувати, що значний вплив на ці властивості, а також на вихід продукту після термічної обробки є наявність білкового стабілізатора. Доведено, що краще для приготування тефтелей використовувати суху сироватку.

Стосовно комплексу β-циклодекстрину з йодом, то збагачення ним м'ясних тефтелей у томатному соусі немає негативного впливу на фізико-хімічні показники, функціонально-технологічні властивості та вихід продукту. Впродовж терміну придатності досліджувані показники змінювалися у межах норми, встановленої для певних видів м'ясної сировини. Тому тефтелі, приготовлені з м'яса курчат-бройлерів згідно обраних рецептур має сенс досліджувати далі на залишковий вміст йоду. Метою майбутніх досліджень стане визначення втрат йоду після термічної обробки та розширення асортименту м'ясної продукції, наприклад у вигляді фрикадельок.

Список літератури

1. Benoist Bruno De, et al. *Iodine Status Worldwide: WHO Global Database on Iodine Deficiency*. Geneva: Dept. of Nutrition for Health and Development, World Health Organization, 2004. 58 p.
2. Пасичный В. Н. Проблема белка или проблема качества пищи. *Мясной бизнес*. 2004. № 2. Ч. 1. С. 12-18.
3. Sun X., Shan Z., Teng W. Effects of increased iodine intake on thyroid disorders. *Endocrinol. Metab*. 2014. 29. P. 240-247. doi: 10.3803/EnM.2014.29.3.240.
4. Омельченко Х. В., Полумбрик М. О., Пасічний В. Н. Комплекс йоду з β-циклодекстрином як функціональна добавка у технології варених ковбасних виробів. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2017. Т. 23. № 1. С. 203-209.
5. Могильный М. П., Тутельян В. А. *Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для питания детей в дошкольных образовательных учреждениях.* М.: ДеЛи принт, 2012. С. 287.
6. Бондаренко Н., Шинкарёва Н. *Кулинарная энциклопедия.* М.: Комсомольская правда, 2017. Том 36. 58 с.
7. Божко Н. В., Тищенко В. І., Пасічний В. М., Юшко М. І., Жукова Я. Ф., Попова Є. С. Study of functional and technological indices of meat-containing loaf with Muscovy duck meat and white carp. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Ґжицького*. 2018. Т. 20. № 85. С. 19-22. doi: 10.15421/nvlvet8504.
8. Zheng Ch. L., Sun, D. W., Zheng, L. Correlating colour to moisture content of large cooked beef joints by computer vision. *Journal of Food Engineering.* 2006. 77. 4. P. 858-863. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.08.013.
9. Кишенько І. І., Старчова В. М., Гончаров Г. І. *Технологія м'яса та м'ясопродуктів.* Практикум: навч. Нац. ун-т харч. технол. Київ: НУХТ, 2010. 367 с.
10. Kim M. J., Parvin R., Mushtaq M. H., Choi C. Influence of monochromatic light on quality traits, nutritional, fatty acid and amino acid profiles of broiler chicken meat. *Poultry Science.* 2013. P. 2844-2852. doi: 10.3382/ps.2013-03159.
11. Rana R., Raghuvanshi R. S. Effect of different cooking methods on iodine losses. *J. Food Sci. Technol.* 2013. 50. P. 1212-1216. doi: 10.1007/s13197-011-0436-7.
12. Polumbryk M., Kravchenko V., Pasichnyi V. The effect of intake of sausages fortified with β-CD-I_2 complex on iodine status and thyroid function: A preliminary study. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2019. Vol. 51. P. 159-163.

References (transliterated)

1. Benoist Bruno De, et al. *Iodine Status Worldwide: WHO Global Database on Iodine Deficiency*. Geneva, Dept. of Nutrition for Health and Development, World Health Organization, 2004. 58 p.
2. Pasichnyy V. N. Problema belka ili problema kachestva pishchi [Protein problem or food quality problem] *Myasnoy biznes [Meat business]*, 2004, № 2, Vol. 1, pp. 12-18.
3. Sun X., Shan Z., Teng W. Effects of increased iodine intake on thyroid disorders. *Endocrinol. Metab*., 2014, 29, pp. 240-247, doi: 10.3803/EnM.2014.29.3.240.
4. Omelchenko Ch., Polumbryk M., Pasichnyi V. The complex of iodine with β-cyclodextrin as a functional additive in the technology of cooked sausage products. *Scientific Works of National University of Food Technologies*, 2017, Vol. 23, 1, pp. 203-209.
5. Mogilnyy M. P., Tutelyan V. A. *Sbornik retseptur blyud i kulinarnykh izdeliy dlya pitaniya detey v doshkolnykh obrazovatelnykh uchrezhdeniyakh* [Collection of recipes for dishes and culinary products for feeding children in preschool educational institutions]. M., DeLi print, 2012. 287 p.
6. Bondarenko N., Shinkarova N. *Kulinarnaya entsiklopediya* [Culinary Encyclopedia]. M., Komsomol'skaya Pravda, 2017, Vol. 36, 58 p.
7. Bozhko N. V., Tischenko V. I., Pasichnyi V. M., Yuschko M. I., Zhukova Ya., Popova E. Study of functional and technological indices of meat-containing loaf with Muscovy duck meat and white carp. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 2018, Vol. 20, № 85, pp. 19-22, doi: 10.15421/nvlvet8504.
8. Zheng, C., Sun, D. W., Zheng, L. Correlating colour to moisture content of large cooked beef joints by computer vision. *Journal of Food Engineering*, 2006, 77. 4, pp. 858-863, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.08.013.
9. Kishenko I. I., Starchov V. M., Goncharov G. I. *Tehnologija m'jasa ta m'jasoproduktiv. Praktikum: navch. posibnik*

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

[Technology of meat and meat products. Workshop: Teaching Manual], NUKHT, 2010. 367 p.
10. Kim M. J., Parvin R., Mushtaq M. H., Choi C. Influence of monochromatic light on quality traits, nutritional, fatty acid and amino acid profiles of broiler chicken meat. *Poultry Science*, 2013, pp. 2844-2852, doi: 10.3382/ps.2013-03159.
11. Rana R., Raghuvanshi R. S. Effect of different cooking methods on iodine losses. *J. Food Sci. Technol.,* 2013, 50, pp. 1212-1216, doi: 10.1007/s13197-011-0436-7.
12. Polumbryk M., Kravchenko V., Pasichnyi V. The effect of intake of sausages fortified with β-CD-I2 complex on iodine status and thyroid function: A preliminary study. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2019, Vol. 51, pp. 159-163.

Інформація про авторів (About authors)

Пасічний Василь Миколайович – доктор технічних наук, професор, Національний Університет Харчових технологій, професор кафедри Технології м'яса та м'ясних продуктів; м. Київ, Україна; e-mail: pasww1@ukr.net.

Vasyl Pasichnyi – Doctor of Science, Professor, National University of Food Technologies, professor of Department of meat and meat products, Kyiv,Ukraine; e-mail: pasww1@ukr.net.

Українець Анатолій Іванович – доктор технічних наук, професор, ректор, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна.

Anatoliy Ukrainets – Doctor of technical science, Professor, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine.

Чебаненко Христина Володимирівна – аспірант, Національний Університет Харчових технологій, старший викладач кафедри харчової хімії; м. Київ; e-mail: hristinaom@gmail.com.

Khrystyna Chebanenko – postgraduate, National University of Food Technologies, senior lecturer of Department of food chemistry, Kyiv, Ukraine; e-mail: hristinaom@gmail.com.

Камлай Іванна Сергіївна – студент, Національний Університет Харчових технологій, студент кафедри технології м'яса та м'ясних продуктів; м. Київ, Україна; e-mail: i.kamlaychik@gmail.com.

Ivanna Kamlay – student, National University of Food Technologies, student of Department of meat and meat products, Kyiv, Ukraine; e-mail: i.kamlaychik@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Пасічний В. М., Українець А. І., Чебаненко Х. В., Камлай І. С. Вплив комплексу β-циклодекстрину з йодом на функціонально-технологічні характеристики м’ясних фаршів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 95-100. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.13.

Please cite this article as:

Pasichnyi V., Ukrainets A., Chebanenko Kh., Kamlay I. Effect of the complex β-cyclodextrin with iodine on functional and technological characteristics of minced meat. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1 (3), pp. 95-100, doi:10.20998/2413-4295.2020.03.13.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Пасичный В. Н., Украинец А. И., Чебаненко Х. В., Камлай И. С. Влияние комплекса β-циклодекстрина с йодом на функционально-технологические характеристики мясных фаршем. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 95-100. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.13.

АННОТАЦИЯ *В статье приведены сравнительное исследование функционально-технологических характеристик фарша на основе мяса бедра цыплят-бройлеров, свинина полужирная и говядина первого сорта. Согласно плану исследования была усовершенствована рецептуры образцов, которая отличалась видом используемой мясного сырья и наличием комплекса β-циклодекстрина с йодом. Обработку продуктов проводили одинаковым методом. Среди исследуемых показателей выбраны: pH, содержание влаги, влагосвязующая (ВСС) и содержание жира. Все показатели измеряли после приготовления и хранения в течение 30 суток. Все опытные образцы имели характерный уровень pH в соответствии с видом мясного сырья. Значение содержания влаги было характерно для используемого сырья и достигало максимального значения для образца 8 после приготовления – 60,6%, а минимума для образца 2 – 47,9%. Влагосвязующая способность всех образцов находится в зависимости с консистенцией продукта. Таким образом, она имеет самые низкие значения среди опытных образцов на основе филе цыплят бройлеров, которое является более чувствительным к термической обработке, чем сырье, используемой в других образцах. Максимальное значение ВСС зафиксировано в образце 3 и 8 – 74,1% после приготовления. Результаты определения содержания жира в исследуемых образцах абсолютно соответствуют средним значениям для данного вида сырья. Согласно результатов проведенных исследований можно сделать выводы о том, что комплекс йода с β-циклодекстрином характеризуется возможностью образования 3,5 дийодтирозина при воздействии комплекса на молекулы тирозина, отсутствием негативного влияния на качество готовой продукции. Усовершенствована рецептура мясных тефтелей в томатном соусе с содержанием полученного комплекса йода з β-циклодекстрином 4 мкг / г продукта, способно полностью компенсировать суточную потребность в этом микроэлементе при потреблении 150 г продукта. Полученный комплекс не влияет на органолептические свойства, функционально-технологические показатели и срок хранения готовых изделий. Полученные результаты свидетельствуют о том, что замена говядины в рецептуре на мясо цыплят-бройлеров позволяет производить тефтели с высокими качественными показателями.*

Ключевые слова: *β-циклодекстрин; йод; мясо цыплят-бройлеров; тефтели; функционально-технологические характеристики; срок хранения*

Надійшла (received) 14.02.2020

УДК 665.58:615.26 doi:10.20998/2413-4295.2020.03.14

ОГЛЯД РИНКУ КОСМЕТИЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ ANTI-AGE ТА РОЛЬ ГІАЛУРОНОВОЇ КИСЛОТИ В ПРОЦЕСАХ РЕДЕРМАЛІЗАЦІЇ ШКІРИ

Б. В. ПУТЯТІН[1*], К. В. КУНИЦЯ[2], І. В. ЛЕВЧУК[3], Є. В. ГЛАДУХ[4]

[1] ТОВ ВТФ «Фармаком», Харків, УКРАЇНА
[2] кафедра інноваційних харчових і ресторанних технологій, ХТЕІ КНТЕУ, Харків, УКРАЇНА
[3] ДП «Укрметртестстандарт», Київ, УКРАЇНА
[4] кафедра промислової фармації, НФаУ, Харків, УКРАЇНА
[*]e-mail: putyatinb@gmail.com

АНОТАЦІЯ *В даний час актуальним є виробництво парфюмерно-косметичних засобів функціонального напряму, а саме косметичних засобів спрямованих на усунення проблем пов'язаних з шкірними покривами. У роботі розглянуто питання актуальності ринку парфюмерно-косметичних продуктів серії Anti-Age. На сьогоднішній день розробка косметичних продуктів для догляду за шкірою зводиться до створення нових рецептур з використанням високоефективних біологічно активних речовин природного походження. Швидке зростання сегмента засобів по догляду за шкірою на сучасному косметичному ринку все сильніше зумовлює необхідність пошуку нової сировини, на базі якої можлива розробка рецептур косметичних продуктів, що володіють необхідними функціональними властивостями. Як діючу речовину в складі косметичного засобу в роботі пропонується розглянути гіалуронову кислоту. Вивчення властивостей і механізмів дії гіалуронової кислоти в організмі людини дає можливість застосування її в якості ефективного засобу в такому процесі як редермалізація. Окремо відзначено застосування гіалуронової кислоти, як компонента, що ефективно впливає на відновлювальні механізми шкіри, позаклітинний матрикс і вплив на клітинний і позаклітинний гомеостаз. Відзначено, що комбінація гіалуронової кислоти в поєднанні з природними метаболітами підвищують ефективність і споживчий попит до таких косметичних продуктів. Як приклад розглянуто комбінацію гіалуронової кислоти і натрію сукцинату. Застосування гиалуроната і його солей в косметології засновано на здатності гіалуронатмістких продуктів надавати місцеву протизапальну, ранозагоювальну та імуномодулюючу дію, здатності затримувати в міжклітинному просторі воду і є основою механізму корекції вікових деформацій шкіри. Нанесення гіалуронової кислоти на епітелій підвищує еластичність і пружність тканин. Застосування високомолекулярного гиалуроната при виготовленні різних комбінованих кремів, гелів і спреїв для зовнішнього застосування є ключовим напрямком у редермалізації – відновленні реологічних властивостей шкіри.*

Ключові слова: *косметична продукція; гіалуронова кислота; редермалізація; шкіра; продукція Anti-Age; косметична ефективність*

MARKET REVIEW OF ANTI-AGE COSMETIC PRODUCTS AND THE ROLE OF HYALURONIC ACID IN SKIN REDERMALIZATION PROCESSES

B. PUTYATIN[1*], K. KUNITSIA[2], I. LEVCHUK[3], E. GLADUH[4]

[1] TOV VTF "Farmakom", Kharkiv, UKRAINE
[2] Department of Innovative Food and Restaurant Technologies, KhTEI KNTEU, Kharkiv, UKRAINE
[3] DP "Ukrmetrteststandard", Kyiv, UKRAINE
[4] NFaU, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT *At present, the production of perfumery and cosmetic products of the functional direction, namely cosmetics aimed at eliminating problems related to the skin, is relevant. The article deals with the relevance of the Anti-Age series of perfume and cosmetic products to the market. Today, the development of cosmetic products for skin care is reduced to the creation of new formulations using highly effective biologically active substances of natural origin. The rapid growth of the segment of skin care products in the modern cosmetic market is increasingly causing the need to search for new raw materials, on the basis of which it is possible to develop recipes for cosmetic products that have the necessary functional properties. As an active ingredient in the composition of cosmetics in the work it is proposed to consider hyaluronic acid. The study of the properties and mechanisms of action of hyaluronic acid in the human body makes it possible to use it as an effective tool in such a process as redermalization. The use of hyaluronic acid as a component has been noted to have an effective effect on skin repair mechanisms, extracellular matrix and effect on cellular and extracellular homeostasis. It is noted that the combination of hyaluronic acid in combination with natural metabolites increase the efficiency and consumer demand for such cosmetic products. The combination of hyaluronic acid and sodium succinate is considered as an example. The use of hyaluronate and its salts in cosmetology is based on the ability of hyaluronate-containing products to provide local anti-inflammatory, wound healing and immunomodulatory action, the ability to retain water in the intercellular space and is the basis of the mechanism of correction of age-related deformities of the skin. Applying hyaluronic acid to the epithelium increases the elasticity and elasticity of the tissues. The use of high molecular weight hyaluronate*

© Б. В. ПУТЯТІН, К. В. КУНИЦЯ, І. В. ЛЕВЧУК, Є. В. ГЛАДУХ, 2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

in the manufacture of various combination creams, gels and sprays for external use is a key direction in the redermalization - the restoration of rheological properties of the skin.
***Keywords**: cosmetic products; hyaluronic acid; redermalizatsiya; skin; product Anti-Age; cosmetic effectiveness*

Вступ

Ринок парфумерно-косметичної продукції такий великий і різноманітний, що пересічному споживачеві може здатися, ніби процес його розвитку відбувається абсолютно хаотично. Однак численні новинки парфумерії та косметики з'являються не просто так, а в руслі тієї чи іншої тенденції. Одним з сегментів, що динамічно розвивається на ринку парфюмерно-косметичної продукції є косметичні засоби функціонального призначення. Це засоби спрямованої дії, що наносяться на поверхню шкіри, призначені для нормалізації обміну речовин, попередження захворювань шкіри і передчасного її старіння.

