

ІТЕ ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Щоквартальний науково-практичний журнал

1'2018

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

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

ЗАТВЕРДЖЕНО
постановою президії ВАК України
як наукове фахове видання
(протокол № 1-05/3 від 14.04.2010 р.)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

Відповідальний секретар
К. О. Горбунов,
канд. техн. наук, доц.

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ:

В. П. Мешалкін, *д-р техн. наук, проф.*,
РХТУ Москва (Росія)
Д. Б. Ферст, *ВА, ген. директор*
F. Executive Co. (Великобританія)
Й. Клемеш, *PhD, DSc (Hon)*
ун-та «Паннонія» (м. Веспрем, Угорщина)
та ун-та Манчестера (Великобританія)
В. Плешу, *PhD, проф.*, *ун-т POLITEHNICA*
Бухарест (Румунія)
П. Стехлік, *PhD, проф.*, *VUT Брно (Чехія)*
О. Б. Аніпко, *д-р техн. наук, проф.*
Є. І. Сокіл, *член-кор. НАН України*
П. А. Качанов, *д-р техн. наук, проф.*
В. А. Малярєнко, *д-р техн. наук, проф.*
Д. Ф. Сімбірський, *д-р техн. наук, проф.*
В. П. Шапорєв, *д-р техн. наук, проф.*
Ю. Б. Данилов, *д-р техн. наук, проф.*
С. В. Яковлев, *д-р фіз.-мат. наук, проф.*
Ю. М. Мацевітій, *акад. НАН України*
В. Є. Ведь, *д-р техн. наук, проф.*
П. О. Капустенко, *акад. Академії будівництва України*
О. П. Арсєнєва, *д-р техн. наук, доц.*

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:

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

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Кошельнік О. В., Долобовська О. В., Павлова В. Г.
Розробка енергоперетворювальних комплексів
з нетрадиційним теплоносієм для утилізації теплоти
систем випарного охолодження скловарних печей.....3

Євстратов В. О., Кривільова С. П.
Динамічне пресування – енергозберігаючий метод
отримання нанокристалічного композиційного
матеріалу апатитного складу для корекції
структурних порушень скелету 9

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Бобух А. О., Переверзєва А. М., Лобойко В. О.
Розробка адаптивного алгоритму ідентифікації
технологій виробництва кальцинованої соди
аміачним способом 15

Букаченко О. І., Подустов М. О., Дзєвочко О. М.,
Букаченко Н. О.
Математична модель управління температурним
режимом дистильційної колони в содовому
виробництві при змінних навантаженнях 21

Малярєнко В. А., Ільченко М. Б.
Наближений метод розрахунку витрат природного
газу на виробничо-технологічні потреби
газотранспортної системи.....30

Тимків Д. Ф., Горін П. В., Романова В. В.
Моделювання процесу очистки шлейфів свердловин37

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Алексахін О. О., Єна С. В., Гордієнко О. П.
Особливості визначення середніх тепловтрат
трубопроводами розгалужених мереж
теплопостачання 45

Кобец Е. В., Загребельная Л. И.
Проверка устойчивости системы
«двигательная установка – стабилизатор
режима» 52

Дубоносов В. Л., Хрипунов Г. С., Кричковская Л. В.
Эффективность упрочнения и износостойкости
покрытий при применении нанокompозитных
материалов 56

Пугачева Т. Н., Быкова Т. И.
Мероприятия по реконструкции турбин
типа ПТ-60-90/13 и ПТ-60-130/13 ЛМЗ 62

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

*Бочкарев С. В., Кричковська Л. В., Трошин О. Г.,
Петік І. П., Белінська А. П.*
Розробка рецептури шоколадної пасти
для харчування спортсменів 70

Вартанян В. М., Штейнбрехер Д. О.
Сучасні підходи до збереження знань
на підприємствах ядерної галузі 77

Затверджено Вченою радою НТУ «ХПІ» (протокол № 2 від 05.03.2018 р.)

Інтегровані технології та енергозбереження / Щоквартальний науково-практичний журнал. –
Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – № 1. – 88 с.

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

УДК 666.1.031.2; 62.617

Кошельник О.В., Долобовська О.В., Павлова В.Г.

РОЗРОБКА ЕНЕРГОПЕРЕТВОРЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ З НЕТРАДИЦІЙНИМ ТЕПЛОНОСІЄМ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ СИСТЕМ ВИПАРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ СКЛОВАРНИХ ПЕЧЕЙ

Вступ. Процес виробництва скломаси складається з ряду послідовних операцій, які відбуваються як у робочій камері скловарної печі, так і поза нею. Більша частина скломаси (для виробництва віконного, тарного, технічного скла, скловолокна) на сьогоднішній день виплавляється в ванних печах безперервної дії. Ці печі бувають паливні, електричні та комбіновані (полум'яно-електричні) [1, 2]. За способом використання теплоти димових газів скловарні печі розподіляються на рекуперативні та регенеративні. В Україні найбільше поширення одержали регенеративні печі з поперечним та підковоподібним напрямком руху полум'я ванного типу.

Ключовим фактором для збільшення загальної тривалості кампанії скловарної печі є підвищення строку служби вогнетривів. Найважливішими властивостями вогнетривких матеріалів є температура застосування й фізико-хімічні характеристики, що впливають на їхню стійкість до впливу агресивного середовища. Для покращення умов експлуатації вогнетривів скловарні печі обладнуються системою охолодження. На підприємствах скляної промисловості застосовують різні способи охолодження – випарне, водяне, повітряне та комбіноване, найбільш ефективним з яких є випарне. У роботах [4,5] наведені дані про використання даного способу охолодження на ряді скловарних підприємств.

Сутність системи випарного охолодження (СВО) полягає у використанні прихованої теплоти пароутворення води для відведення теплоти від охолоджуваних елементів скловарної печі (рис. 1). Прихована теплота пароутворення при атмосферному тиску становить приблизно 2260 кДж/кг.

При переході на випарне охолодження витрата води скорочується в 40–60 разів залежно від конструктивних та експлуатаційних характеристик системи в порівнянні з звичайним водяним охолодженням [6]. Таке значне скорочення витрати дозволяє застосовувати при випарному охолодженні глибоке очищення води, тобто використовувати хімічно очищену деаеровану воду, при кипінні якої в охолоджуваних деталях накипу не утвориться.

При випарному охолодженні можливо застосування природної циркуляції, заснованої на різниці густин води в опускних трубах і пароводяної суміші в підйомних трубах, та примусової циркуляції, що здійснюється за допомогою циркуляційних насосів. Випарне охолодження забезпечує взаємозв'язок витрати охолоджуючої води з тепловими навантаженнями на охолоджувані елементи печі, тому що зі збільшенням теплового навантаження зростає циркуляційна витрата за рахунок росту корисного напору, при цьому зберігається надійність охолодження. Тобто, при випарному охолодженні забезпечується саморегулювання процесу.

Виділення невирішеної частини загальної проблеми Водяна пара СВО скловарних печей може бути використана для виробництва електричної енергії безпосередньо в електрогенераторах. Кількість теплоти, що містить пара системи випарного охолодження є досить значною. У випадку, коли відсутні споживачі тепла,

що забезпечують повне використання низькопотенційної пари протягом усього року, доцільно розглянути питання ефективності вироблення електричної енергії. Тут можливі наступні варіанти:

а) використання пари в парових турбінах конденсаційного типу та з протитиском;

б) виробництво електричної енергії в турбінах з нетрадиційним робочим тілом.

У першому варіанті пара СВО поступає в парову турбіну низького тиску, де розширюється до тиску в конденсаторі (5–10 кПа). Турбіна служить приводом електрогенератора, від якого через розподільчий пристрій струм подається в заводську мережу.

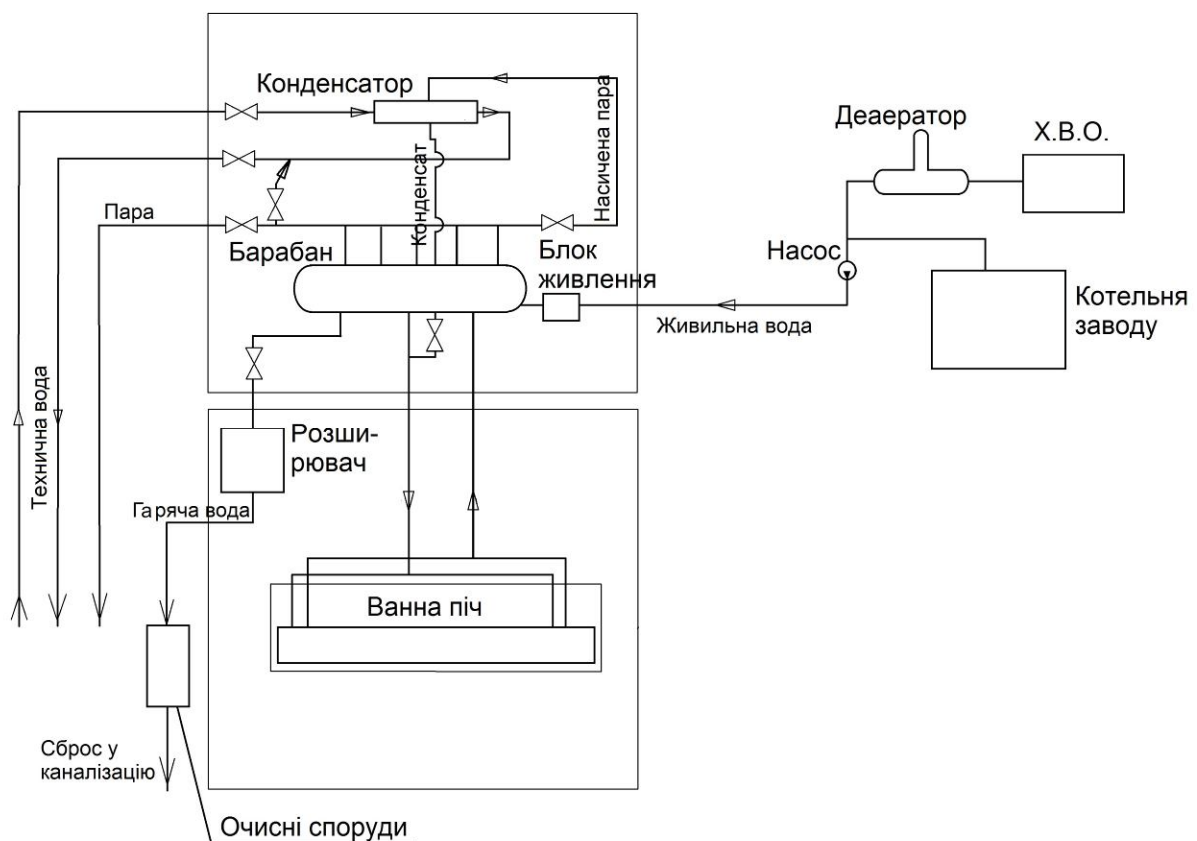


Рисунок 1 – Принципова схема установки випарного охолодження скловарної печі

Вихід пари СВО скловарних печей знаходиться в межах 1–10 т/год, а тиск складає до 0,8 МПа [7]. Безпосереднє використання такої пари є проблематичним, тому що досягнення високих параметрів економічності можливо лише при глибокому вакуумі в конденсаторі. Так, для турбіни з протитиском Р-0,5–1,4/0,2 витрата насиченої пари з тиском 1,4 МПа складає 12,8 т/год, а для конденсаційної турбіни К-0,5–1,4 для досягнення даної потужності 0,5 МВт необхідно лише 4,25 т перегрітої пари з температурою 250 °С (тиск 1,4 МПа). Враховуючи досить незначний тиск насиченої пари в системі, для збільшення потужності турбіни необхідно забезпечити підвищення тиску енергоносія, що призводить до додаткових витрат. Застосування для цього пароструйних або механічних компресорів показало їх невелику ефективність. Крім того, пара СВО має вологість до 12 %. Це потребує встановлення спеціальних

сепараційних пристроїв та осушувачів пари. Також можливе застосування центрального пароперегрівника типу ЦП, в якому можуть бути використані в якості джерела теплоти високотемпературні гази скловарної печі. Однак, цей варіант потребує додаткових досліджень, в особливості проведення гідравлічного розрахунку, так як можливі великі втрати тиску в паровому тракті із-за значного питомому об'єму пари. Таким чином, використання стандартних парових турбін у даному випадку пов'язано із рядом труднощів, що значно знижує економічну ефективність подібних схем у цілому.

Викладення основного матеріалу дослідження. Альтернативою може бути використання турбін з нетрадиційним робочим тілом – воднем – для виробництва електричної енергії в системах утилізації низькопотенційної пари СВО. Схему такої установки наведено на рис. 2.

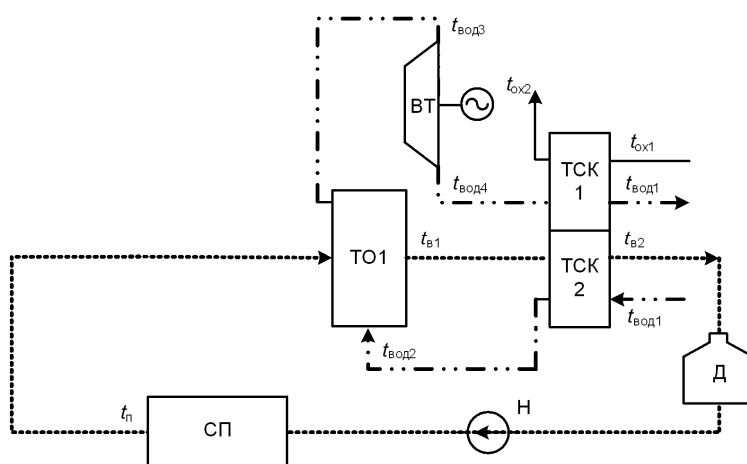


Рисунок 2 – Схема водневої енергоустановки для утилізації теплоти низькопотенційної пари СВО скловарних печей

Рівень температури водяної пари після СВО відповідає рівню температур, необхідному для забезпечення роботи термосорбційного компресора (ТСК) [8]. Тому відкривається можливість застосування термосорбційних компресорів як останнього ступеня систем утилізації теплоти, в яких у якості джерела теплової енергії може бути використана низькопотенційна теплота пари систем випарного охолодження.