Мета роботи

Метою роботи є огляд ринку косметичної продукції anti-age та визначення ролі гіалуронової кислоти в процесах редермалізаціі шкіри.

Виклад основного матеріалу

Порушення з боку шкірних покривів, за оцінками фахівців, є поширеною групою патологій. За даними Європейського товариства дерматологів (2018 р.) більше ніж 15 % населення відчувають проблеми з шкірними покривами тіла [1,2]. Сюди можна віднести сухість шкіри, порушення регенерації, втрату еластичності і відновної функції шкіри, надмірну в'ялість і як наслідок її швидке старіння і в'янення.

Косметика «Anti-Age» (від англ. анти-вік) – надзвичайно ємний і комерційно цікавий сектор косметичної індустрії. Сьогодні близько 8 % жінок в Європі користуються засобами проти старіння шкіри [6]. Населення світу стрімко старіє. Уже в 2002 році 11 % населення світу переступило віковий рубіж в 50 років [3]. За розрахунками соціологів і демографів кількість людей старшого віку буде збільшуватися щороку і до 2050 року 23 % населення в Європі і Північній Америці і 15 % в Азії переступить 65-річний рубіж [3]. Збільшується тривалість життя: кожна друга дівчинка, яка народилася в 2001 році, має шанс побачити наступне століття [3]. Все це пояснює появу досить широкої гами досить дорогих продуктів Anti-Age, розроблених різними косметичними компаніями з використанням різноманітних і виняткових за своєю дією інгредієнтів.

Величезний перспективний сектор – вікова косметика. Населення світу неухильно старіє, і, за прогнозами вчених, вже найближчим часом молодим буде вважатися вік до 50 років [3]. Тому величезні інновації задіяні у розробці «Anti-Age» (тобто противікових) засобів. Першою це ринок «розгледіла» Японія, в якій проживає величезна кількість літніх людей, що мають засоби залишатися молодими. Нанесенням на шкіру «Anti-Age» засобів, створюють ефект згладжування або маскування зморшок (за рахунок оптики або продуктів, що буквально вбудовуються в зморшку). Звичайно, старіння – це генетичний, біологічний процес, посилений агресивним зовнішнім середовищем (це і шкідливий для шкіри УФ-випромінювання, і вплив урбаністичних факторів). Від них і повинна захищати сучасна косметика проти старіння.

Косметичні продукти, призначені для боротьби зі старінням шкіри, стають ключовими на ринку, і це давно не секрет. Останні двадцять років в розвиненому суспільстві жінки опинилися в ситуації, коли саме суспільство, норми і правила, прийняті в ньому, не дозволяють їм старіти. Виглядати старо майже непристойно. Зовнішній вигляд все частіше стає критерієм і мірилом життєвого успіху. Доглянутий зовнішній вигляд, підтягнутість і моложавість, відмінний стан шкіри найбільш наочно свідчать про благополуччя і статус. Як результат, популярність різних косметичних засобів проти старіння стрімко зростає, а технології їх розробки стрімко удосконалюються.

В останні роки з'явилося багато новинок у галузі створення омолоджуючих і відновлюючих шкіру засобів. Але справжнім проривом стала поява косметичних засобів в складі яких використовується гіалуронова кислота.

Гіалуронова кислота (гіалуронат, гіалуронана) – несульфірований глікозаміноглікан, що входить до складу сполучної, епітеліальної і нервової тканин. Є одним з основних компонентів позаклітинного матриксу, міститься в багатьох біологічних рідинах (слині, синовіальній рідині і ін.). Приймає значну участь в проліферації і міграції клітин [4,5].

Внаслідок свого високого вмісту у позаклітинному матриксі гіалуронова кислота відіграє важливу роль в гідродинаміці тканин, процесах міграції і проліферації клітин, а також бере участь у низці взаємодій з поверхневими рецепторами клітин.

Відновлення шкіри полягає у впливі гіалуронової кислоти на клітини шкіри, що призводить до блокування вільних радикалів і блокування зневоднення шкіри. Цей ефект носить назву – редермалізація [9].

Поряд з деструктивними процесами в шкірі протікають процеси, спрямовані на попередження, усунення пошкоджень і збереження гомеостазу різних біохімічних систем – системи антиоксидантів, мікросомального окислення, внутрішньоклітинної регенерації, репарації ДНК. У шкірі, як і в інших органах і тканинах, з віком так само відбуваються біохімічні і морфофункціональні зміни. Вони стосуються всіх

шарів шкіри [8]. Виходячи з цього, для вчених стала зрозумілою ефективність впливу гіалуронової кислоти на клітини шкіри. У 2009 році група дослідників, очолювана професором Коржовим В. І., розробила формулу поєднання гіалуронової кислоти з натрієвою сіллю янтарної кислоти [9]. В результаті досліджень вчені прийшли до висновку, що гіалуронова кислота сприяє активному клітинному руху, дифузії білків і електролітів, а янтарна кислота призводить до підвищення концентрації буферних основ, зменшення вмісту пірувату і молочної кислоти [12]. Дана комбінація сприяє стимуляції обмінних процесів і відновлення (омолодження) клітин шкіри [12]. Ефект редермалізації базується на метаболічному і біохімічному процесах відновлення дерми, що ведуть до омолодження під впливом гіалуронової кислоти.

Гіалуронова кислота усуває зневоднення шкіри, бере участь в утворенні позаклітинного матриксу, підтримує клітинний і позаклітинний гомеостаз (стабільність внутрішнього середовища) [7].

Омолодження відбувається не тільки на зовнішньому, але і на клітинному і внутрішньоклітинному рівні, усуваючи основні причини старіння шкірного покриву. На думку Ліскіна І. В., пошук косметичних продуктів, які впливають на основні механізми старіння шкіри, в останні роки сприяв зростанню досліджень ефективності комбінованих засобів гіалуронової кислоти з природними метаболітами [11].

Обговорення результатів

Беручи до уваги той факт, що гіалуронова кислота є одним з найбільш поширених компонентів різних видів сполучної тканини, які грають роль у розвитку дистрофічних процесів при старінні саме їй відводиться роль гальмування деградації при старінні. Адже це обумовлено здатністю утворювати високов'язкі розчини, брати участь в транспорті і розподілі води в іонному обміні, утворенні позаклітинного матриксу, забезпечувати виборчу проникність тканин, підтримувати мігруючі клітини в стані дисперсії, брати участь в заміщенні клітин, підтримці клітинного гомеостазу. У шкірі що старіє, гідратовані ланцюги гіалуронової кислоти сприяють організації шунта для клітинного руху, знижують дифузію білків електролітів. Незважаючи на те, що макроскопічно при порівнянні впливу на шкіру кислоти гіалуронової та комбінації з сукцинатом, обидва препарати підвищують пружність, однак композиція з сукцинатом має більший позитивний ефект [11]. Саме разом з антиоксидантом натрію сукцинатом, гіалуронова кислота має більший вплив на механізми старіння за участю біохімічних систем. Тому інноваційною є розробка крему косметичного з гідратантним ефектом на основі гіалуронової кислоти завдяки інактивації вільних радикалів блокування протеаз, усунення зневоднення, поновлення дефіциту води в тканинах, стимуляції проліферації фібробластів, регуляції синтезу ендогенної гіалуронової кислоти [10]. Перспективною вважають розробку косметичних засобів комбінуючи комплекси біологічно активних речовин природних антиоксидантів з гіалуроновою кислотою, які можна застосовувати для всіх типів шкіри. Комплекс біологічно активних речовин (природних антиоксидантів) стимулює синтез колагену в фібробластах і тому потенціює вплив гіалуронової кислоти при розробці антивікових косметичних засобів.

Висновки

Використання в складі косметичного засобу гіалуронової кислоти призводить до ефекту редермалізації – впливає на основні патогенетичні механізми старіння шкіри і забезпечує комплексний омолоджуючий ефект. Результати аналізу очікувань потенційних споживачів дозволяють прогнозувати позитивний попит на косметичні продукти серії Anti-age, а результати вивчення властивостей гіалуронової кислоти сприяють розробці оптимальних рецептур косметичних продуктів проти старіння.

Список літератури

1. Linder D. M., Kimball A. B. *Dermatological Diseases and Cumulative Life Course Impairment*. USA: Boston, 2013. 162 p. doi: 10.1159/000350178.
2. Itin P., Jemec G. Current Problems in Dermatology. *J. Cryptology*. 2018. Vol. 54. P. 212. doi: 10.1159/isbn.978-3-318-06385-1.
3. The State of World Population. URL: http://worldpopulationreview.com/states/maryland-population/ (дата звернення 03.02.2020).
4. Stern R. Hyaluronan catabolism: a new metabolic pathway. *Eur. J. Cell Biol*. 2004. Vol. 83, No. 7. P. 317-325. doi: 10.1078/0171-9335-00392.
5. Holmes M. W., Bayliss M. T., Muir H. Hyaluronic acid in human articular cartilage. Age-related changes in content and size. *Biochem J*. 1988. Vol. 250. P. 435-441. doi: 10.1042/bj2500435.
6. Матеріали XII Науково-практичної конференції дерматовенерологів і косметологів: під ред. проф. А.В. Самцового, проф. Є.В. Соколовського, проф. К.І. Разнатовского. – СПб.: Людина та її здоров'я, 2018. 222 с.
7. Федорищев І. А. *Гіалуронова кислота: монографія*. ТулГУ: Книга, 2011. 237 с.
8. Татузян Є. Г., Біловол А. Н., Ткаченко С. Г. Раціональна терапія вікових змін шкіри обличчя. *Дерматологія та венерологія*. 2014. № 4. С. 100-107.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

9. Деркач Н. М., Коржов М. В., Коржов В. І. Про можливість корекції деяких біохімічних процесів в комі при старінні. *Укр. журнал дерматології, венерології, косметології*. 2009. № 3. С. 45-49.
10. Кулдиркаєва Є. В., Акадрна А. Е. Актуальні аспекти розробки крему косметичного з гідратантним ефектом на основі гіалуронової кислоти. *Укр. мед. альманах*. 2013. Т. 16, № 1. С. 145-146.
11. Ліскіна І. В., Деркач М. М., Кузовкіна С. Д. Порівняльне клініко-морфологічне дослідження впливу на шкіру двох препаратів на основі гіалуронової кислоти. *Укр. журнал дерматології, венерології, косметології*. 2016. № 2. С. 64-69.
12. Шармазан С. І., Калюжна Л. Д. Стимулювання репаративних процесів шкіри шляхом застосування комбінації сукцинату та гіалуронової кислоти. *Medix Anti-aging.* 2011. № 1. С. 57–58.

References (transliterated)

1. Linder D. M., Kimball A. B. *Dermatological Diseases and Cumulative Life Course Impairment.* USA, Boston, 2013. 162, doi: 10.1159/000350178.
2. Itin P., Jemec G. Current Problems in Dermatology. *J. Cryptology,* 2018, Vol. 54, P. 212, doi: 10.1159/isbn.978-3-318-06385-1.
3. The State of World Population. Available at: http://worldpopulationreview.com/states/maryland-population/ (accessed 03.02.2020).
4. Stern R. Hyaluronan catabolism: a new metabolic pathway. *Eur. J. Cell Biol.,* 2004, Vol. 83, No. 7, pp. 317-325, doi: 10.1078/0171-9335-00392.
5. Holmes M. W., Bayliss M. T., Muir H. Hyaluronic acid in human articular cartilage. Age-related changes in content and size. *Biochem J.*, 1988, Vol. 250, 435-441, doi: 10.1042/bj2500435.
6. *Materiali XII Naukovo-praktichnoyi konferencziyi dermatovenerologiv i kosmetologiv:* pid red. prof. Samczovogo A. V., prof. Sokolovskogo Ye.V., prof. Raznatovskogo K.I., SPb., Lyudina ta yiyi zdorovya, 2018, 222.
7. Fedorishhev I. A. *Gialuronova kislota: monografiya*. TulGU, 2011, 237.
8. Tatuzyan Ye. G., Bilovol A. N., Tkachenko S. G. Raczionalna terapiya vikovikh zmin shkiri oblichchya, *Dermatologiya ta venerologiya*, 2014, 4, 100-107.
9. Derkach N. M., Korzhov M. V., Korzhov V. I. Pro mozhlivist korekcziyi deyakikh biokhimichnikh proczesiv v komi pri starinni, *Ukr. zhurnal dermatologiyi, venerologiyi, kosmetologiyi*, 2009, 3, 45-49.
10. Kuldirkayeva Ye. V., Akadrna A. E. Aktualni aspekti rozrobki kremu kosmetichnogo z gidratantnim efektom na osnovi gialuronovoyi kisloti, *Ukr. med. al`manakh*, 2013, 16, 1, 145-146.
11. Liskina I. V., Derkach M. M., Kuzovki`na S. D. Porivnyalne kliniko-morfologichne doslidzhennya vplivu na shkiru dvokh preparativ na osnovi gialuronovoyi kisloti, *Ukr. zhurnal dermatologiyi, venerologiyi, kosmetologiyi*, 2016, 2, 64-69.
12. Shahmazan S. I., Kalyuzhna L. D. Stymuliyvannia reparatyvnykh processiv shkiry shliakhom zastisuvannia kombinatsiyi suktsynatu ta gialuronovoyi kisloti, *Medix Anti-aging,* 2011, 1, 57-58.

Сведения об авторах (About authors)

***Путятін* Богдан Володимирович** – інженер-технолог, ТОВ ВТФ «Фармаком», Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-5860-7628; e-mail: putyatinb@gmail.com.

Bogdan Putyatin – production engineer, PTF Farmakom LLC, Kharkov, Ukraine; ORCID: 0000-0002-5860-7628; e-mail: putyatinb@gmail.com.

***Куниця Катерина В*ікторівна** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інноваційних харчових і ресторанних технологій, ХТЕІ КНТЕУ, Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-5577-7026; e-mail: ekaterina.kunitsia@gmail.com.

Ekaterina Kunitsia – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Innovative Food and Restaurant Technologies, KhTEI KNTEU, Kharkov, Ukraine; ORCID: 0000-0001-5577-7026; e-mail: ekaterina.kunitsia@gmail.com.

Левчук Ірина Володимирівна – доктор техні**ч**них наук, доцент, начальник науково-методичної лабораторії хроматографічних досліджень, ДП «Укрметртестстандарт», Київ, Україна ORCID: 0000-0003-4690-0509; e-mail: iryna.levchuk.v@gmail.com.

Irina Levchuk – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Scientific and Methodological Laboratory for Chromatographic Studies, State Enterprise "Ukrmetrteststandart", Kiev, Ukraine ORCID: 0000-0003-4690-0509; e-mail: iryna.levchuk.v@gmail.com.

Гладух Євген Володимирович –. доктор фармацевтичних наук, професор, завідувач кафедри промислової фармації, НФаУ, Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-5739-9257; e-mail:glad_e@i.ua.