Водяна пара із елементів СВО скловарної печі СП з температурою t_p направляється в теплообмінник ТО1, де конденсується за рахунок передачі теплоти пари водню, що циркулює в силовому контурі установки. Водень нагрівається в теплообміннику ТО1 від температури $t_{вод2}$ до $t_{вод3}$ та подається в турбіну ВТ. Конденсат водяної пари з температурою $t_{в1}$ потрапляє в термосорбційний компресор ТСК2, де охолоджується до температури $t_{в2}$. Далі він направляється в деаератор Д, звідки насосом Н подається знову в систему випарного охолодження.

Крім ТСК у таких схемах можуть бути застосовані водневі турбіни, у якій за рахунок спрацювання енергії стисненого водню виробляється механічна енергія для приводу у дію електрогенератора. Оскільки перепад тиску, що забезпечує ТСК, у декілька разів перевищує той, що необхідно для спрацювання низькопотенційної теплоти у турбіні, з'являється можливість організувати процес розширення з декількома проміжними перегрівами робочого тіла, що підвищить ККД турбоустановки.

Ефективність утилізаційної системи значно підвищується, якщо в якості гріючого теплоносія використовуються димові гази після скловарної печі та низькопотенційна пара СВО доменної печі (рис. 3). Сталість температури теплоносіїв після рекуперативних теплообмінників, встановлених за скловарною піччю СП(Р), дає можливість отримати постійну температуру газів, який може бути використаний як джерело теплоти для ТСК в процесі десорбції. Тут додатково встановлюється теплообмінник ТО2, в якому відбувається передача теплоти від димових газів водню з підвищенням його температури до $t_{\text{вод}4}$.

Розглянемо роботу схеми з наступними параметрами: витрата пари $D = 20$ т/год; тиск пари $P = 0,2$ МПа; температура пари $t_{\text{п}} = 130$ °С; тиск водню на вході в ТСК – $0,3$ МПа; ступінь підвищення тиску в ТСК $\pi = 3$. Таку кількість пари можливо отримати за умов об'єднання пари СВО декількох печей великої потужності в один паропровід. Порівняльна характеристика роботи схем для утилізації теплоти водяної пари СВО (варіант 1) та димових газів і водяної пари (варіант 2) наведені в табл. 1.

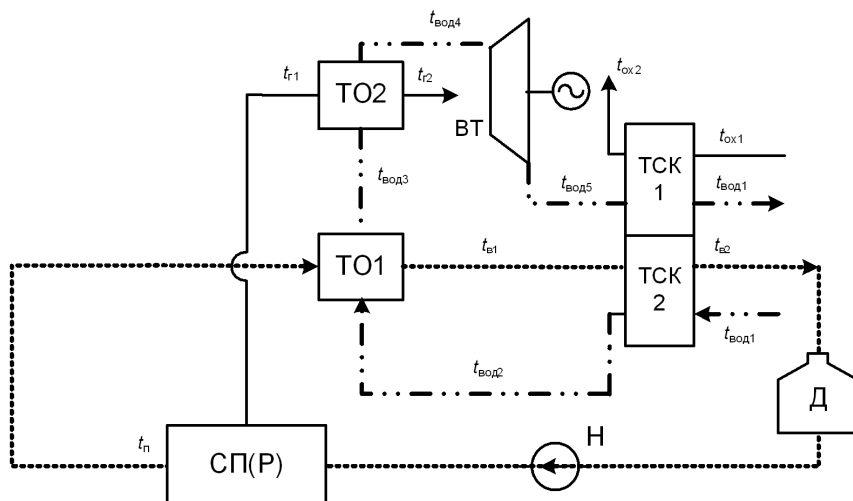


Рисунок 3 – Схема водневої силової установки для утилізації теплоти димових газів та низькопотенційної пари СВО скловарної печі

Таблиця 1 – Основні параметри роботи водневої установок для утилізації теплоти низькопотенційної пари та димових газів

Параметр	Варіант	
	1	2
Кількість теплоти, що передається водневому контуру Q_r , кВт	13292	28549
Температура водню перед турбіною T_1 , К	373	573
Витрата робочого тіла в водневому контурі G_{H_2} , кг/с	0,842	1,55
Потужність водневої турбіни N_t , кВт	1208	4624

Як видно із таблиці 1, використання теплоти водяної пари систем випарного охолодження та димових газів скловарної печі дозволяє підвищити потужність водневої турбіни в 3,83 рази в порівнянні з варіантом використання тільки

низькопотенційної пари. У той же час потужність водневої турбіни при використанні тільки димових газів складе 3405 кВт (див. табл. х.7), що свідчить про доцільність використання схеми комплексної утилізації ВЕР доменного виробництва.

Висновки. Розглянуто шляхи підвищення ефективності використання низькопотенційної пари систем випарного охолодження скловарних печей. Перевагою використання водяної пари в традиційних парових турбінах є менша вартість обладнання, що пов'язано з застосуванням у схемах стандартних теплообмінних апаратів та турбоустановок. У той же час перевагами схем з нетрадиційним робочим тілом – воднем – є відсутність необхідності в додатковому підвищенні тиску пари та повне використання енергетичного потенціалу водяної пари систем випарного охолодження. Отримані характеристики водневої енергосилової установки показали перевагу схеми з комплексним використанням теплоти водяної пари СВО та відхідних димових газів скловарної печі.

Литература

1. Троянкин Ю.В. Проектирование и эксплуатация высокотемпературных установок / Ю.В. Троянкин. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 324 с.
2. Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве: монография / Л.Л. Товажнянский, В.М. Кошельник, В.В. Соловей, А.В. Кошельник. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 628 с.
3. Кошельник О.В. Перспективні системи багатоступінчастої утилізації теплоти димових газів промислових скловарних печей безперервної дії / О.В. Кошельник, О.Є. Морозов, В.М. Кошельник // Промышленная теплотехника. – 2010. – Т. 32, № 6. – С. 91–97.
4. Бадан Г.О. О повышении срока службы стекловаренных печей / Г.О. Бадан // Стекло мира. – 2002. – № 4. – С. 73–77.
5. Зайцев Ю.С. Испарительное охлаждение стекловаренных печей / Ю.С. Зайцев, О.В. Филиппов, Н.Н. Зайцева. – Харьков: Основа, 1993. – 105 с.
6. Перспективные направления энерготехнологического комбинирования на основе стекловаренных печей / В.М. Кошельник, Е.Ю. Долженко, А.В. Кошельник, И.Г. Киуила // Интегровані технології та енергозбереження. – № 2. – 1999. – С. 31–39.
7. Матвеев В.А. Выработка пара с энергетическими параметрами при утилизации теплоты отходящих газов стекловаренных печей / В.А. Матвеев, И.С. Ильяшенко, К.Ю. Давыдова // Стекло и керамика. – 1988. – №4. – С. 7–9.
8. Соловей В.В. Моделирование тепломассообменных процессов в металлургических теплоиспользующих установках / В.В. Соловей, А.В. Кошельник, Н.А. Черная // Промышленная теплотехника. – 2012. – Т.34, № 2. – С. 48–53.