Evgeny Gladukh – Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Head of the Department of Industrial Pharmacy, NFaU, Kharkov, Ukraine; ORCID: 0000-0002-5739-9257; e-mail: glad_e@i.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Путятін Б. В., Куниця К. В., Левчук І. В., Гладух Є. В. Огляд ринку косметичної продукції anti-age та роль гіалуронової кислоти в процесах редермалізації шкіри. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 101-105. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.14.

Please cite this article as:

Putyatin B., Kunitsia K., Levchuk I., Gladukh E. Market review of anti-age cosmetic products and the role of hyaluronic acid in skin redermalization processes. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1 (3), pp. 101-105, doi:10.20998/2413-4295.2020.03.14.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Путятин Б. В., Куница Е. В., Левчук И. В., Гладух Е. В. Обзор рынка косметической продукции anti-age и роль гиалуроновой кислоты в процессах редермализация кожи. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 101-105. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.14.

АННОТАЦИЯ *В настоящее время актуальным является производство парфюмерно-косметических средств функционального направления, а именно косметических средств направленных на устранение проблем, связанных с кожными покровами. В работе рассмотрены вопросы актуальности рынке парфюмерно-косметических продуктов серии Anti-Age. На сегодняшний день разработка косметических продуктов для ухода за кожей сводится к созданию новых рецептур с использованием высокоэффективных биологически активных веществ природного происхождения. Быстрый рост сегмента средств по уходу за кожей на современном косметическом рынке все сильнее вызывает необходимость поиска нового сырья, на базе которой возможна разработка рецептур косметических продуктов, обладающих необходимыми функциональными свойствами. В качестве действующего вещества в составе косметического средства в работе предлагается рассмотреть гиалуроновую кислоту. Изучение свойств и механизмов действия гиалуроновой кислоты в организме человека дает возможность применения ее в качестве эффективного средства в таком процессе как редермализация. Отдельно отмечено применение гиалуроновой кислоты, как компонента, эффективно влияет на восстановительные механизмы кожи, внеклеточный матрикс и влияние на клеточный и внеклеточный гомеостаз. Отмечено, что комбинация гиалуроновой кислоты в сочетании с естественными метаболитами повышают эффективность и потребительский спрос в таких косметических продуктов. В качестве примера рассмотрено комбинацию гиалуроновой кислоты и натрия сукцината. Применение гиалуроната и его солей в косметологии основано на способности гиалуронатмистких продуктов предоставлять местное противовоспалительное, ранозаживляющее и иммуномодулирующее действие, способности задерживать в межклеточном пространстве воду и является основой механизма коррекции возрастных деформаций кожи. Нанесение гиалуроновой кислоты на эпителий повышает эластичность и упругость тканей. Применение высокомолекулярного гиалуроната при изготовлении различных комбинированных кремов, гелей и спреев для наружного применения является ключевым направлением в редермализация - восстановлении реологических свойств кожи.*

Ключевые слова: *косметическая продукция; гиалуроновая кислота; редермализация; кожа; продукция Anti-Age; косметическая эффективность*

Поступила (received) 18.02.2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

УДК 666:67.02 doi:10.20998/2413-4295.2020.03.15

ВПЛИВ ТЕРМОРЕАКТИВНИХ ДОБАВОК НА ВЛАСТИВОСТІ ГРАНУЛЬОВАНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ РІДКОГО СКЛА

Т. Е. РИМАР*, О. В. СУВОРІН

кафедра хімічної інженерії та екології СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк, УКРАЇНА
**e-mail: rymartatyana1975@gmail.com*

АНОТАЦІЯ *Розширення номенклатури, підвищення якості і конкурентної здатності вітчизняних теплоізоляційних матеріалів і виробів є пріоритетними напрямками модернізації, інноваційного розвитку будівельного комплексу. В якості перспективного можна назвати інноваційний проект із створення і використання зернистих утеплювачів на основі мінеральної сировини, зокрема рідкого скла. Рідкоскляні композиції, призначені для отримання теплоізоляційних матеріалів, містять у своєму складі різні цільові добавки, які за дією, що чиниться на рідке скло і одержуваний матеріал можна розділити на кілька груп: інертні по відношенню до рідкого скла, що виконують роль каркасоутворюючого наповнювача в готовому виробі, гелеутворюючі - викликають реакцію гелеутворення рідкого скла, руйнуючи, таким чином, його полімерну структуру, термореактивні добавки, які не взаємодіють з рідким склом, і при нагріванні розкладаються, виділяючи газоподібні продукти. Термореактивні добавки сприяють утворенню пористої структури гранул тому їх доцільно вводити в початкову рідкоскляну композицію для зниження щільності спученого гранульованого матеріалу. У роботі були використані термореактивні добавки різної природи та механізму дії з низькими температурами розкладання: натрію гідрокарбонат, азодикарбонамід та інтеркалірований графіт. На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що найбільш оптимальним комплексом експлуатаційних властивостей володіють гранули з інтеркалірованим графітом. Застосування такої добавки дозволяє отримувати матеріали з більш високими показниками ступеня перебудови структури. Зразки з вмістом інтеркалірованого графіту мають найменшу уявну та дійсну щільність. Цей компонент надає спучуваним гранулам найбільш високу стійкість до дії вологи, оскільки пориста структура характеризується переважно замкнутістю пір і їх дрібним розміром. Впорядкована дрібнопориста структура таких матеріалів обумовлена тим, що в результаті спучення інтеркалірованого графіту виділяється не газ, а збільшується відстань між шарами вуглецевої матриці, і це сприяє максимальному видаленню летких продуктів деструкції з поверхні і з глибших шарів гранули через пори, що відкрилися. Крім того, гранули з інтеркалірованим графітом менш крихкі ніж при використанні інших газоутворювачів.*
Ключові слова: *гранульовані теплоізоляційні матеріали; рідке скло; термореактивні добавки; інтеркалірований графіт; уявна щільність; дійсна щільність; водопоглинання; сорбційна вологість; параметр структуроутворення*

EFFECT OF THERMOSETTING ADDITIVES ON THE PROPERTIES OF LIQUID GLASS-BASED GRANULATED THERMAL INSULATION MATERIALS

T. RYMAR, O. SUVORIN

Chemical Engineering and Ecology Department, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, UKRAINE

ABSTRACT *Expansion of the nomenclature, improvement of quality and competitive ability of domestic thermal insulating materials and products are the priority areas of modernization, innovative development of the construction industry. An innovative project on creation and use of granular heat insulation based on mineral raw materials, in particular, liquid glass, can be named as a promising one. Liquid glass compositions intended for obtaining thermal insulation materials contain different target additives, which according to the action taken on liquid glass and the resulting material can be divided into several groups: inert in relation to liquid glass, which act as a framework-forming filler in the finished product, gel-forming - cause a reaction of gelation of liquid glass, thus destroying its polymer structure, thermosetting additives that do not interact with liquid glass, and when heated, decompose, releasing gaseous products. Thermosetting additives contribute to the formation of the porous structure of granules, so it is advisable to introduce them into the initial liquid glass composition to reduce the density of swollen granular material. Thermosetting additives of different nature and mechanism of action with low decomposition temperatures: sodium hydrogen carbonate, azodicarbonamide and intercalated graphite were used in this work. On the basis of the carried out researches it is possible to draw a conclusion that the most optimal complex of operational properties is owned by granules with intercalated graphite. Application of such additive allows receiving materials with the highest indicators of the degree of reconstruction of structure. Samples with intercalated graphite content have the lowest apparent and actual density. This component gives swollen granules the highest resistance to moisture, as the porous structure is characterized mainly by closed pores and their small size. The ordered fine porous structure of such materials is due to the fact that the bloating of intercalated graphite does not produce gas, but increases the distance between the layers of the carbon matrix, and this contributes to the maximum removal of the volatile degradation products from the surface and from deeper layers of the granule through the pores that have opened. In addition, granules with intercalated graphite are less brittle than with other gas generators.*
Keywords*: granulated thermal insulation materials; liquid glass; thermosetting additives; intercalated graphite; apparent density; actual density;water absorption; sorption humidity; structure formation parameter*

Вступ

Розширення номенклатури, підвищення якості та конкурентної здатності вітчизняних теплоізоляційних матеріалів і виробів є пріоритетними напрямками модернізації, інноваційного розвитку будівельного комплексу. В

© Т. Е. РИМАР, О. В. СУВОРІН, 2020

якості перспективного можна назвати інноваційний проект із створення і використання зернистих утеплювачів на основі мінеральної природної сировини. Специфіка пористої структури (переважання закритої пористості зерен, наявність міжзернових порожнеч) сприяє забезпеченню не лише гарних теплотехнічних властивостей зернистих теплоізоляційних матеріалів (ТІМ), але і стабільності показників їх якості в цілому. Наявні дані про параметри якості свідчать про перспективність застосування зернистих ТІМ для виготовлення теплозахисних конструкцій будівель. Зернисті матеріали використовуються як теплоізоляційні засипки, штучні пористі заповнювачі для легких бетонів, наповнювачі для композиційних матеріалів [1].

В останні роки велика увага приділяється спученим теплоізоляційним матеріалам на основі неорганічної сировини, зокрема, рідкого скла, так як ці матеріали, на відміну від традиційної органополімерної теплоізоляції володіють низькою горючістю. Розрізняють спучені рідкоскляні матеріали, що представляють собою продукти спучування гідратованих розчинних стекол, і композиційні матеріали, що включають гранульоване спучене рідке скло і зв'язуюче [2].

Рідкоскляні композиції (РСК), призначені для отримання теплоізоляційних матеріалів, містять у своєму складі різні цільові добавки, які за дією, що чиниться на рідке скло і одержуваний матеріал можна розділити на кілька груп [3]:

1. Інертні по відношенню до рідкого скла, що виконують роль каркасоутворюючого наповнювача в готовому виробі [4,5];

2. Гелеутворюючі - викликають реакцію гелеутворення рідкого скла, руйнуючи, таким чином, його полімерну структуру [5,6];

3. Термореактивні добавки, які не взаємодіють з рідким склом, і при нагріванні розкладаються, виділяючи газоподібні продукти [7,8].

Термореактивні (газоутворюючі) добавки здатні виділяти гази в результаті термічного розкладання, тим самим сприяючи утворенню пористої структури гранул. Ці компоненти доцільно вводити в початкову РСК для зниження щільності спученого гранульованого матеріалу.

Для отримання рівномірної комірчастої структури гранул спучувана РСК під час виділення парів води повинна характеризуватися відносно високою в'язкістю в цілях відвертання розриву осередків, що утворилися, а також низьким поверхневим натягненням щоб уникнути об'єднання дрібних пір у більші осередки (мимовільний процес зниження вільної поверхневої енергії системи). Понизити поверхневе натягнення рідкоскляної маси, стабілізувати дрібнопористу структуру, що утворилася, вдається за рахунок застосування газотвірних добавок, що мають малу хімічну спорідненість з рідкою фазою скла, які концентруються на поверхні розділу фаз, між газоподібною і рідкою фазами, і чинять поверхнево-активну дію [9].

Мета роботи

Вивчення впливу термореактивних добавок різної природи на властивості гранульованих теплоізоляційних матеріалів та вибір оптимальної добавки, яка б забезпечувала поєднання високих експлуатаційних властивостей гранул з їх впорядкованою закритопористою структурою.

Викладення основного матеріалу

З метою вибору оптимальної кількості та виду термореактивної добавки були виготовлені рідкоскляні гранули шляхом рідинної грануляції у розчині хлористого кальцію [10] та подальшого їх спучування в умовах мікрохвильового випромінювання. На отриманих зразказ були вивчені основні експлуатаційні властивості ТІМ та їх фазовий склад.

У ході проведених досліджень були визначені такі важливі характеристики теплоізоляційних матеріалів як абсолютна вологість, уявна, дійсна та насипна щільність, водопоглинання, гігроскопічність відповідно до ДСТУ Б В.2.7-38-95, які дозволяють оцінити якість отриманих зразків.

Дослідження фазового складу дисперсного матеріалу проводилось за нижче наведеною методикою.

При розрахунку фазового складу виходять з положення, що сума об'ємних часток твердої (K_T), рідкої (K_p) і газоподібної ($K_Г$) фаз дорівнює 1:

$$K_т + K_р + K_г = 1$$

Об'ємна частка твердої фази визначається з відношення уявної щільності зразка до його дійсної щільності:

$$K_т = \rho_c / \rho_u \text{, відн.од.}$$

Об'ємна вологість $W_{об}$ або об'ємна частка рідкої фази визначається за формулою:

$$W_{об} = K_р = W_a \cdot \rho_c \text{, відн.од.}$$

Об'ємний вміст газової фази або пористість зразка визначається по різниці:

$$K_г = 1 - (K_т + K_р) \text{, відн.од.}$$

Для сухого, сипучого, двофазного матеріалу баланс об'ємних часток має вигляд: $K_T+K_Г=1$ і з цього виразу визначається об'ємна частка газової фази $K_Г$ при відомому значенні K_T.

На підставі цього балансу можна отримати параметр (n), що характеризує інтенсивність процесів структуроутворення в динамічних системах. Він

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

показує відносну зміну співвідношення об'ємної концентрації твердої фази і вільного порового простору, при переході дисперсної системи з одного стану в інший, під дією зовнішнього енергетичного впливу (хімічного, механічного або теплового.) Величину *n* можна визначити з співвідношення:

$$K_{m_2}/(1-K_{m_2}) = n \cdot K_{m_1}/(1-K_{m_1}),$$

де K_{T1}, K_{T2} - об'ємна частка твердої фази на початку і в кінці поризації системи відповідно.

Якщо в системі не відбувається ніяких змін, то n=1. Зменшення об'єму системи характеризується n>1, а при її збільшенні (поризація) n<1. Якщо нормувати зміну параметра n в межах (0-1), то при поризації ступінь перебудови структури (α_n) матеріалу можна визначити за співвідношенням:

$$\alpha_n = (1/n_i - 1)/(1/n_i),$$

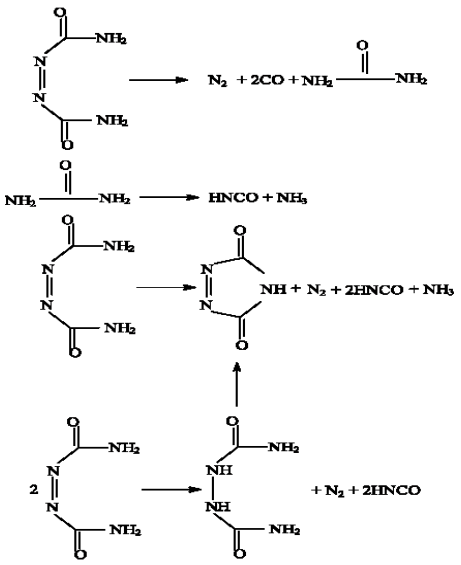
де $1/n_i$ - спучуваність матеріалу в процесі або в кінці впливу на дисперсну систему; $1/n_i = V_2/V_1$; де V_2 і V_1 - об'єм системи в кінцевому і початковому станах відповідно, см^3 [11].

У роботі були використані термореактивні добавки різної природи та механізму дії з низькими температурами розкладання:

1.Термореактивна добавка неорганічної природи - натрію гідрокарбонат з $t_{розкл}$ = 60 ^{0}C:

$$2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2 \uparrow + H_2O$$

2.Термореактивна добавка органічної природи – азодикарбонамід з $t_{розкл}$ = 210 ^{0}C:



3. Інтеркалірований графіт (ІГ) з $t_{розкл}$ = 250-300 ^{0}C.

Інтеркалірований графіт – з'єднання впровадженого графіту, що отримується впровадженням в міжшаровий простір кристалічної решітки графіту молекул і іонів певних речовин (інтеркалантів), іноді в присутності активаторів (як правило, окислювачів).

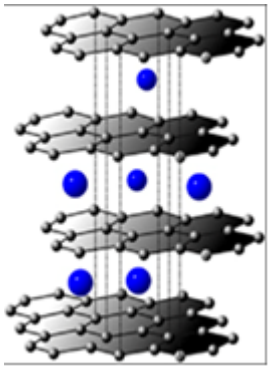


Рис. 1 – Структура інтеркалірованого графіту

Отримують його обробкою графіту в окислюючому розчині на основі концентрованих сірчаної, соляної, азотної кислот. Механізм його спучення полягає в тому, що при нагріванні відбувається термічне розширення міжшарової відстані вуглецевої матриці. Це сприяє максимальному видаленню летких продуктів деструкції з поверхні і з глибинних шарів через пори, що відкрилися. Видаленню летких речовин, що утворюються, з внутрішнього об'єму часток ІГ передує утворення газових бульбашок (міхурів). Наростання тиску газу в них із збільшенням температури призводить до наступних деформацій графітових шарів при тепловому ударі: утворенню тріщин в чешуйках і скручуванню шарів [12].

Обговорення результатів

Нижче приведені графіки, які дозволяють детально дослідити властивості гранульованих матеріалів в залежності від виду та кількості термореактивних добавок.

Кількість видаленої абсорбційної і вільної вологи (абсолютна вологість) і летких продуктів розкладання термореактивних добавок при отриманні гранульованого матеріалу наведена на рис. 2.

Виходячи з даних рисунку видно, що кількість вологи і летких прямопропорційно залежить від вмісту термореактивної добавки. При спученні матеріалу видаляється не лише зв'язана волога, але також і леткі продукти розкладання газоутворювачів (і чим більший вміст такої добавки у вихідній рідкоскяній композиції, тим більше видаляється летких сполук). Саме тому високий вміст термореактивної добавки провокує інтенсивне утворення відкритих пір, що повідомляються, в структурі гранул і, як наслідок, високі показники абсолютної вологості. Так, зразки з гідрокарбонатом натрію мають найбільший показник абсолютної вологості, який збільшується від 22,7% до 37,5%, при

введенні в композицію 0,5 і 2 мас.ч добавки відповідно, тобто застосування цього газоутворювача призводить до інтенсивного утворення відкритих пір і їх з'єднання між собою. Найменший показник кількості видаленої вологи і летких мають зразки з інтеркалірованим графітом, який коливається в межах 23,67% - 28,24% при введенні в композицію 1-4 мас.ч такої добавки відповідно. Такий низький показник обумовлений механізмом спінювання інтеркалірованого графіту, який описаний далі. Так, інтеркаліровані з'єднання графіту дуже нестійкі, тому легко розкладаються під дією води, причому реакція протікає з великою швидкістю і призводить до утворення аддукту, що називається окисленим графітом (ОГ). В процесі термообробки ОГ в міжкристалітній області за рахунок утворення газоподібних продуктів при розкладанні впроваджених речовин виникає внутрішньошаровий диспергуючий тиск. При цьому продукти розкладання у вигляді газової фази виходять з графітової матриці як уздовж графітового шару, так і перпендикулярно до нього. У результаті відбувається розрив і зрушення графітових шарів зі значним збільшенням об'єму аж до утворення піноподібної структури [13]. Таким чином, мала кількість летких продуктів, що видаляються, обумовлює високий ступінь спінювання, тобто кількістю видалених летких можна нехтувати і вважати, що при спученні гранул за допомогою ІГ видаляється лише молекулярна вода.

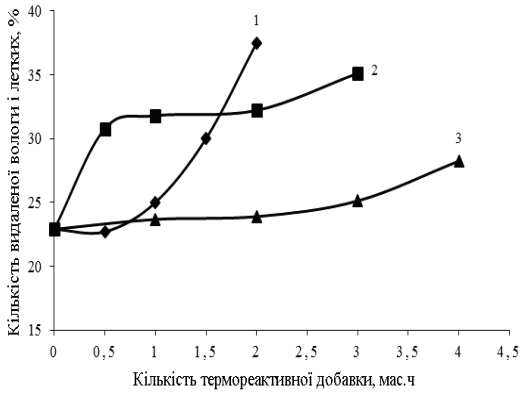
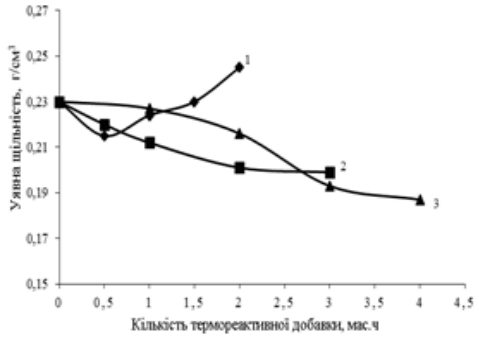


Рис. 2 – Залежність кількості видаленої вологи і летких від виду і кількості термореактивної добавки: 1 - гідрокарбонат натрію; 2 - азодикарбонамід; 3 - інтеркалірований графіт

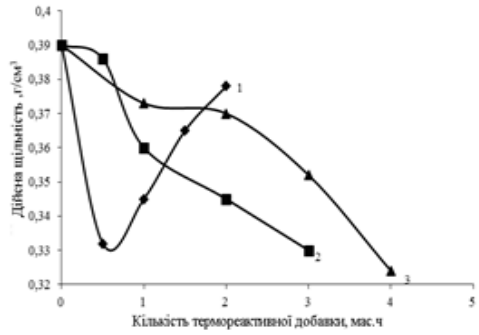
Значення уявної і дійсної щільності спучених гранульованих зразків представлені на рис. 3.

Згідно даних, зображених на рис. 3 видно, що зі збільшенням вмісту термореактивної добавки у РСК уявна і дійсна щільність гранул падають для матеріалу, що містить інтеркалірований, графіт і азодикарбонамід. Це пояснюється тим, що при збільшенні кількості даних добавок збільшується і кількість пір, що утворюються, в готових зразках при низькій в'язкості розігрітої РСК. Найменшу уявну і дійсну щільність мають зразки з вмістом інтеркалірованого графіту.

Так уявна щільність змінюється від 0,227 г/см3 при вмісті в гранулах 1 мас.ч добавки до 0,187 г/см3 при вмісті графіту 4 мас.ч. Значення дійсної щільності зменшуються відповідно від 0,373 г/см3 до 0,324 г/см3. Також низькою щільністю характеризується матеріал з вмістом азодикарбонаміду, значення уявної щільності складають 0,22-0,199 г/см3 при кількості газоутворювача 0,5-3 мас.ч, а дійсної 0,386 г/см3 - 0,330 г/см3. Але застосування цього типу газоутворювача має істотний недолік: вже на третій хвилині спучення у мікрохвильовому полі зразки запалюються. Такий ефект є наслідком того, що в процесі розкладання азодикарбонаміду виділяється близько 30 % монооксиду вуглецю, при цьому граничний його вміст, при якому починається займання, складає близько 12%.



а



б

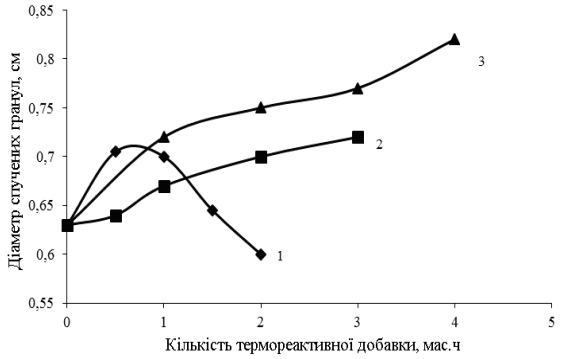
Рис. 3 – Вплив типу і кількості термореактивної добавки на уявну (а) і дійсну (б) щільність гранульованого матеріалу: 1 - гідрокарбонат натрію; 2 - азодикарбонамід; 3 - інтеркалірований графіт

Невисокі показники уявної щільності для спученого матеріалу, що містить гідрокарбонат натрію у кількості 0,5-2 мас.ч, що становлять 0,215-0,245 г/см^3 відповідно, обумовлені значним зростанням в'язкості РСК при збільшенні кількості газоутворювача. Гідрокарбонат натрію в цьому випадку діє як отверджувач для рідкого скла, тобто він не лише взаємодіє з лугом, знижуючи його вміст, але виділяє при своєму розкладанні кремнекислоту, яка в твердничій системі помітно ущільнює її,

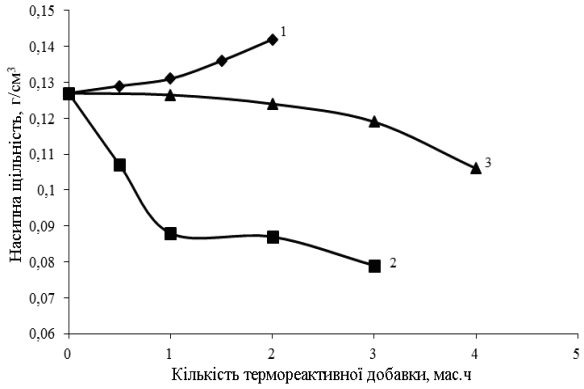
ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

підвищуючи в'язкість усієї суміші, і отже знижуючи пористість. Як наслідок, інтенсивність пороутворення падає, і матеріал після спучення характеризується більш високою щільністю. При вмісті в композиції 0,5 мас.ч гідрокарбонату натрію, дійсна щільність отриманих зразків спочатку падає в порівнянні з щільністю гранул без вмісту гзоутворювача і складає 0,332 г/см^3. Потім у міру зростання вмісту гідрокарбонату натрію до 2 мас.ч збільшується в'язкість суміші, і як наслідок щільність спучених гранул до 0,378 г/см^3.

Далі приведені дані, які характеризують вплив кількості термореактивних добавок на діаметр спучених гранул і їх насипну щільність (рис. 4).



а



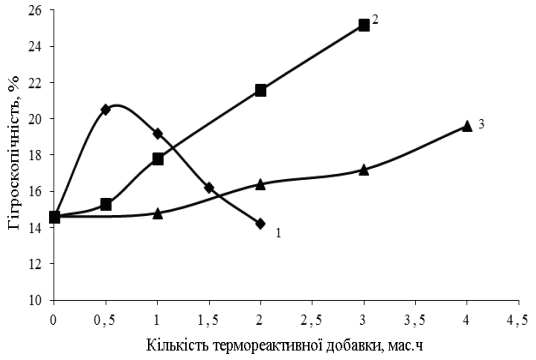
б

Рис. 4 – Вплив типу і кількості термореактивної добавки на діаметр (а) і насипну щільність (б) гранульованого матеріалу: 1 - гідрокарбонат натрію; 2 - азодикарбонамід; 3 - інтеркалірований графіт

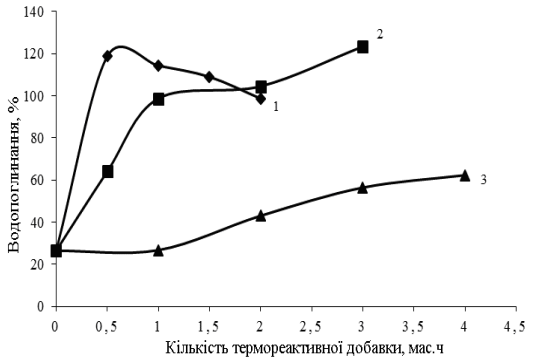
Як видно з даних рис. 4, залежність діаметру гранул і їх насипної щільності від кількості термореактивної добавки має практично прямопропорційний характер для матеріалу з вмістом інтералірованого графіту і азодикарбонаміду. Середній діаметр гранул складає 0,67-0,77 см. При використанні як газоутворювача азодикарбонаміду насипна щільність найнижча, і складає 0,107 г/см^3 при 0,5 мас. ч і 0,079 г/см^3 при 3 мас. ч відповідно. Діаметр гранул в цьому випадку змінюється від 0,64 до 0,72 см. Насипна щільність зразків із застосуванням інтеркалірованого графіту змінювалася незначно зі збільшенням кількості газоутворювача і складала для 1 мас. ч - 0,127 г/см^3 і для 4 мас. ч. - 0,106 г/см^3. Це свідчить про те, що при збільшенні кількості графіту зберігається постійність фракційного складу, а процеси перетворення структури відбуваються переважно усередині гранули.

Зауважимо, що у результаті спучення зразків з гідрокарбонатом натрію, виділяється велика кількість газу, що ускладнює його диспергування у рідкому склі через високу в'язкість композиції. І, оскільки швидкість затвердіння РСК перевищує швидкість виділення газу, діаметр спучених гранул є найнижчим (при вмісті добавки 0,5-2 мас.ч діаметр гранул зменшується з 0,705 до 0,6 см). Показник насипної щільності таких гранул найвищий, що узгоджується з показниками діаметрів цього типу гранул, і складає 0,129 г/см^3 при 0,5 мас. ч гідрокарбонату натрію і 0,142 г/см^3 при 2 мас. ч. Гідрокарбонат натрію надав гранулам рівномірний гранулометричний склад і форму часток, і як наслідок, високу ущільненість.

На рис. 5 показано вплив термореактивних добавок на сорбційну вологості (гігроскопічність) і водопоглинання гранульованого матеріалу.



а



б

Рис. 5 – Вплив типу і кількості термореактивної добавки на гігроскопічність (а) і водопоглинання (б) гранульованого матеріалу: 1 - гідрокарбонат натрію; 2 - азодикарбонамід; 3 - інтеркалірований графіт

Найбільш високий показник сорбційної вологості відповідає зразкам з вмістом азодикарбонаміду, він складає від 15,3-25,2 % при збільшенні вмісту цієї добавки в композиції від 0,5

мас.ч до 3 мас.ч. Оскільки цей тип гранул характеризується нерівномірною пористою структурою з наявністю великих наскрізних пір, поглинання матеріалом випарів води високе. Зразки із вмістом азодикарбонаміду найменш водостійкі: водопоглинання цих зразків збільшується з 64 до 123,4 % при кількість азодикарбонаміду 1-3 мас.ч. Очевидно, що такий матеріал має відкритопористу структуру, тому він найменш придатний для використання у вологих середовищах, що є великим недоліком.

При використанні гідрокарбонату натрію як газоутворювача спучені гранули також характеризуються низькою сорбційною вологістю (20,52-14,2%), оскільки висока в'язкість початкової РСК зумовила її низьку поризаційну здатність, однак водопоглинання таких зразків вище 100 %, що свідчить по відкритопористу структуру гранул.

При використанні як газоутворювача інтеркалірованого графіту значення сорбційної вологості нижче і складає 14,8-19,6 % - при вмісті його 1-4 мас.ч. Такі зразки мають найменші значення водопоглинання, які збільшуються від 22% до 62,3 % із зростанням вмісту графіту. Вочевидь, цей компонент надає спучуваним гранулам найбільш високу стійкість до дії вологи, оскільки пориста структура характеризується переважно замкнутістю пір і їх дрібним розміром. Крім того, поглинанню води перешкоджала кірочка, що утворилася на поверхні гранул.