Bibliography (transliterated)

1. Trojankin Ju.V. Proektirovanie i jekspluatacija vysokotemperaturnyh ustanovok / Ju.V. Trojankin. – M.: Izd-vo MJeI, 2002. – 324 p.
2. Integrirovannye jenergosberegajushhie teplotehnologii v stekol'nom proizvodstve: monografija / L.L. Tovazhnjanskij, V.M. Koshel'nik, V.V. Solovej, A.V. Koshel'nik. – Har'kov: NTU «HPI», 2008. – 628 p.

3. Koshel'nik O.V. Perspektivni sistemi bagatostupinchastoї utilizacii teploti dimovih gaziv promislovih sklovarnih pechej bezperervnoї diї / O.V. Koshel'nik, O.Є. Morozov, V.M. Koshel'nik // Promyshlennaja teplotehnika. – 2010. – T. 32, № 6. – P. 91–97.
4. Badan G.O. O povyshenii sroka sluzhby steklovarenyh pechej / G.O. Badan // Steklo mira. – 2002. – № 4. – P. 73–77
5. Zajcev Ju.S. Isparitel'noe ohlazhdenie steklovarenyh pechej / Ju.S. Zajcev, O.V. Filip'ev, N.N. Zajceva. – Har'kov: Osnova, 1993. – 105 p.
6. Perspektivnye napravlenija jenergotehnologicheskogo kombinirovanija na osnove steklovarenyh pechej / V.M. Koshel'nik, E.Ju. Dolzhenko, A.V. Koshel'nik, I.G. Kiula // Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. – № 2. – 1999. – P.31–39
7. Matveev V.A. Vyrabotka para s jenergeticheskimi parametrami pri utilizacii teploty othodjashhih gazov steklovarenyh pechej / V.A. Matveev, I.S. Il'jashenko, K.Ju. Davydova // Steklo i keramika. – 1988. – №4. – P. 7–9.
8. Solovej V.V. Modelirovanie teplomassoobmennyh processov v metallogidridnyh teploispol'zujushhih ustanovkah / V.V. Solovej, A.V. Koshel'nik, N.A. Chernaja // Promyshlennaja teplotehnika. – 2012. – T.34, № 2. – P. 48–53.

УДК 666.1.031.2; 62.617

Кошельник О.В., Долобовская О.В., Павлова В.Г.

**РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОПРЕОБРАЗУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ
С НЕТРАДИЦИОННЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ
ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ СИСТЕМ ИСПАРИТЕЛЬНОГО
ОХЛАЖДЕНИЯ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ**

Проанализированы основные способы использования низкопотенциального пара систем испарительного охлаждения стекловаренных печей. Предложены утилизационные схемы с использованием нетрадиционного теплоносителя (водорода) для выработки электрической энергии. Проведено сравнительное расчетное исследование двух вариантов схем, показаны преимущества схемы с одновременным использованием теплоты пара системы испарительного охлаждения и отходящих дымовых газов стекловаренных печей.

Koshelnik O., Dolobovska O., Pavlova V.

**THE DEVELOPMENT OF THE ENERGY CONVERTING PLANTS WITH THE
UNCONVENTIONAL HEAT-TRANSFER MEDIUM FOR THE WASTE HEAT OF
THE GLASS FURNACES TRANSPIRATION COOLING SYSTEMS RECOVERY**

The basic methods of the low potential steam utilization of the glass furnaces transpiration cooling systems are analyzed. The waste heat recovery schemes using standard steam turbines and turbines with the unconventional heat-transfer medium (hydrogen) are suggested. The comparative calculation research of the two alternative schemes with hydrogen turbine plant is carried out. The advantages of the one with simultaneous recovery of the waste heat of the transpiration cooling system steam and the glass furnaces flue gases are shown.

ДИНАМІЧНЕ ПРЕСУВАННЯ – ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИЙ МЕТОД ОТРИМАННЯ НАНОКРИСТАЛІЧНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ АПАТИТНОГО СКЛАДУ ДЛЯ КОРЕКЦІЇ СТРУКТУРНИХ ПОРУШЕНЬ СКЕЛЕТУ

Вступ

Виготовлення сучасних нанокристалічних матеріалів, у тому числі біомедичного призначення, є досить енергоємним і потребує виключно електроенергії. Зменшення її споживання може бути досягнуте шляхом розробки енергозберігаючих методів отримання, удосконаленням використовуваних технологічних схем і обладнання.

Широкий попит на штучні матеріали для корекції структурних порушень скелету обумовлений новою для людства проблемою стрімкого старіння населення. Кількість пацієнтів похилого і старечного віку, якість життя яких поступово знижується через наявність вікових дефектів окремих ділянок скелету, неухильно зростає. Одночасно неухильно зростає і кількість постраждалих у автомобільних аваріях, катастрофах і воєнних конфліктах, які потребують заміни втрачених тканин або частин скелету.

У найближчому майбутньому проблема доступності широкому загалу якісних штучних замінників кісткових тканин стане питанням підвищення якості життя величезної кількості людей. Тому попит на цю продукцію, як очікується, зростатиме у всьому світі.

Сучасна біоінженерія пропонує значну кількість штучних матеріалів для корекції і восповнення дефектів кісткової тканини, в першу чергу біокерамічних апатитного складу [1,2]. Але вони все ще не здатні повною мірою відновлювати втрачені організмом людини функції без ускладнень і протипоказань і дорого коштують через енергозатратність технологій отримання. Тому дослідження в області інженерії кісткових тканин продовжуються на новому рівні [3].

Постановка проблеми

Істотно обмежують використання біокерамічних матеріалів на основі $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ їх невисокі міцнісні характеристики. Надійність матеріалів, імплантованих в напружені ділянки скелету, визначається їх тріщиностійкістю і міцносними характеристиками. Для поліпшення механічних і одночасно остеоінтегративних властивостей апатитової кераміки потрібен перехід до нанорозмірного матеріалу (він має кращу біосумісність у порівнянні з великокристалічним матеріалом), оскільки відповідно до залежності Холла-Петча міцність зростає зі зменшенням розміру зерна [4]. Одночасно для підвищення міцності $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ його армують (дискретними волокнами з нержавіючої сталі, сплаву хастеллой [5], дисперсними частками біологічно інертних неорганічних сполук: алюмомагnezіальної шпинелі, оксиду алюмінію [6], діоксиду цирконію [7] і т.і.). Найбільш ефективним є виготовлення армованих керамічних композитів методом гарячого пресування, яке виконується при тривалому циклі в умовах простору, обмеженого розмірами камери для заготовок. Гаряче пресування є енергозатратним методом, що потребує використання дорогого обладнання; синтез складових композитів, у тому числі високотемпературний, має здійснюватися попередньо. Перехід на нанорозмірний рівень дозволяє підвищити міцнісні характеристики матеріалів. Але процеси консолідації нанопорошків ускладнюються цілим рядом таких про-