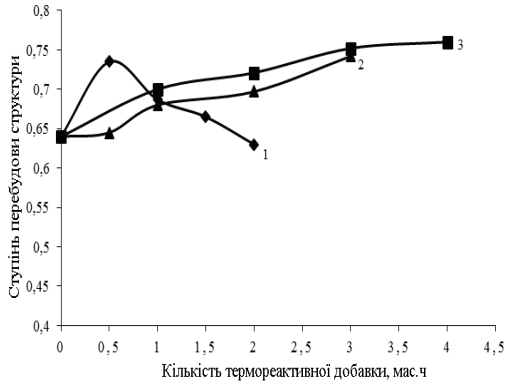
На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що найбільш оптимальним комплексом експлуатаційних властивостей володіють гранули з інтеркалірованим графітом. Оскільки збільшення кількості інтеркалірованого графіту не призводить до значного зменшення щільності матеріалу, тому оптимальна його кількість складає 1 мас.ч. Характеристика отриманого матеріалу (середні значення показників) приведена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Властивості гранульованого матеріалу з вмістом 1 мас.ч інтеркалірованого графіту

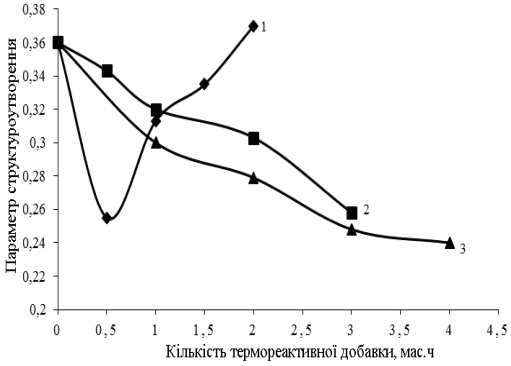
№ з/п	Найменування показника	Показник
1	Кількість видаляємої вологи і летких, %	23,67
2	Щільність уявна, г/см^3	0,227
3	Щільність дійсна, г/см^3	0,373
4	Щільність насипна, г/см^3	0,1265
5	Водопоглинання, %	26,7
6	Сорбційна вологість, %	14,8
7	Загальна пористість, %	83,37
8	Доля закритих пір, %	57,09

Далі проводились дослідження фазового складу дисперсного матеріалу в залежності від виду термореактивної добавки. Дослідження параметра ступеня перебудови структури гранульованого матеріалу дозволяє вибрати найбільш ефективний газоутворювач для отримання таких ТІМ з найнижчою щільністю.

Залежності ступеня перебудови структури α_n і параметра структуроутворення n від кількості і виду термореактивної добавки приведені на рис. 6.



а



б

Рис. 6 – Вплив типу і кількості термореактивної добавки на ступінь перебудови структури (а) і параметр структуроутворення (б) гранульованого матеріалу: 1 - гідрокарбонат натрію; 2 - азодикарбонамід; 3 - інтеркалірований графіт

З даних рис. 6 виходить, що гранули з вмістом азодикарбонаміду мають досить високе значення ступеня перебудови структури α_n і найменший показник параметра структуроутворення *n*, але, як вказувалося раніше, при спученні цей матеріал запалюється в результаті деструкції газоутворювача, що є неприпустимим у виробництві. Для зразків гранул з вмістом гідрокарбонату натрію при збільшенні кількості газоутворювача з підвищенням в'язкості РСК падає її поризаційна здатність, тому при 2 мас.ч добавки ступінь перебудови структури знижується до 0,63, а параметр структуроутворення зростає відповідно до 0,37. Оптимальним газоутворювачем є інтеркалірований графіт, оскільки гранули з його вмістом мають досить високі показники ступеня перебудови структури (α_n = 0,7 при 1 мас. ч добавки) – це свідчить про те, що початкова РСК має найвищу поризационной

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

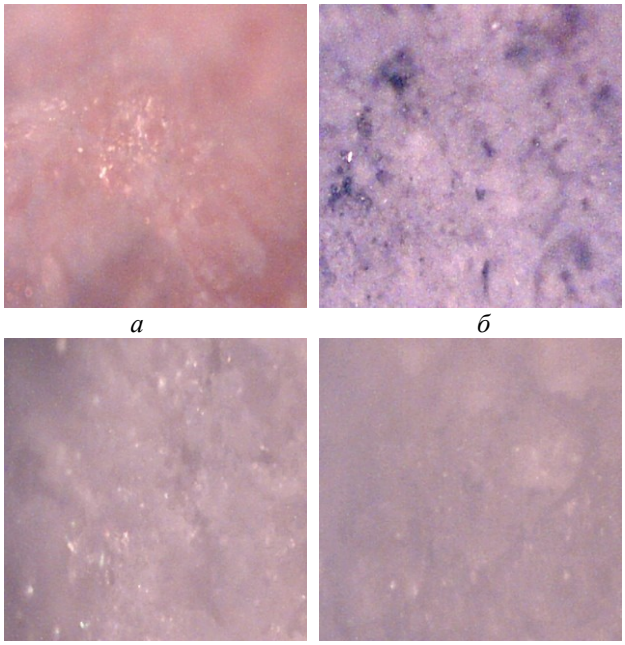
здатність, а спучені гранули мають однорідну структуру.

У табл. 2 приведені результати розрахунку фазового складу (середні значення показників) спученого матеріалу для оптимального вмісту термореактивної добавки в РСК, при яких отриманий матеріал характеризується низькою щільністю у поєднанні з низьким водопоглинанням і сорбційною вологістю.

Таблиця 2 – Дані розрахунку фазового складу гранульованого матеріалу в залежності від виду термореактивної добавки

Термореактивна добавка		Спучений матеріал			
		$К_{Т2}$	$К_Г$	α_n	n
Без термореактивної добавки		0,59	0,41	0,64	0,37
Гідрокарбонат натрію	2 мас.ч	0,628	0,372	0,63	0,37
Азодикарбон-амід	0,5 мас.ч	0,565	0,435	0,65	0,35
Інтеркалірова-ний графіт	1 мас.ч	0,45	0,55	0,7	0,3

На рис. 7 наведені фото структури гранульованого матеріалу при вмісті різної кількості і типу термореактивної добавки. Фотографії зроблено за допомогою цифрового мікроскопу Bresser LSD 50x-2000x.

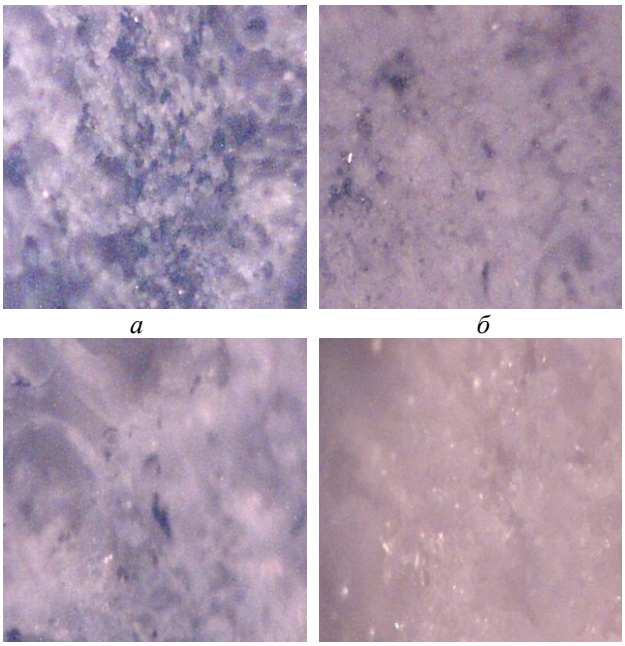


а *б* *в* *г*

Рис. 7 – Пориста структура матеріалів з різними типами термореактивної добавки (збільшення 50х): а) азодикарбонамід (2 мас. ч.); б) інтеркалірований графіт (2 мас. ч.); в) гідрокарбонат натрію (2 мас. ч); г) без газоутворювача

З наведених фото видно, що найбільш впорядкована структура спостерігається у зразків з вмістом інтеркалірованого графіту. Найбільш неоднорідна структура - у зразків, що містять у своєму складі гідрокарбонат натрію, оскільки виділяється велика кількість газу, який погано диспергується у РСК і, як наслідок, утворюється структура з великою кількістю великих пір. У гранулах з вмістом азодикарбонаміду досить однорідна структура, але як вказувалося раніше, такі зразки запалюються при спученні.

Простежимо за зміною структури гранульованого матеріалу з вмістом як газоутворювача інтеркалірованого графіту на рис. 8, оскільки в гранулах на його основі спостерігалась найбільш впорядкована однорідна структура.



а *б* *в* *г*

Рис. 8 – Пориста структура матеріалів з різним вмістом інтеркалірованого графіту (збільшення 50х): а) 1 мас.ч .; б) 2 мас.ч .; в) 3 мас.ч .; г) без газоутворювача

Як видно з рис. 8, усі спучені гранульовані зразки з використанням інтеркалірованого графіту мають впорядковану структуру. Дрібнопориста однорідна структура таких матеріалів обумовлена тим, що в результаті спучення інтеркалірованого графіту виділяється не газ, а збільшується відстань між шарами у вуглецевій матриці, і це сприяє максимальному видаленню летких продуктів деструкції з поверхні і з глибших шарів через пори, що відкрилися.

Висновки

На підставі проведених досліджень показано, що найбільш оптимальним комплексом

експлуатаційних властивостей володіють гранули з інтеркалірованим графітом. Застосування такої добавки у кількості 1 мас. ч дозволяє отримувати матеріали з найбільш високим показником ступеня перебудови структури, який дорівнює 0,7 ум.од. Зразки з вмістом інтеркалірованого графіту мають найменшу уявну і дійсну щільність - 0,227 г/см^3 і 0,373 г/см^3 відповідно. Цей компонент надає спученим гранулам найбільш високу стійкість до дії вологи (гігроскопічність складає 14,8%, а водопоглинання - 26,7%), оскільки пориста структура характеризується переважно замкнутістю пір (доля закритих пір складає 57,09% при загальній пористості зразків 83,37%) та їх дрібним розміром. Крім того, гранули з інтеркалірованим графітом менш крихкі ніж при використанні інших газоутворювачів.

Список літератури

1. Кудяков А. И., Свергунова Н. А, Иванов М. Ю. *Зернистый теплоизоляционный материал на основе модифицированной жидкостекольной композиции*: *Монография*. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та. 2010. 204 с.
2. Зарубина Л. П. *Теплоизоляция зданий и сооружений*. Петербург: Материалы и технологии. 2012. 416 с.
3. Лотов В. А.. Кутугин В. А., Ревенко В. В. Управление процессами поризации термопеносиликатных изделий на основе жидкого стекла. *Стекло и керамика*. 2009. № 11. С. 19-22.
4. Супрун О. Ю. Жидкостекольные композиции для защиты строительных конструкций от коррозионных воздействий. *Научно-технический сборник.* 2005. № 63. С. 108-116.
5. Баженов Ю. М. *Ограждающие конструкции с использованием бетонов низкой теплопроводности (основы теории. методы расчета и технологическое проектирование)*. Москва: АСВ. 2008. 319 с.
6. Киреев А. А. Совершенствование средств оперативной защиты от теплового воздействия пожара. *Проблемы пожарной безопасности. Сборник научных трудов.* 2010. № 28. С. 81-85.
7. Лотов В. А.. Кутугин В. А. Формирование пористой структуры пеносиликатов на основе жидкостекольных композиций. *Стекло и керамика.* 2008. № 1. С. 6-10.
8. Строкова В. В.. Лесовик В. С.. Лесовик Р. В.. Клочков А. В.. Мосьпан А. В. Пат. 2465223. Российская Федерация. *Способ изготовления полых стеклосфер. сырьевая шихта для изготовления полых стеклосфер*. 2012.
9. Страхов В. А.. Иващенко Н. А.. Тимохин Д. К. Влияние активных минеральных наполнителей на формирование структуры и свойств энергоэффективных строительных композитов. *Вестник СГТУ*. 2012. № 3 (67). С. 228-230.
10. Морозов А.П. *Пенобетоны и другие теплоизоляционные материалы*. Магнитогорск. 2008. 103 с.
11. Лотов В. А.. Кутугин В. А. *Технология материалов на основе силикатных дисперсных систем*: учеб. пособ. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2011. 202 с.
12. Kang F.. Zheng Y.. Wang H. Effects of preparation conditions on the characteristics of exfoliated graphite. *Carbon N. Y.*. 2002. V. 400. № 9. P. 1575-1581. doi: 10.1016/S0008-6223(02)00023-4.
13. Inagaki M.. Ivashita N.. Kouro E. Potential change with intercalation sulfuric acid into graphite. *Carbon N. Y.*. 1990. № 1. V. 28. P. 49-55. doi: 10.1016/0008-6223(90)90092-D.

References (transliterated)

1. Kudiakov A. Y., Sverhunova N. A, Yvanov M. Yu. *Zernysti teployzoliatsyonniy materyal na osnove modyfytsyrovannoi zhydkostekolnoi kompozytsyy, Monohrafyia* [Grain thermal insulation material based on modified liquid glass composition]. Tomsk, Yzd-vo Tom. hos. arkhyt.-stroyt. un-ta Publ., 2010. 204 p.
2. Zarubyna L. P. *Teployzoliatsyia zdanyi y sooruzhenyi* [Thermal insulation of buildings and structures]. Peterburh, Materyali y tekhnolohyy Publ., 2012. 416 p.
3. Lotov V. A., Kutuhyn V. A., Revenko V. V. Upravlenye protsessamy poryzatsyy termopenosylykatnykh yzdelyi na osnove zhydkoho stekla [Pore control of thermopenosilicate products based on liquid glass]. *Steklo y keramyka*, 2009, № 11, pp. 19-22.
4. Suprun O. Yu. Zhydkostekolnie kompozytsyy dlia zashchyti stroytelnikh konstruktsyi ot korrozyonnikh vozdeistvyi [Liquid glass compositions to protect building structures from corrosive influences]. *Nauchno-tekhnycheskyi sbornyk*, 2005, № 63, pp. 108-116.
5. Bazhenov Yu. M. *Ohrazhdaiushchye konstruktsyy s yspolzovanyem betonov nyzkoi teploprovodnosty (osnovi teoryy, metodi rascheta y tekhnolohycheskoe proektyrovanye*) [Enclosure structures using low thermal conductivity concretes (basic theory, calculation methods and process design)]. Moskva, ASV, 2008. 319 p.
6. Kyreev A. A. Sovershenstvovanye sredstv operatyvnoi zashchyty ot teplovoho vozdeistvyia pozhara [Improvement of means of operative protection against thermal influence of fire]. *Problemy pozharnoi bezopasnosty. Sbornyk nauchnykh trudov*, 2010, № 28, pp. 81-85.
7. Lotov V. A., Kutuhyn V. A. Formyrovanye porystoi struktury penosylykatov na osnove zhydkostekolnykh kompozytsyi [Formation of the porous structure of penosilicates based on liquid glass compositions]. *Steklo y keramyka*. 2008, № 1. pp. 6-10.
8. Strokova V. V., Lesovyk V. S., Lesovyk R. V., Klochkov A. V., Mospan A. V. *Sposob yzghotovlenyia polykh steklosfer, syrevaia shykhta dlia yzghotovlenyia polykh steklosfer [Manufacturing method of hollow glass spheres, raw material charge for manufacturing hollow glass spheres]*. Patent RF no 2465223. 2012.
9. Strakhov V. A., Yvashchenko N. A., Tymokhyn D. K. Vlyianye aktyvnykh myneralnykh napolnytelei na formyrovanye struktury y svoistv enerhoeffektyvnykh stroytelnykh kompozytov [Influence of active mineral fillers on formation of structure and properties of energy efficient building composites]. *Vestnyk SHTU*, 2012, № 3 (67), pp. 228-230.
10. Morozov A. P. *Penobetony y druhye teployzoliatsyonnye materyaly* [Foam concrete and other thermal insulation materials]. Mahnytohorsk, 2008. 103 p.
11. Lotov V. A., Kutuhyn V. A. *Tekhnolohyia materyalov na osnove sylykatnykh dyspersnykh system* [Technology of materials based on silicate disperse systems], ucheb. posob. Tomsk, Yzd-vo Tomskoho polytekhnycheskoho unyversyteta, 2011. 202 p.
12. Kang F., Zheng Y., Wang H. Effects of preparation conditions on the characteristics of exfoliated graphite. *Carbon N. Y.,* 2002, V. 400, № 9, pp. 1575-1582. doi, 10.1016/S0008-6223(02)00023-4.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

13. Inagaki M., Ivashita N., Kouro E. Potential change with intercalation sulfuric acid into graphite. *Carbon N. Y.*, 1990, № 1, V. 28, pp. 49-55. doi, 10.1016/0008-6223(90)90092-D.

Сведения об авторах (About authors)

Римар Тетяна Ернстівна – кандидат технічних наук, доцент, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля - доцент кафедри «Хімічна інженерія та екологія»; м. Сєвєродонецьк; Україна; ORCID: 0000-0001-9724-8640; e-mail: rymartatyana1975@gmail.com.

Tatyana Rymar – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Associate Professor of Chemical Engineering and Ecology Department; Severodonetsk, Ukraine; ORCID: 0000-0001-9724-8640; e-mail: rymartatyana1975@gmail.com.

Суворін Олександр Вікторович – доктор технічних наук, професор, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля - завідувач кафедри «Хімічна інженерія та екологія»; м. Сєвєродонецьк; Україна; ORCID: 0000-0001-9251-5017; e-mail: avsuvorin@ukr.net.

Oleksandr Suvorin – Doctor of Technical Sciences, Professor, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University; Head of Chemical Engineering and Ecology Department, Severodonetsk, Ukraine; ORCID: 0000-0001-9251-5017; e-mail: avsuvorin@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Римар Т. Е., Суворіна О. В. Вплив термореактивних добавок на властивості гранульованих теплоізоляційних матеріалів на основі рідкого скла. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 106-114. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.15.

Please cite this article as:

Rymar T., Suvorin O. Effeck of thermosetting additives on the properties of liquid gless-based granulated thermal insulation materials. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1 (3), pp. 106-114, doi:10.20998/2413-4295.2020.03.15.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Рымар Т. Э., Суворин А. В. Влияние термореактивных добавок на свойства гранулированных теплоизоляционных материалов на основе жидкого стекла. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 106-114. doi:10.20998/2413-4295.2020.03.15.

АННОТАЦИЯ *Расширения номенклатуры, повышения качества и конкурентной способности отечественных теплоизоляционных материалов и изделий являются приоритетными направлениями модернизации, инновационного развития строительного комплекса. В качестве перспективного можно назвать инновационный проект по созданию и использованию зернистых утеплителей на основе минерального сырья, в частности жидкого стекла. Жидкостекольные композиции, предназначенные для получения теплоизоляционных материалов, содержат в своем составе разные целевые добавки, которые по действию, оказываемому на жидкое стекло и получаемый материал можно разделить на несколько групп: инертные по отношению к жидкому стеклу, которые выполняют роль каркасообразующего наполнителя в готовом изделии, гелеобразующие – вызывают реакцию гелеобразования жидкого стекла, разрушая, таким образом, его полимерную структуру, термореактивные добавки, которые не взаимодействуют с жидким стеклом, и при нагревании разлагаются, выделяя газообразные продукты. Термореактивные добавки способствуют образованию пористой структуры гранул, поэтому их целесообразно вводить в начальную жидкостекольную композицию для снижения плотности вспученного гранулированного материала. В работе были использованы термореактивные добавки разной природы и механизма действия с низкими температурам разложения: натрия гидрокарбонат, азодикарбонамид и интеркалированный графит. На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что наиболее оптимальным комплексом эксплуатационных свойств владеют гранулы с интеркалированным графитом. Применение такой добавки позволяет получать материалы с ниаболее высокими показателями степени перестройки структуры. Образцы с содержанием интеркалированного графита имеют наименьшую кажущуюся и действительную плотность. Этот компонент придает вспученным гранулам наиболее высокую стойкость к действию влаги, поскольку пористая структура характеризуется преимущественно замкнутостью пор и их мелким размером. Упорядоченная мелкопористая структура таких материалов обусловлена тем, что в результате вспучивания интеркалированного графита выделяется не газ, а увеличивается расстояние между слоями углеродной матрицы, и это способствует максимальному удалению летучих продуктов деструкции с поверхности и из более глубоких слоев гранулы через поры, которые открылись. Кроме того гранулы с интеркалированным графитом менее хрупки чем при использовании других газообразователей.*

Ключевые слова: *гранулированные теплоизоляционные материалы; жидкое стекло; термореактивные добавки; интеркалированный графит; кажущаяся плотность; действительная плотность; водопоглощение; сорбционная влажность; параметр структурообразования*

Надійшла (received) 11.02.2020

УДК 542.938+546.73 doi:10.20998/2413-4295.2020.03.16

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОСАДЖЕННЯ КОБАЛЬТ(II) ГІДРОКСИДУ

Л. А. ФРОЛОВА

кафедра технології неорганічних речовин та екології, ДВНЗ УДХТУ, Дніпро, УКРАЇНА
e-mail: 19kozak83@gmail.com

АНОТАЦІЯ *Гідроксиди перехідних металів широко використовуються у якості пігментів, адсорбентів, каталізаторів. Особливе місце займають кобальт(II) і кобальт(III) гідроксиди. Дуже часто їх використовують як сировину для отримання сполук складної структури. Оксиди, гідроксиди, оксігідроксиди кобальту є перспективною сировиною для отримання магнітоносіїв, хемосорбентів, каталізаторів, джерел струму, спеціальної кераміки, ІЧ-детекторів, магніторезісторів, лазерних матеріалів. Важливою задачею є встановлення механізму осадження кобальт(II) гідроксиду на основі використання комплексу методів аналізу: потенціометричного титрування, залишкових концентрацій, вимірювання електропровідності, уявного об'єму осаду, циклічної вольтамперометрії, чисельного диференціювання. Криві потенціометричного титрування для системи Co^{2+}-NaOH-H_2O показують, що при співвідношенні $[OH^-/Co^{2+}] = 1,8$ спостерігається невелике плато, яке відповідає утворенню основної солі, при стехіометричному співвідношенні $[OH^-/Co^{2+}] = 2$ відбувається повне осадження у вигляді гідроксиду кобальту $Co(OH)_2$. Крива залежності уявного об'єму в системі $CoSO_4$-NaOH-H_2O складається з двох частин, які відповідають кривій потенціометричного титрування. Криві залежності електропровідності мають чіткий перегин в точці, що відповідає утворенню основної солі та гідроксиду. ЦВА для кобальтвмісних розчинів мають характерні піки на катодній хвилі, відповідні відновленню кобальт (III) в кобальт (II) і кобальт (II) в кобальт (0), анодна хвиля має додатковий пік в інтервалі потенціалів +0,19 - +0,20 В. Поступове вивільнення катіонів від циклу 1 до циклу 5 свідчить про утворення стійких полігідроксокомплексів кобальту, які поступово руйнуються. Таким чином, встановлено, що реакція взаємодії між $CoSO_4$ і NaOH протікає в кілька стадій з утворенням спочатку основної солі і потім полігідроксокомплексів. У розчинах з концентрацією $C_{CoSO4} = 0,4$-$0,5$ моль / л утворюється основна сіль складу $Co(OH)_{1,8}(SO_4)_{0,1}$, в більш розведених розчинах утворюється основна сіль складу $Co(OH)_{1,9}(SO_4)_{0,05}$.*
Ключові слова: *кобальт(II) гідроксид; потенціометричне титрування; спектрофотометрія; полігідроксокомплекси; циклічна вольтамперометрія; осадження*

INVESTIGATION OF THE COBALT (II) HYDROXIDE PRECIPITATION PROCESS

L. FROLOVA

Department of Inorganic Materials Technology and Ecology, Ukrainian State University of Chemical Engineering, Dnipro, UKRAINE

ABSTRACT *Hydroxides of transition metals are widely used as pigments, adsorbents, catalysts. A special place is occupied by cobalt (II) and cobalt (III) hydroxides. Very often they are used as raw materials to obtain compounds of complex structure. Cobalt oxides, hydroxides, oxyhydroxides is a promising raw material for the production of magnetocarriers, chemisorbents, catalysts, current sources, special ceramics, IR detectors, magnetoresistors, and laser materials. The main task is to study a cobalt (II) hydroxide deposition mechanism based on a set of analysis methods such as potentiometric titration, residual concentrations, conductivity measurements, apparent volume of precipitation, cyclic voltammetry, and numerical differentiation. Potentiometric titration curves for the Co^{2+}-NaOH-H_2O system show that with a ratio of $[OH-/Co^{2+}] = 1.8$ a small plateau is observed that corresponds to the formation of the basic salt, with a stoichiometric ratio of $[OH^-/Co^{2+}] = 2$ complete deposition in the form of cobalt hydroxide $Co(OH)_2$ occurs. The apparent volume dependence curve in the $CoSO_4$-NaOH-H_2O system consists of two parts corresponding to a potentiometric titration curve. Conductivity curves have a clear kink at the point corresponding to the formation of the base salt and hydroxide. CVA for cobalt-containing solutions have characteristic peaks on the cathode wave, corresponding to the reduction of cobalt (III) to cobalt (II) and cobalt (II) to cobalt (0), the anode wave has an additional peak in the range of potentials +0.19 - +0.20 V. The gradual release of cations from cycle 1 to cycle 5 indicates the formation of stable cobalt polyhydroxocomplexes, which are gradually destroyed. Thus, it was found that the reaction between $CoSO_4$ and NaOH proceeds in several stages with the formation of first the basic salt and then polyhydroxocomplexes. In solutions with a concentration of $C_{CoSO4} = 0.4$-0.5 mol/L, a basic salt of the composition $Co(OH)_{1.8}(SO_4)_{0.1}$ is formed. In more dilute solutions a basic salt of the composition $Co(OH)_{1.9}(SO_4)_{0.05}$ is formed.*
Keywords: *cobalt (II) hydroxide; potentiometric titration; spectrophotometry; polyhydroxomplexes; cyclic voltammetry; precipitation*

Вступ

Гідроксиди перехідних металів широко використовуються як пігменти, адсорбенти, каталізатори [1-5]. Особливе місце займають кобальт(II) та кобальт(III) гідроксиди. Дуже часто їх використовують як сировину для отримання сполук складної структури. Наприклад, у ряді робіт [6-9]

© Л. А. ФРОЛОВА, 2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

було показано, що оксиди, гідроксиди, оксігідроксиди кобальту є перспективною сировиною для отримання магнітоносіїв, хемосорбентів, каталізаторів, джерел струму, спеціальної кераміки, ІЧ-детекторів, магніторезисторів, лазерних матеріалів.

Розробка методів спрямованого цих матеріалів має велике значення при отриманні матеріалів з певним складом, морфологією, структурою. Одним з таких методів, що дозволяють регулювати склад гідроксидних і оксидних матеріалів, є метод осадження. Раніше в роботах [10-13] детально вивчені системи γ-$FeOOH$-H_2O-$NaOH$, $FeSO_4$-$NaOH$-H_2O, $FeSO_4$-H_2O-H^+/ OH^--O_2, $FeSO_4$-$CoSO_4$-$Al_2(SO_4)_3$-$NaOH$.

Дослідниками запропоновано декілька механізмів осадження гідроксидів. Основним на сьогодні є механізм гетерогенного осадження-розчинення, який реалізується в кілька етапів, основними з яких є гідратація іонів, утворення полігідроксокомплексів, зародкоутворення, ріст кристалічної фази, розчинення та ріст, старіння осаду. Є дані [8] про важливість участі аніонів утворенні осаду та формуванні ланцюгової структури шарових гідроксидів.

Як випливає з аналізу літератури, процес утворення кобальт(II) гідроксиду досліджений недостатньо. Зокрема, зовсім не вивчено вплив умов осадження на повноту проходження реакції, розмір і фазовий склад продуктів, що утворюються. Є розбіжності в складі сполук, що утворюються, а також точно не визначені області їх існування. Особливо погано вивчено осадження з висококонцентрованих розчинів з вихідної концентрацією, більше 0,1 моль/л.

Мета роботи

Мета даної роботи - встановити механізм осадження кобальт(II) гідроксиду на основі використання комплексу методів аналізу, а саме потенціометричного титрування, остаточних концентрацій, вимірювання електропровідності, уявного об'єму осаду, циклічної вольтамперометрії, чисельного диференціювання.

Методика проведення експерименту

Дослідження проводилися з використанням методики розрахунку термодинамічного стану системи виходячи з констант стійкості рівноваги різних ступенів реакції осадження, фізико-хімічних методів аналізу (методи залишкових концентрацій, вимірювання pH, вимірювання електропровідності, уявного об'єму осаду).

При роботі за методом залишкових концентрацій до постійного кількості кобальт сульфату додавалися змінні кількості води і титрували розчин натрію гідроксидом (рис.1).

Суміш безперервно перемішувалася в термостаті при 20^0C. Потім розчин фільтрувався через сухий фільтр. У аліквотній частини розчину визначалася концентрація катіонів кобальту фотоколориметричним способом за допомогою нітрозо-Р-солі, комплексонометричним (в залежності від вмісту кобальту), кількість OH^- груп по метиловому оранжевому.

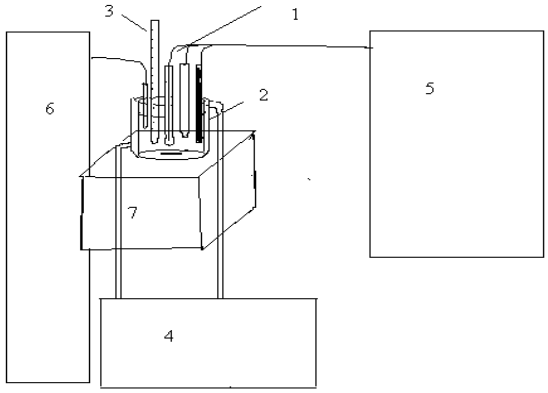


Рис. 1 – Схема лабораторної установки дослідження осадження кобальт гідроксиду
1-електроди; 2-реактор; 3-бюретка; 4-термостат; 5-pH-метр, 6-ємність з аргоном, 7 перемішуючий пристрій

Потенціометричне титрування проводилося при термостатуванні (1^0C) на pH-метрі-мілівольтметрі pH-150. В якості вимірювального електрода використовували скляний марки ЕСЛ-15-11, як електрод порівняння - хлорсрібний марки ЕВЛ-1Г4, похибка вимірювань величини pH становила 0,02 од.

Титрування проводили таким чином: з бюретки з ціною поділки 0,02 мл додавали розчин NaOH до вихідного розчину $CoSO_4$. Для отримання порівнянних результатів і спрощення інтерпретації кривих, що додається об'єм NaOH, перераховували в молярне співвідношення [OH^-/Co^{2+}].

Циклічні вольтамперограми (ЦВА) одержували за допомогою потенціостату Potentiostat/Galvanostat Reference 3000 (Gamry) у потенціодинамічному режимі при швидкості розгортання потенціалу 100 мВ/с. Робочим електродом слугувала платина площею 2,0 см^2. Допоміжний електрод був також платиновий. Електрод порівняння – насичений хлоридсрібний електрод марки ЕВЛ-1М1, з'єднаний з коміркою електролітичним містком.

Вимірювання електропровідності проводили за допомогою містка Кольрауша.

Результати та їх обговорення

Для визначення умов проведення процесу були проаналізовані термодинамічні і кінетичні умови перебігу осадження кобальт гідроксиду. Розглянемо вплив концентрації іонів водню на процес осадження гідроксиду з неорганічних солей кобальту.

Іони кобальту поступово утворюють зв'язки з гідроксоіонами:

$$Co^{2+} + OH^- \rightarrow Co(OH)^+ \quad (1)$$

Для кобальт(II) гідроксиду граничною гідроксоформою є $Co(OH)_2$. Рівновага першого ступеня описується константою стійкості [14]:

$$K_1 = \frac{[Co(OH)^+]}{[Co^{2+}][OH^-]} \quad (2)$$

де K_1 – константа стійкості першого ступеня; $[Co(OH)]^+$,$[Co^{2+}]$, $[OH^-]$ - концентрація іонів.