блем, як схильність до агломерації, зростання зерен в процесі випалу і наявність домішок. Не вирішені і проблеми розтріскування заготовок при пресування нанопорошків. Найбільш вдалим рішенням здається використання методів порошкової металургії, а саме динамічного пресування для консолідації і компактування нанопорошків. Методи порошкової металургії є універсальними [8]. Вони дозволяють отримувати композиційні наноматеріали (у тому числі для біомедичного застосування, а саме кераміку на основі гідроксилапатиту) з підвищеною тріщиностійкості і міцністю. Перевагою їх є можливість цілеспрямованого формування структури, що забезпечує отримання необхідних фізико-механічних властивостей (по міцності), а також надійності і циклічної довговічності матеріалів, призначених для використання в найбільш відповідальних і важко навантажених частинах скелету. При пресуванні за допомогою вибуху можна отримати без застосування зв'язку щільність заготовок до 98 % від теоретичної щільності кераміки.

Використання енергії вибуху вважається сьогодні досить перспективним напрямком створення наноконпозиційних матеріалів [9]. Процеси, які відбуваються в порошок при його вибуховому компактуванні, істотно відрізняються від процесів при статичному пресуванні. При вибуховому компактірованні не відбувається одночасного ущільнення по всьому об'єму виробу: ударна хвиля, проходячи через порошок, залишає за собою скомпактований матеріал. Висока швидкість навантаження за дуже короткий час дії ударного імпульсу призводить до підвищення температури в компакт до значень, при яких відбувається часткове спікання матеріалу (по поверхнях контакту). Вважається, що процес консолідації порошоків під дією ударних хвиль проходить стадію дроблення часток, ущільнення і оплавлення контактних меж в результаті взаємного тертя [10].

Відомо, що структура і фазовий склад композиційних матеріалів, які були сформовані шляхом динамічного пресування, залежать від тиску і відповідних їм температур. При незначних тисках ці температури залишаються відносно низькими, тому в зразках спостерігається збільшення дефектності структури та збереження фаз, що утворилися при навантаженні. Обробка високими тисками призводить до підвищення температури, що обумовлює отжиг дефектів і зміну фазового складу матеріалу [11, 12].

Динамічним пресуванням отримують заготовки, які потім необхідно піддавати механічній обробці, перетворюючи на вироби. Властивості заготовок, в першу чергу щільність порошкової складової, в значній мірі залежить від схеми динамічного компактіровання. Різні схеми компактіровання представлені в [9].

Мета роботи

Метою роботи є оцінка можливості отримання енергозбережним методом динамічного пресування нанокристалічного композиційного матеріалу апатитного складу (на основі $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ і $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$), призначеного для корекції структурних порушень скелету.

Експериментальна частина

Синтез нанокристалічного композиційного матеріалу біомедичного призначення на основі $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ і $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$, здійснювали наступним чином. У якості вихідних матеріалів використовували $\text{Ca}(\text{OH})_2$ марки «ч.д.а» і пентоксид фосфору у вигляді ортофосфорної кислоти марки «ч.д.а.». Гідроксилапатит попередньо отримували з розчинів $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і H_3PO_4 в дистильованій воді шляхом їх перемішування впродовж 8 годин і витримки впродовж 170 годин при кімнатній температурі для старіння, забезпечуючи досягнення співвідношення $n(\text{Ca}^{2+})/n(\text{PO}_4^{3-}) = 1,67$, після чого фільтрували і ви-

сушували при 80 °С. Результати хімічного аналізу продуктів синтезу $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ показали, що співвідношення Ca/P в пробах близькі до стехіометричного (1,67). За даними РФА було визначено неможливість використання у якості прекурсора $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3$ марки «ч». Він містить побічні фази, що призводить до утворення фторапатиту зі зниженим вмістом фтору і появи небажаних домішок. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ високої чистоти синтезували з H_3PO_4 і $\text{Ca}(\text{OH})_2$ марок «чда» і «хч» шляхом триразового випалення таблетованих сумішей при температурі 1150–1250 °С з витримкою впродовж 2 годин і проміжним подрібненням при багатоступінчастому підйомі температури із швидкістю 120–150 °С в годину. Ісходні компоненти аналізували на вміст основної речовини, а потім складали реакційні суміші. Усереднювання шихти проводили або розтиранням в ступці, або гомогенізацією у барабані кулькового млина. Випалення проводили у корундових тиглях. $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ синтезували з CaF_2 і $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ випаленням у температурному діапазоні 1200–1250 °С з витримкою впродовж 3 годин з подальшим подрібненням. Контроль температур здійснювали за допомогою платинових термопар ПП-10rh, 90-Rt. Для визначення оптимальних умов синтезу і співвідношення компонентів проводили динамічне пресування усереднених шихт за різних умов і при різних співвідношеннях компонентів. Отримані після динамічного пресування зразки досліджували методами фазового хімічного аналізу і рентгенофазовим. Рентгенофазовий аналіз проводили на установці ДРОН-3 у випромінюванні Cu-K_α з нікелевим фільтром, анодний струм 16 мА на зразках препаратів у вигляді пігулок діаметром 10 мм і завтовшки 2 мм. Розшифровка здійснювалася по довідкових таблицях ASTM.

Мінералогічний склад визначали за допомогою петрографічних досліджень на поляризаційному мікроскопі МІН-8 і за допомогою електронно-мікроскопічних досліджень методами суспензій, реплік, електроннографії та мікродіфракції.

У подальшому шихту, що складалась з $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ і $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ у різному співвідношенні, піддавали динамічному пресуванню. Вибір схеми динамічного пресування здійснювали виходячи з необхідності забезпечення однорідності навантаження і отримання однорідного за щільністю компакта, а також запобігання утворенню тріщин і руйнувань у різних напрямках. З існуючих схем динамічного компактування [9–12] у даній роботі було вибрано динамічне взривне компактування ударною хвилею, що ковалася, яка утворюється в результаті вибуху циліндричного заряду вибухової речовини.



Рисунок 1 – Структура $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, 1 доба, х 54000

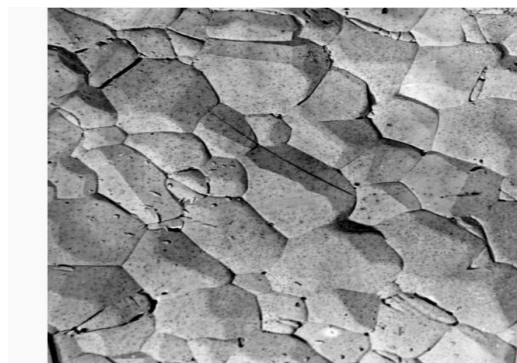


Рисунок 2 – Мікроструктура композиційного матеріалу $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2/\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$, останнього динамічний пресуванням, х 54000

Випробування для визначення міцностних характеристик (міцність, тріщиностійкість) проводили на випробувальній машині Instron 5581 при швидкості навантаження 0,5 мм/хв. Випробування на тріщиностійкість проводили на зразках з прямим бічним надрізом.

Аналіз параметрів мікроструктури композиційних матеріалів після динамічної обробки показує, що розроблений метод синтезу дозволяє сформувати високощільну рівномірнозернисту структуру зі зниженою схильністю до межкристалічної корозії в фізіологічному середовищі в цілому і в міжфазному шарі, формування якого здійснюється за рахунок дифузних процесів в більш-менш однорідні структури кальційфосфатів [13]. На рисунку 1 наведена електронномікроскопічна фотографія $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ у віці 24 години при його старінні у маточному розчині, а на рисунку 2 – електронномікроскопічна фотографія структури композиційного матеріалу, що складається з 92 мас. % $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ і 8 мас. % $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ після динамічного пресування (зарядом невеликої сили).

Були вивчені механічні властивості отриманих матеріалів. Так, щільність складала від 96,3 до 99,6 %, межа міцності при вигині, стискуванні і розтягуванні досягала 250, 150 і 300 МПа відповідно, модуль Юнга (при вигині) складав 45–82 ГПа, твердість (по Вікерсу) досягала 3–7 ГПа.

Розроблені матеріали пройшли повний комплекс медико-біологічних досліджень, в результаті проведення яких було встановлено, що композиційний матеріал складу $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2/\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ з оптимальним співвідношенням компонентів не викликає будь-яких негативних реакцій в прилеглих тканинах, специфічних віддалених наслідків впливу не має і може бути використаний для реконструкції дефектів скелету.

Отримані результати свідчать про те, що технологія динамічного пресування порошкових композиційних матеріалів вибуховою хвилею є перспективною для отримання нонакерамічних композитів зі спеціальними властивостями.

Висновок

В результаті проведених досліджень було показана перспективність отримання нанокристалічних композиційних матеріалів методом динамічного пресування.

Розроблений метод дозволяє сформувати високощільну і однорідну по щільності нанокристалічну структуру композиційного матеріалу апатитного складу без дорогого у використанні і досить складного обладнання для гарячого пресування, яке обмежує розмір заголовків, що можуть бути отримані. Це сприяє суттєвому спрощенню технологічного процесу і зниженню енерговитратності виробництва.

Впровадження розробленої технології буде сприяти зниженню не тільки енергетичних, а й питомих витрат, що буде особливо відчутним при переході на поточне виробництво біокерамічних матеріалів.

Література

1. Hench L.L. Bioceramics: From concept to clinic / L.L.Hench // J.Amer.Ceram.Soc. 1991. – Vol.74. – P. 1487–1510.
2. Gross K.A. Biomedical Application of Apatites / K.A. Gross, C.C. Borndt // Reviews in mineralogy and geochemistry. – 2002. – Vol. 48, No 1. – P. 631–672.
3. Hench L.L. Third-Generation Biomedical Materials / Larry L. Hench, Julia M. Polak // Science. – 2002. – Vol. 295, No 5557. – P. 1014–1017.
4. Барінов С.М. Біокераміка на основі фосфатів кальція / С.М. Барінов, В.С. Комлев. – М.: Наука, 2005. – 204 с.

5. De With G. Metal fibre reinforced hydroxyapatite ceramics / G. De Wiht, A.J. Corbijn // J. Mater. Soc. – 1989. – Vol. 2, No 9. – P. 3411–3415.
6. Laudadio P., Prestige L., Revaglioli A., Martinetti R. Bioceramics and human body: Proc. Int. Congr., Faenza, 2–5 Apr., 1991. – London; New York, 1992. – P. 486–490.
7. Silva V.V. Hydroxyapatite-zirconium composites prepared by precipitation method // Vivien V. Silva, Rosana S. Domingues // J. Mater. Sci. Mater. Med. – 1997. – Vol. 8. – P. 907–910.
8. Прюммер. Р. Обработка порошкообразных материалов взрывом / Р. Прюммер. – М.: Мир, 1990. – 128 с.
9. Рогозин В.Д. Взрывная обработка порошковых материалов В.Д. Рогозин. – Волгоград: ВолгГТУ, 2002. – 136 с.
10. Шестаков Н.А. Уплотнение, консолидация и разрушение пористых материалов / Н. А. Шестаков, В. Н. Субич, В. А. Демин – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 264 с.
11. Кузьмин Г.Е. Экспериментально-аналитические методы в задачах динамического нагружения материалов / Г.Е. Кузьмин, В.В. Пай, И.В. Яковлев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 312 с.
12. Оголихин В.М. Традиционные и комбинированные схемы взрывной обработки порошков материалов / И.В. Яковлев, В.М. Оголихин, С.Д. Шмелин // Актуальные проблемы в машиностроении, 2015. – Vol. 7, No 2. – С. 34–39.
13. Бондарь М.П. Изучение особенностей микроструктуры зоны контактного взаимодействия частиц порошков при динамическом прессовании / М.П. Бондарь, Е.С. Ободовский, С.Г. Псахье // Физическая мезомеханика, 2004. – Vol. 7, No 3. – С. 17–23.

Bibliography (transliterated)

1. Hench L.L. Bioceramics: From concept to clinic / L.L.Hench // J.Amer.Ceram.Soc. 1991. – Vol.74. – P. 1487–1510.
2. Gross K.A. Biomedical Application of Apatites / K.A. Gross, C.C. Borndt // Reviews in mineralogy and geochemistry. – 2002. – Vol. 48, No 1. – P. 631–672.
3. Hench L.L. Third-Generation Biomedical Materials / Larry L. Hench, Julia M. Polak // Science. – 2002. – Vol. 295, No 5557. – P. 1014–1017.
4. Barinov S.M. Biokeramika na osnove fosfatov kaltsiya / S.M. Barinov, V.S. Komlev. – М.: Nauka, 2005. – 204 p.
5. De With G. Metal fibre reinforced hydroxyapatite ceramics / G. De Wiht, A.J. Corbijn // J. Mater. Soc. – 1989. – Vol. 2, No 9. – P. 3411–3415.
6. Laudadio P., Prestige L., Revaglioli A., Martinetti R. Bioceramics and human body: Proc. Int. Congr., Faenza, 2–5 Apr., 1991. – London; New York, 1992. – P. 486–490.
7. Silva V.V. Hydroxyapatite-zirconium composites prepared by precipitation method // Vivien V. Silva, Rosana S. Domingues // J. Mater. Sci. Mater. Med. – 1997. – Vol. 8. – P. 907–910.
8. Pryummer. P. Obrabotka poroshkoobraznykh materialov vzryivom / R. Pryummer. – М.: Mir, 1990. – 128 p.
9. Rogozin V.D. Vzryivnaya obrabotka poroshkovykh materialov V.D. Rogozin. – Volgo-grad: VolgGTU, 2002. – 136 p.
10. Shestakov N.A. Uplotnenie, konsolidatsiya i razrushenie poristykh materialov / N. A. Shestakov, V. N. Subich, V. A. Demin – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 264 p.
11. Kuzmin G.E. Eksperimentalno-analiticheskie metody v zadachah dinamicheskogo nagruzheniya materialov / G.E. Kuzmin, V.V. Pay, I.V. Yakovlev. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2002. – 312 p.