Звідси концентрацію гідроксоформи $[Co(OH)]^+$ можна визначити за рівнянням:

$$[Co(OH)]^+ = K_1[Co^{2+}]\,[OH^-] \quad (3)$$

Рівновага в системі встановлюється відповідно до добутку розчинності, що дорівнює:

$$ПР = [Co^{2+}]\,[OH^-]^2 \quad (4)$$

Тоді концентрацію гідроксоформи $[Co(OH)]^+$ можна визначити за рівнянням:

$$[Co(OH)]^+ = K_1 \frac{ПР}{[OH^-]} \quad (5)$$

Для другого ступеня осадження рівняння рівноваги записується в такий спосіб:

$$[Co(OH)]^+ + OH^- = Co(OH)_2 \quad (6)$$

$$K_2 = \frac{[Co(OH)_2]}{[Co(OH)^+][OH^-]} \quad (7)$$

А концентрацію гідроксиду $Co(OH)_2$ можна визначити за рівнянням:

$$Co(OH)_2 = K_1K_2ДР \quad (8)$$

Для третього ступеня гідролізу рівняння рівноваги записується аналогічно і концентрація іона $Co(OH)^-_3$ дорівнює:

$$Co(OH)^-_3 = K_1K_2K_3ДР[OH^-] \quad (9)$$

Загальну концентрацію залишкових іонів металів $[Co^{2+}]_{заг}$ в системі Co^{2+}-NaOH-H_2O за різними значеннями pH можна обчислити за формулою:

$$[Co^{2+}]_{заг} = [Co^{2+}]\left(1 + \sum_{i=1}^{n} K_i [OH]^{i-1}\right) \quad (10)$$

Таким чином, молярні концентрації окремих форм визначаються значеннями констант стійкості відповідних ступенів рівноваги і концентрацією вільних OH^- груп. Знаючи значення ступінчастих констант стійкості і задаючи концентрацію H^+ або OH^-, можна визначити молярні концентрації окремих форм гідроксокомплексів при різних значеннях pH розчину. На рис.2 представлений графік розрахунку розподілу гідроксосполук кобальту в залежності від pH середовища.

Отримані залежності показують, що початок осадження кобальт гідроксиду відповідає pH = 8,75, а повне осадження відбувається за pH = 9,8.

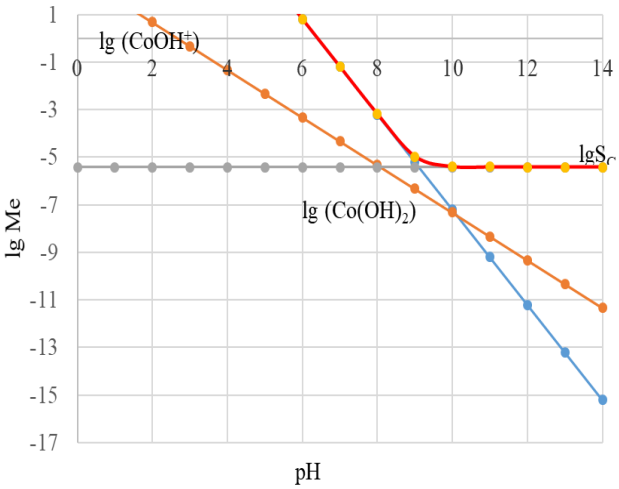


Рис. 2 – Залежність логарифму мольних часток кобальт(II) гідроксокомплексів від pH розчину у системі Co^{2+}-NaOH-H_2O

Результати експериментальних досліджень реакції утворення кобальт(II) гідроксиду у водних розчинах за концентрацією сульфату кобальту C_{CoSO4} = 0,5 моль/л, C_{CoSO4} = 0,4 моль/л, C_{CoSO4} = 0,05 моль/л у вихідній суміші, представлені на рис. 3-5.

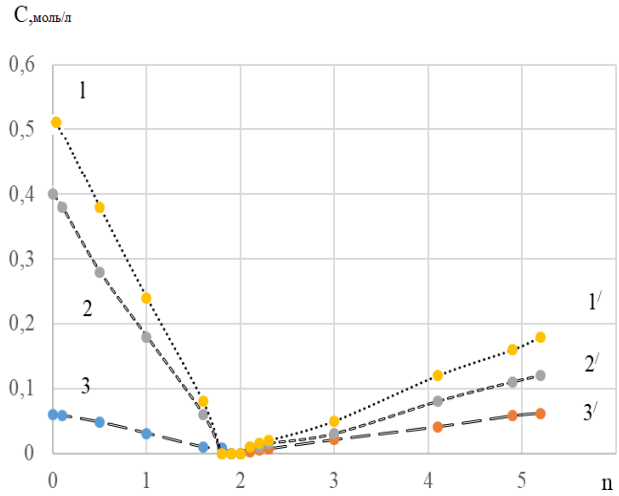


Рис. 3 – Залежність концентрацій іонів OH^-, Co^{2+} у системі Co^{2+}-NaOH-H_2O від молярного співвідношення n = [OH^- / Co^{2+}]: 1,2,3 - концентрація Co^{2+}, 1/, 2/, 3/ - концентрація OH^- (1-C_{CoSO4} = 0,5 моль / л, 2-C_{CoSO4} = 0,4 моль / л, 3-C_{CoSO4} = 0,05 моль / л)

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

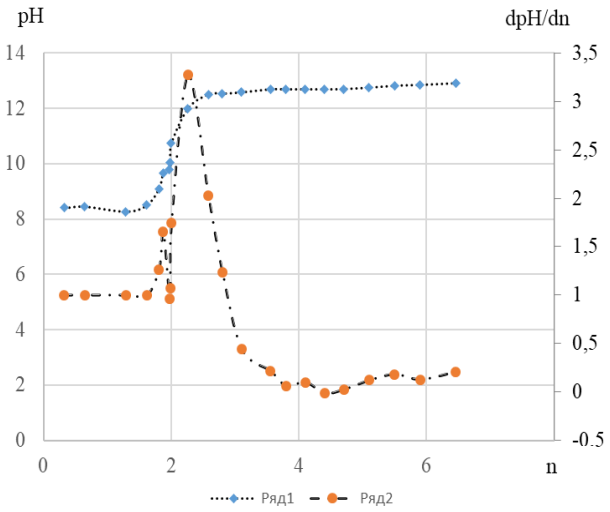


Рис. 4 – Залежність pH (1) і dpH/dn (2) в системі Co^{2+}-NaOH-H_2O від молярного співвідношення n = $[OH^-/Co^{2+}]$: C_{CoSO4} = 0,5 моль/л

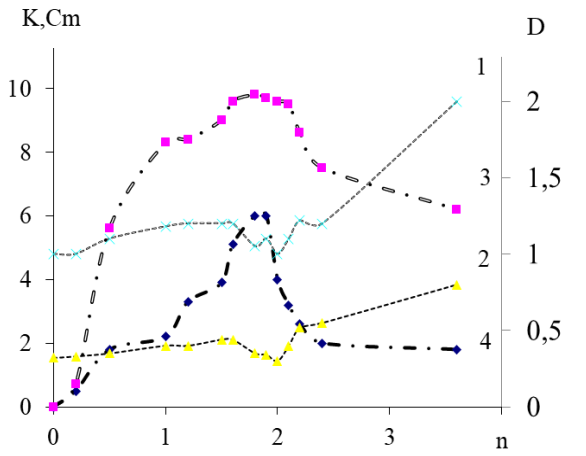


Рис. 5 – Залежність електропровідності (1,2) і уявного об'єму осаду (3,4) в системі Co^{2+}-NaOH-H_2O від молярного співвідношення n=$[OH^-/Co^{2+}]$: 1-C_{CoSO4} = 0,5 моль/л, 2-C_{CoSO4} = 0,05 моль/л, 3-C_{CoSO4} = 0,5 моль/л, 4-C_{CoSO4} = 0,05 моль/л

Криві потенціометричного титрування для системи Co^{2+}-NaOH-H_2O (рис.4) показують, що при співвідношенні $[OH^-/Co^{2+}]$=1,8 спостерігається невелике плато, яке відповідає утворенню основної солі, при стехіометричному співвідношенні $[OH^-/Co^{2+}]$=2 - відбувається повне осадження у вигляді гідроксиду кобальту $Co(OH)_2$ (стрибок потенціалу на рис. 4).

Вищесказане підтверджується також ходом зміни концентрації іонів Co^{2+} у розчині в процесі осадження. Якщо до співвідношення $[OH^-/Co^{2+}]$=1,8, концентрація іонів Co^{2+} поступово зменшується, то після цього іони кобальту стрибкоподібно зникають.

Аналогічні дослідження для вихідних концентрацій сульфату кобальту 0,05 і 0,4 моль / л (рис. 3) показали, що чим менше концентрований розчин, тим ймовірність утворення основної солі менше. Причому вона утворюється за концентрації 0,5 моль/л і 0,4 моль/л при співвідношенні $[OH^-/Co^{2+}]$=1,8, а для 0,05 моль/л при $[OH^-/Co^{2+}]$=1,9.

Склад основної солі, таким чином, в першому випадку $Co(OH)_{1,8}(SO_4)_{0,1}$ і $Co(OH)_{1,9}(SO_4)_{0,05}$ у другому. Необхідно відзначити також, що крива потенціометричного титрування відображає утворення, як гідроксиду, так і основної солі, особливо в концентрованих розчинах (рис. 5). Криві залежності електропровідності мають чіткий перегин в точці, що відповідає утворенню основної солі та гідроксиду. Точка максимуму різкіше виражена в більш концентрованих вихідних розчинах сульфату кобальту (рис.5), утворення гідроксиду також супроводжується збільшенням електропровідності за рахунок накопичення вільних іонів OH^-.

Як видно з рис.5, крива залежності уявного об'єму в системі $CoSO_4$-NaOH-H_2O складається з двох частин, відповідних кривій потенціометричного титрування та відображає утворенню гідроксиду.

На рис. 6-7 представлені циклічні вольтамперограми (ЦВА) розчину кобальт сульфату при мольному відношенні $[OH^-]/[M^{2+}]$=0 та 1.

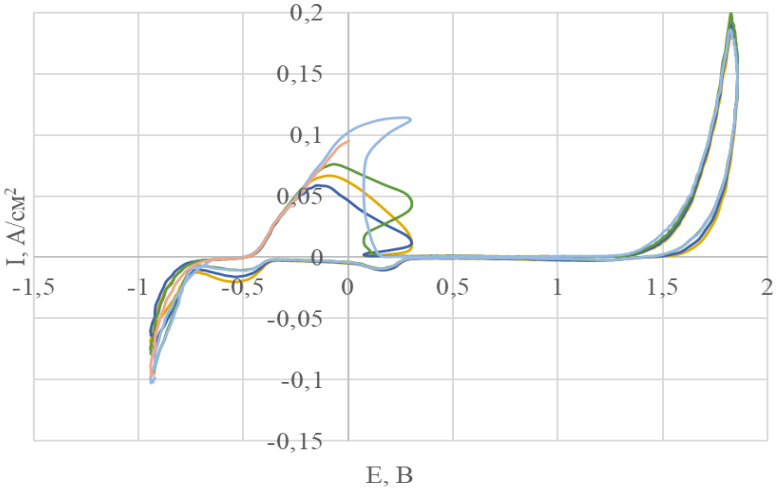


Рис. 6 – ЦВА розчинів систем Co^{2+}-NaOH-H_2O за мольного співвідношення $[OH^-/M^{2+}]$ = 0 (п'ять циклів)

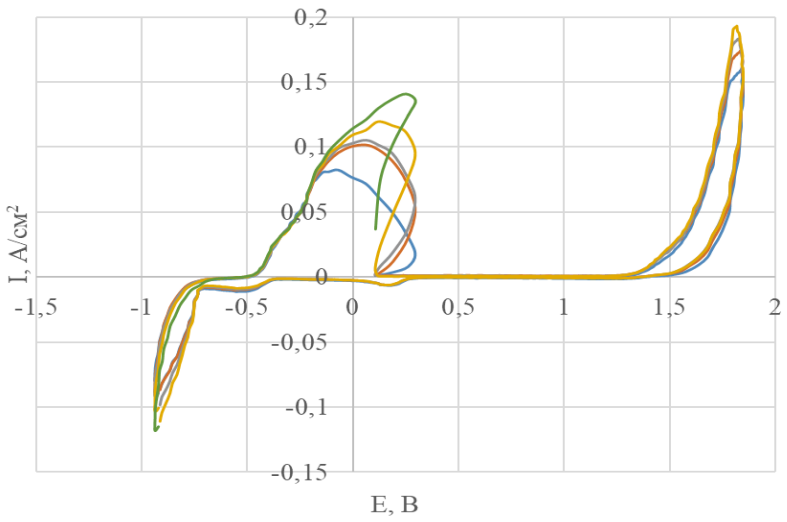


Рис. 7 – ЦВА розчинів систем Co^{2+}-NaOH-H_2O за мольного співвідношення $[OH^-/M^{2+}] = 1$ (п'ять циклів)

За $[OH^-]/[M^{2+}] = 0$ в розчині присутні тільки акваіони металів, тобто перебігає гідроліз іонів Co^{2+}. ЦВА для кобальтвміщуючих розчинів мають характерні піки на катодній хвилі, що відповідають відновленню кобальт(III)→кобальт(II) та кобальт(II)→кобальт(0), анодна хвиля має додатковий пік в інтервалі -потенціалів +0,19-0,20 В пов'язаний з реакцією Co^0-2e→Co^{2+} та окисленню Co^{2+}+e→Co^{3+}. Поступове вивільнення катіонів від циклу 1 до циклу 5 свідчить про утворення стійких полігідроксокомплексів, які поступово руйнуються. Вид ЦВА за $[OH^-]/[M^{2+}]=1$ та $[OH^-]/[M^{2+}] = 0$ практично співпадають. Площа анодних піків при E=+0,2-0,3В характеризує процес окиснення Co^0-2e→Co^{2+} та окисленню Co^{2+}+e→Co^{3+}. Поступове збільшення піків характеризує більш термодинамічно можливий процес окиснення за n=1.

Висновок

Досліджено систему Co^{2+}-SO_4^{2-}-H_2O методами залишкових концентрацій, потенціометрії, вимірювання уявного об'єму осаду, ЦВА.

З'ясовано, що реакція взаємодії між $CoSO_4$ і NaOH перебігає в декілька стадій. На початковій стадії утворюються акваіони. Формування осаду $Co(OH)_2$ відбувається через стадію утворення основної солі. У розчинах з концентрацією C_{CoSO4} = 0,5 моль/л і 0,4 моль/л - утворюється основна сіль складу $Co(OH)_{1,8}(SO4)_{0,1}$ в більш розведених розчинах утворюється основна сіль складу $Co_2(OH)_{3,8}(SO_4)_{0,1}$. За результатами ЦВА гідроксиди формуються у вигляді стійких ланцюгових полігідроксокомплексів, що пов'язані аніонами.