12. Ogolihin V.M. Traditsionnyie i kombinirovannyie shemy vzryivnoy obrabotki poroshkov materialov / I.V. Yakovlev, V.M. Ogolihin, S.D. Shmelin // Aktualnyie problemy v mashinostroenii, 2015. – Vol. 7, No 2. – P. 34–39.

13. Bondar M.P. Izuchenie osobennostey mikrostrukturyi zonyi kontaktnogo vzaimodeystviya chastits poroshkov pri dinamicheskom pressovanii / M.P. Bondar, E.S. Obodovskiy, S.G. Pshe // Fizicheskaya mezomehanika, 2004. – Vol. 7, No 3. – P. 17–23.

УДК 666:621.762

Евстратов В.А., Кривилева С.П.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРЕССОВАНИЕ - ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ АПАТИТНОГО СОСТАВА ДЛЯ КОРРЕКЦИИ СТРУКТУРНЫХ НАРУШЕНИЙ СКЕЛЕТА

В статье рассмотрен энергосберегающий метод получения нанокристаллических композиционных материалов апатитного состава для коррекции структурных нарушений скелета – динамическое прессование, применяемое в порошковой металлургии для консолидации и компактирования нанопорошков. Выбор схемы прессования осуществляли исходя из условий обеспечения однородности нагрузки и получения однородного по плотности компакта и предотвращения образования трещин разрушений в радиальном и осевом направлениях. Изучено влияние условий синтеза на микроструктуру и свойства, определено оптимальное соотношение исходных компонентов в композите. Метод динамического прессования позволяет целенаправленно сформировать структуру композита (обеспечивающую необходимый уровень его физико-механических свойств, обеспечить надежность и циклическую долговечность наиболее ответственных и тяжело нагруженных частей скелета) без горячего прессования, что способствует существенному снижению энергозатратности производства.

Evstratov V.O., Krivileva S.P.

DYNAMIC PRESSURE - ENERGY SAVING SYNTHESIS OF NANOCRYSTAL COMPOSITES OF APATITIC COMPOSITION FOR CORRELATION OF STRUCTURAL DISTURBANCES OF THE SKELETON

The energy-saving method of obtaining nanocrystalline composite materials of apatite composition for correction of structural defects of the skeleton is considered in the article - dynamic pressing. This is the powder metallurgy method for the consolidation and compacting of nanopowders. The selection of the pressing scheme was carried out proceeding from the conditions for ensuring the uniformity of the load and obtaining a compact compact density and preventing the formation of fracture cracks in the radial and axial directions. The effect of the synthesis conditions on the microstructure and properties was studied, and the optimum ratio of the initial components in the composite was determined. The method of dynamic pressing allows one to purposefully form the structure of a composite (providing the necessary level of its physical and mechanical properties, to ensure the reliability and cyclic durability of the most critical and heavily loaded parts of the skeleton) without hot pressing, which contributes to a significant reduction in energy production costs.

Бобух А.О., Переверзева А.М., Лобойко В.О.

РОЗРОБКА АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА КАЛЬЦИНОВАНОЇ СОДИ АМІАЧНИМ СПОСОБОМ

Вступ

При дослідженні стаціонарних і нестаціонарних технологій більшості хімічних виробництв необхідно мати досить надійно працюючі алгоритми ідентифікації. Для стаціонарних технологій в цьому випадку використовуються розроблений рекурентний метод найменших квадратів [1] та його модифікації [2], що отримують шляхом мінімізації квадратичного функціонала і використовують при побудові оцінки безпосередні вимірювання вхідних і вихідних параметрів. Для нестаціонарних технологій зазначені адаптивні алгоритми ідентифікації мають обмежені функціональні можливості і малу точність. Технологія виробництва кальцинованої соди за аміачним способом (ВКС) має в своєму складі основні і допоміжні технології зі складними технологічними процесами та апаратами і замкненими циклами за матеріальними потоками [3]. Особливість цих технологій полягає в змінюванні характеристик в часі із-за непередбачених порушень технологічного режиму за рахунок наявності агресивних та абразивних середовищ, які кристалізуються, тобто відносяться до нестаціонарних технологій. Окрім того, для цих технологій характерними являються: складні залежності поміж вхідними та вихідними параметрами, значні запізнювання за основними каналами управління тощо.

Мета роботи

Розглянути теоретичні підстави та розробити адаптивний алгоритм ідентифікації нестаціонарних технологій ВКС, додатково до можливості ідентифікації стаціонарних технологій, для підвищення точності і розширення його функціональних можливостей за рахунок збільшення класу вирішуваних завдань.

Основна частина

Адаптивний алгоритм ідентифікації нестаціонарних технологій [4] в загальному випадку може бути записаний у вигляді :

$$C_n = C_{n-1} + \gamma_{1,n}(Y_n - C_{n-1}^T X_n)X_n + \gamma_{2,n}(Y_{n-1} - C_{n-1}^T X_{n-1})X_{n-1}, \quad (1)$$

де C_n – вектор оцінки параметрів нестаціонарної технології на n -ій ітерації; X_n – вектор узагальнених входів нестаціонарної технології; Y_n – вихід нестаціонарної технології на n -ій ітерації; $\gamma_{1,n}, \gamma_{2,n}$ – деякі позитивні коефіцієнти, що визначають швидкість збіжності розробляемого алгоритму.

Одним з найбільш зручних критеріїв, що характеризують швидкість збіжності розробляемого алгоритму, є величина:

$$\psi_n = \|\theta_{n-1}\|^2 - \|\theta_n\|^2, \quad (2)$$

де $\theta_i = C_i - C^*$ – помилка ідентифікації на i -й ітерації; C^* – шуканий вектор параметрів $\|\theta_i\|^2 = \sum_{i=n}^N \theta_i^2$, де N – розмірність узагальненого вектора входів.

Для поліпшення процесу збіжності алгоритму (1) необхідно, щоб рівність (2) прагнула до свого максимального значення:

$$\psi_n = \|\theta_{n-1}\|^2 - \|\theta_n\|^2 \rightarrow \max_{\gamma_{1,n}, \gamma_{2,n}}. \quad (3)$$

Якщо обчислити систему із двох рівнянь виду:

$$\begin{cases} \frac{\partial \psi_n}{\partial \gamma_{1,n}} = 0 \\ \frac{\partial \psi_n}{\partial \gamma_{2,n}} = 0 \end{cases}, \quad (4)$$

отримуємо оптимальні значення коефіцієнтів γ_1 і γ_2 , що забезпечують максимальну швидкість збіжності алгоритму (1).

Розглянемо процес вибору коефіцієнтів $\gamma_{1,n}$ і $\gamma_{2,n}$ детально.