Список літератури

1. Wang X. et al. A simple and industrially scalable approach to prepare $Co(OH)_2$ hexagonal nanoflake. *Materials Letters*. 2016. № 164. P. 432-435. doi: 10.1016/j.matlet.2015.10.150.
2. Yang J. et al. Synthesis of mesoporous $Co(OH)_2$ nanocubes derived from Prussian blue analogue and their electrocapacitive properties. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2017. № 788. P. 54-60. doi: 10.1016/j.jelechem.2017.01.045.
3. Dang H. et al. Facile synthesis of $Co(OH)_2$ modified TiO_2 nanocomposites with enhanced photocatalytic H2 evolution activity. *Materials Letters.* 2015. № 138. P. 56-59. doi: 10.1016/j.matlet.2014.09.118.
4. Liu X. et al. Sonochemical synthesis of β-$Co(OH)_2$ hexagonal nanoplates and their electrochemical capacitive behaviors. *Journal of Alloys and Compounds*. 2013. № 560. P. 15-19. doi: 10.1016/j.jallcom.2013.01.050.
5. Yao Y. et al. Electrochemical properties of $Co(OH)_2$ powders as an anode in an alkaline battery. *Journal of materials science*. 2010. №. 45(14). P. 3752-3756. doi: 10.1007/s10853-010-4424-5.
6. Gong L. et al. Synthesis and electrochemical capacitive behaviors of Co_3O_4 nanostructures from a novel biotemplating technique. *Journal of Solid State Electrochemistry.* 2012. № 16(1). P. 297-304. doi: 10.1007/s10008-011-1327-6.
7. Aghazadeh M., Barmi A. A. M., Yousefi T. Synthesis, characterization, and supercapacitive properties of β-Co $(OH)_2$ leaf-like nanostructures. *Journal of the Iranian Chemical Society.* 2012. № 9(2). P. 225-229. doi: 10.1007/s13738-011-0037-4.
8. Evans D. G., Duan X. Preparation of layered double hydroxides and their applications as additives in polymers, as precursors to magnetic materials and in biology and medicine. *Chemical Communications*. 2006. №. 5. P. 485-496. doi: 10.1039/B510313B.
9. Bassez M. P. Water near its supercritical point and at alkaline pH for the production of ferric oxides and silicates in anoxic conditions. A new hypothesis for the synthesis of minerals observed in Banded Iron Formations and for the related geobiotropic chemistry inside fluid inclusions. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*.

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

2018. № 48(3). P. 289-320. doi: 10.1007/s11084-018-9560-y.
10. Ali K., Javed Y., Jamil Y. Size and shapeontrol synthesis of iron oxide–based nanoparticles: current status and future possibility. *Complex Magnetic Nanostructures.* Springer, Cham, 2017. P. 39-81. doi: 10.1007/978-3-319-52087-2_2.
11. Kleshcheva R. R. et al. Effect of Synthesis Parameters on the Phase Formation in the System $FeSO_4$-H_2O-OH^+/OH^--O_2 (3.5≤ pH≤ 13). *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2003. №76(9). P. 1379-1383. doi: 10.1023/B:RJAC.0000012651.10582.83.
12. Frolova L. A. et al. An Investigation of the Mechanism Magnetite Precipitation Using Ammonium Carbonate. *Eurasian Chemico-Technological Journal.* 2018. №20(3). P. 223-228. doi: 10.18321/ectj725.
13. Frolova L., Pivovarov A., & Butyrina T. Synthesis of pigments in Fe_2O_3-Al_2O_3-CoO by co-precipitation method. *Pigment and Resin Technology*. 2017. № 46(5). 356–361. doi: 10.1108/PRT-07-2016-0073.
14. Гороновский И. Т., Назаренко Ю. П., Некряч Е. Ф. *Краткий справочник по химии*. Наукова думка. – 1987.

References (transliterated)

1. Wang X. et al. A simple and industrially scalable approach to prepare $Co(OH)_2$ hexagonal nanoflake. *Materials Letters*, 2016, Vol. 164, pp. 432-435, doi: 10.1016/j.matlet.2015.10.150.
2. Yang J. et al. Synthesis of mesoporous $Co(OH)_2$ nanocubes derived from Prussian blue analogue and their electrocapacitive properties. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2017, Vol. 788, pp. 54-60, doi: 10.1016/j.jelechem.2017.01.045.
3. Dang H. et al. Facile synthesis of $Co(OH)_2$ modified TiO_2 nanocomposites with enhanced photocatalytic H_2 evolution activity. *Materials Letters*, 2015, Vol. 138, pp. 56-59, doi: 10.1016/j.matlet.2014.09.118.
4. Liu X. et al. Sonochemical synthesis of β-$Co(OH)_2$ hexagonal nanoplates and their electrochemical capacitive behaviors. *Journal of Alloys and Compounds*, 2013, Vol. 560, pp.15-19, doi: 10.1016/j.jallcom.2013.01.050.
5. Yao Y. et al. Electrochemical properties of $Co(OH)_2$ powders as an anode in an alkaline battery. *Journal of materials science,* 2010, Vol. 45. no. 14, pp. 3752-3756, doi: 10.1007/s10853-010-4424-5.
6. Gong L. et al. Synthesis and electrochemical capacitive behaviors of Co_3O_4 nanostructures from a novel biotemplating technique. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 2012, Vol. 16, no. 1, pp. 297-304, doi: 10.1007/s10008-011-1327-6.
7. Aghazadeh M., Barmi A. A. M., Yousefi T. Synthesis, characterization, and supercapacitive properties of β-$Co(OH)_2$ leaf-like nanostructures. *Journal of the Iranian Chemical Society,* 2012, Vol. 9. no. 2, pp. 225-229, doi: 10.1007/s13738-011-0037-4.
8. Evans D. G., Duan X. Preparation of layered double hydroxides and their applications as additives in polymers, as precursors to magnetic materials and in biology and medicine. *Chemical Communications*, 2006, no. 5. pp. 485-496, doi: 10.1039/B510313B.
9. Bassez M. P. Water near its supercritical point and at alkaline pH for the production of ferric oxides and silicates in anoxic conditions. A new hypothesis for the synthesis of minerals observed in Banded Iron Formations and for the related geobiotropic chemistry inside fluid inclusions. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 2018, vol. 48, no. 3, pp. 289-320, doi: 10.1007/s11084-018-9560-y.
10. Ali K., Javed Y., Jamil Y. Size and shape control synthesis of iron oxide–based nanoparticles: current status and future possibility. *Complex Magnetic Nanostructures*. Springer, Cham, 2017. pp. 39-81, doi: 10.1007/978-3-319-52087-2_2.
11. Klesheva R. R. i dr. Vliyanie parametrov sinteza na fazoobrazovanie v sisteme $FeSO_4$-H_2O-H+/OH--O_2 (3.5≤ pH≤ 13). *Zhurnal prikladnoj himii,* 2003, Vol. 76. no. 9, pp. 1419-1423, doi: 10.1023/B:RJAC.0000012651.10582.83.
12. Frolova L. A. et al. An Investigation of the Mechanism Magnetite Precipitation Using Ammonium Carbonate. *Eurasian Chemico-Technological Journal,* 2018, Vol. 20. no. 3, pp. 223-228, doi: 10.18321/ectj725.
13. Frolova L., Pivovarov A., Butyrina T. Synthesis of pigments in Fe_2O_3-Al_2O_3-CoO by co-precipitation method. *Pigment and Resin Technology*, 2017, Vol. 46, no. 5, pp. 356–361, doi: 10.1108/PRT-07-2016-0073.
14. Goronovskij I. T., Nazarenko Yu. P., Nekryach E. F. *Kratkij spravochnik po himii*. Naukova dumka, 1987.

Відомості про авторів (About authors)

Фролова Лілія Анатоліївна - кандидат технічних наук, доцент, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», кафедра технології неорганічних речовин та екології, м. Дніпро, Україна; e-mail: 19kozak83@gmail.com.

Liliya Frolova – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of inorganic substances technology and ecology, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine; e-mail: 19kozak83@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Фролова Л. А. Дослідження процесу осадження кобальт(II) гідроксиду. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 1 (3). С. 115-121. doi: 10.20998/2413-4295.2020.03.16.

Please cite this article as:

Frolova L. Investigation of the cobalt (II) hydroxide precipitation process. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 1(3), pp. 115-121, doi: 10.20998/2413-4295.2020.03.16.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Фролова Л. А. Исследование процесса осаждения кобальт(II) гидроксида. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 1 (3). С. 115-121. doi: 10.20998/2413-4295.2020.03.16.

АННОТАЦИЯ *Гидроксиды переходных металлов широко используются в качестве пигментов, адсорбентов, катализаторов. Особое место занимают кобальт(II) и кобальт (III) гидроксиды. Очень часто их используют как сырье для получения соединений сложной структуры. Оксиды, гидроксиды, оксигидроксиды кобальта является перспективным сырьем для получения магнитоносителей, хемосорбентов, катализаторов, источников тока, специальной керамики, ИК-детекторов, магниторезисторов, лазерных материалов. Важной задачей является установление механизма осаждения кобальт (II) гидроксида на основе использования комплекса методов анализа: потенциометрического титрования, остаточных концентраций, измерения электропроводности, кажущегося объема осадка, циклической вольтамперометрии, численного дифференцирования. Кривые потенциометрического титрования для системы* Co^{2+}*-NaOH-*H_2O *показывают, что при соотношении* $[OH^-/Co^{2+}]=1,8$ *наблюдается небольшое плато, которое соответствует образованию основной соли, при стехиометрическом соотношении* $[OH^-/Co^{2+}]=2$ *происходит полное осаждение в виде гидроксида кобальта* $Co(OH)_2$*. Кривая зависимости кажущегося объема в системе* $CoSO_4$*-NaOH-*H_2O *состоит из двух частей, соответствующих кривой потенциометрического титрования. Кривые зависимости электропроводности имеют четкий перегиб в точке, соответствующей образованию основной соли и гидроксида. ЦВА для кобальтсодержащих растворов имеют характерные пики на катодной волне, соответствующие восстановлению кобальт (III) в кобальт (II) и кобальт(II) в кобальт (0), анодная волна имеет дополнительный пик в интервале потенциалов +0,19 - +0,20 В. Постепенное высвобождение катионов от цикла 1 до цикла 5 свидетельствует об образовании устойчивых полигидроксокомплексов кобальта, которые постепенно разрушаются. Таким образом, установлено, что реакция взаимодействия между* $CoSO_4$ *и NaOH протекает в несколько стадий с образованием сначала основной соли и затем полигидроксокомплексов. В растворах с концентрацией* C_{CoSO4} *= 0,4-0,5 моль/л образуется основная соль состава* $Co(OH)_{1,8}(SO_4)_{0,1}$*, в более разбавленных растворах образуется основная соль состава* $Co(OH)_{1,9}(SO_4)_{0,05}$*.*

Ключевые слова: *кобальт(II) гидроксид; потенциометрическое титрование; спектрофотометрия; полигидроксокомплексы; циклическая вольтамперометрия; осаждение*

Надійшла (received) 18.02.2020

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА, МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Гогаєв К. О., Подрєзов Ю. М., Волощенко С. М., Аскеров М. Г., Мінаков М. В., Луговський Ю. Ф. Аналіз деформаційного зміцнення ADI при температурах ізотермічного загартування 3

Дегтярьов І. М., Нешта А. О., Самардан М. П. Сучасний шлях підготовки інженерно-технічних працівників, як основа для підвищення конкурентоспроможності машинобудівних підприємств України 9

Довгополов А. Ю., Некрасов С. С., Жигилій Д. О. Дослідження впливу пружніх характеристик армованого композиційного матеріалу на міцність гвинтового з'єднання з круглою різьбою 19

Олексишен В. О. Аналіз конструктивних особливостей та ефективності застосування сучасних FDM принтерів для просторового друку полімерними термопластичними матеріалами 25

Скоромна С. Ф. Надкритична металургія 35

Яглицький Ю. К., Кириченко К. В. Розробка математичної моделі виробничого процесу виготовлення плоскої секції понтона композитного доку 43

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Литвиненко Л. О., Скляренко О. В., Колодінська Я. О. Логіка побудови інтерфейсів у програмному забезпеченні 54

Мигаль Г. В., Протасенко О. Ф. Роль людського чинника в управлінні виробничою безпекою 60

Сокол Є. І., Лапта С. С., Лапта С. І., Соловйова О. І. Дослідження складності і організації фізіологічної системи регулювання вуглеводного обміну 66

Становська І. І., Становський О. Л., Науменко Є. О. Декомпозиція простору параметрів управління складними системами 73

ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕКОЛОГІЯ

Михайлова Є. О., Панасенко В. О., Маркова Н. Б. Проблема викидів карбон (IV) оксиду та можливі шляхи її вирішення 80

Ненастіна Т. О., Ведь М. В., Сахненко М. Д., Проскуріна В. О. Електрохімічне формування композиційних покриттів сплавами кобальту в імпульсному режимі 89

Пасічний В. М., Українець А. І., Чебаненко Х. В., Камлай І. С. Вплив комплексу β-циклодекстрину з йодом на функціонально-технологічні характеристики м'ясних фаршів 95

Путятін Б. В., Куниця К. В., Левчук І. В., Гладух Є. В. Огляд ринку косметичної продукції anti-age та роль гіалуронової кислоти в процесах редермалізації шкіри 101

Римар Т. Е., Суворіна О. В. Вплив термореактивних добавок на властивості гранульованих теплоізоляційних матеріалів на основі рідкого скла 106

Фролова Л. А. Дослідження процесу осадження кобальт(II) гідроксиду 115

CONTENTS

ENERGY, ENGINEERING AND STRUCTURAL MATERIALS TECHNOLOGY

Gogaev K., Podrezov Y., Voloshchenko S., Askerov M., Minakov N., Lugovskoy Y. Analysis of strain hardening of ADI at isothermal hardening temperatures 3

Dehtiarov I., Neshta A., Samardak N. The modern way of engineering workers training as the basis for the competitiveness increasing of Ukraine's machine-building enterprises 9

Dovgopolov A., Nekrasov S., Zhyhylii D. Research on effect of fiber reinforced composite material's elastic characteristics on strength of rope threaded joint 19

Oleksyshen V. Analysis of structural features and efficiency of application of modern FDM printers for 3D printing using polymer thermoplastic materials 25

Skoromnaya S. Supercritical metallurgy 35

Yahlytskyi Y., Kyrychenko K. Development of a mathematical model for the workflow of manufacturing of a flat section of a composite dock pontoon 43

INFORMATION TECHNOLOGY AND CONTROL SYSTEMS

Lytvynenko L., Skliarenko O., Kolodinska Y. Logic of building interfaces in the software 54

Mygal G., Protasenko O. The role of human factor in manufacturing safety management 60

Sokol E., Lapta S., Lapta S., Solovyova O. Research of complexity and organization of the physiological system of carbohydrate exchange regulation 66

Stanovska I., Stanovskyi O., Naumenko I. Space decomposition of complex systems control parameters 73

CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGY, ECOLOGY

Mykhailova E., Panasenko V., Markova N. Carbon (IV) oxide emissions problem and the possible ways to its solving 80

Nenastina T., Ved' M., Sakhnenko M. Proskurina V. Electrochemical formation of composite coatings by cobalt alloys in a pulsed mode 89

Pasichnyi V., Ukrainets A., Chebanenko Kh., Kamlay I. Effect of the complex β-cyclodextrin with iodine on functional and technological characteristics of minced meat 95

Putyatin B., Kunitsia K., Levchuk I., Gladukh E. Market review of anti-age cosmetic products and the role of hyaluronic acid in skin redermalization processes 101

Rymar T., Suvorin O. Effeck of thermosetting additives on the properties of liquid gless-based granulated thermal insulation materials 106

Frolova L. Investigation of the cobalt (II) hydroxide precipitation process 115

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ". СЕРІЯ: НОВІ РІШЕННЯ В СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Збірник наукових праць

№ 1(3)' 2020

Відповідальний редактор: Є. І. Сокол, чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна
Технічний редактор: С. І. Меньшикова, канд. фіз.-мат. наук, НТУ «ХПІ», Україна
Відповідальний секретар: Р. С. Томашевський, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна
С. І. Меньшикова, канд. фіз.-мат. наук, НТУ «ХПІ», Україна

Відповідальний за випуск: д-р техн. наук, доц. Р. С. Томашевський

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ ТА ВИДАВЦЯ: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХПІ».
Рада молодих вчених, тел. (057)707-69-37, e-mail: vestnik.nsmt@gmail.com

Підп. до друку «23» березня 2020 р. Формат 60x84 1/8. Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 12,0. Облік.вид.арк. 8,75.
Тираж 50 прим. Зам. № 44. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ДК №5478 від 21.08.2017
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2