Віднімаючи з обох частин алгоритму (1) шуканий вектор параметрів C^* , запишемо його щодо помилок ідентифікації. З урахуванням того, що $Y_n = C^{*T} X_n$, а $Y_{n-1} = C^{*T} X_{n-1}$, отримуємо:

$$\theta_n = \theta_{n-1} - \gamma_{1,n}(\theta_{n-1}^T X_n) X_n - \gamma_{2,n}(\theta_{n-2}^T X_{n-1}) X_{n-1}. \quad (5)$$

Помножимо вираз (5) зліва на θ_n^T , отримуємо:

$$\begin{aligned} \|\theta_n\|^2 = & \|\theta_{n-1}\|^2 - 2\gamma_{1,n}(\theta_{n-1}^T X_n)^2 - 2\gamma_{2,n}(\theta_{n-2}^T X_{n-1})(\theta_{n-1}^T X_{n-1}) + 2\gamma_{1,n}\gamma_{2,n} \cdot \\ & \cdot (\theta_{n-1}^T X_n)(\theta_{n-2}^T X_{n-1})(X_n^T X_{n-1}) + \gamma_{1,n}^2(\theta_{n-1}^T X_n)^2 \|X_n\|^2 - \gamma_{2,n}^2(\theta_{n-2}^T X_{n-1})^2 \|X_{n-1}\|^2. \end{aligned} \quad (6)$$

С урахуванням формули (6) вираз для критерію швидкості збіжності алгоритму (2) буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} \psi_n = & 2\gamma_{1,n}(\theta_{n-1}^T X_n)^2 + 2\gamma_{2,n}(\theta_{n-2}^T X_{n-1})(\theta_{n-1}^T X_{n-1}) - 2\gamma_{1,n}\gamma_{2,n}(\theta_{n-1}^T X_n) \cdot \\ & \cdot (\theta_{n-2}^T X_{n-1})(X_n^T X_{n-1}) - \gamma_{1,n}^2(\theta_{n-1}^T X_n)^2 \|X_n\|^2 - \gamma_{2,n}^2(\theta_{n-2}^T X_{n-1})^2 \|X_{n-1}\|^2. \end{aligned} \quad (7)$$

Диференціюючи отриманий вираз (7) за $\gamma_{1,n}$ і $\gamma_{2,n}$, отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Psi_n}{\partial \gamma_{1,n}} = 2(\theta_{n-1}^T X_n) - 2\gamma_{2,n}(\theta_{n-1}^T X_n)(\theta_{n-2}^T X_{n-1})(X_n^T X_{n-1}) - \\ - 2\gamma_{1,n}(\theta_{n-1}^T X_n)^2 \|X_n\|^2 = 0; \\ \frac{\partial \Psi_n}{\partial \gamma_{2,n}} = 2(\theta_{n-2}^T X_{n-1})(\theta_{n-1}^T X_{n-1}) - 2\gamma_{1,n}(\theta_{n-1}^T X_n)(\theta_{n-2}^T X_{n-1})(X_n^T X_{n-1}) - \\ - 2\gamma_{2,n}(\theta_{n-2}^T X_{n-1})^2 \|X_{n-1}\|^2 = 0, \end{cases}$$

вирішуючи яку визначимо вирази для позитивних коефіцієнтів $\gamma_{1,n}, \gamma_{2,n}$:

$$\begin{aligned} \gamma_{1,n} &= \frac{(\theta_{n-1}^T X_n) \|X_{n-1}\|^2 - (\theta_{n-1}^T X_{n-1})(X_n^T X_{n-1})}{(\theta_{n-1}^T X_n) [\|X_n\|^2 \|X_{n-1}\|^2 - (X_n^T X_{n-1})^2]} \\ \gamma_{2,n} &= \frac{(\theta_{n-1}^T X_{n-1}) \|X_n\|^2 - (\theta_{n-1}^T X_n)(X_n^T X_{n-1})}{(\theta_{n-2}^T X_{n-1}) [\|X_n\|^2 \|X_{n-2}\|^2 - (X_n^T X_{n-1})^2]}. \end{aligned} \quad (8)$$

Отримані вирази для позитивних коефіцієнтів $\gamma_{1,n}, \gamma_{2,n}$ максимізують, так як підставивши отримані вирази для позитивних коефіцієнтів із формули (8) в рівняння (1), отримаємо алгоритм:

$$\begin{aligned} C_n &= C_{n-1} + (Y_n - C_{n-1}^T X_n) \frac{\|X_{n-1}\|^2 X_n - (X_n^T X_{n-1}) X_{n-1}}{\|X_n\|^2 \|X_{n-1}\|^2 - (X_n^T X_{n-1})^2} + \\ &+ (Y_{n-1} - C_{n-1}^T X_{n-1}) \frac{\|X_n\|^2 X_{n-1} - (X_n^T X_{n-1}) X_n}{\|X_n\|^2 \|X_{n-1}\|^2 - (X_n^T X_{n-1})^2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Третя складова в виразі (9) звертається в нуль, так як помноженням обох частин цього виразу на X_n неважко перевірити, що $Y_n = C_n^T X_n$, а також, аналогічно, $Y_{n-1} = C_{n-1}^T X_{n-1}$.

Таким чином, алгоритм (1) набуває вигляду:

$$C_n = C_{n-1} + (Y_n - C_{n-1}^T X_n) \frac{\|X_{n-1}\|^2 X_n - (X_n^T X_{n-1}) X_{n-1}}{\|X_n\|^2 \|X_{n-1}\|^2 - (X_n^T X_{n-1})^2}. \quad (10)$$

Алгоритм (10) необхідно модифікувати, доповнивши до нього деякий позитивний коефіцієнт γ_n , тобто:

$$C_n = C_{n-1} + \gamma_n (Y_n - C_{n-1}^T X_n) \frac{\|X_{n-1}\|^2 X_n - (X_n^T X_{n-1}) X_{n-1}}{\|X_n\|^2 \|X_{n-1}\|^2 - (X_n^T X_{n-1})^2}. \quad (11)$$

Поступаючи аналогічно з викладеним вище, тобто, віднімаючи із обох частин алгоритму (11) C^* , помножимо отриманий вираз зліва на θ_n^T і підставимо в критерій (2), отримуємо, що для алгоритму (11)

$$\begin{aligned} \psi_n &= \gamma_n (2 - \gamma_n) \frac{(\theta_{n-1}^T \gamma_n)}{\|X_n\|^2 \|X_{n-1}\|^2 - (X_n^T X_{n-1})} = \\ &= \gamma_n (2 - \gamma_n) \frac{(\theta_{n-1}^T \gamma_n)}{\|X_n\|^2 \|X_{n-1}\|^2 \sin^2 \phi}, \end{aligned} \quad (12)$$

де ϕ – кут між векторами X_n та X_{n-1} .

З рівняння (12) витікає, що алгоритм (11) монотонно сходиться, тобто $\psi_n > 0$, при виконанні умови $0 < \gamma_n < 2$. Отже, вибираючи $0 < \gamma_n < 2$, забезпечується монотонна настройка параметрів алгоритму.

Диференціюючи формулу (12) за γ_n і прирівнюючи отриманий вираз до нуля, легко встановити, що оптимальне значення коефіцієнту γ_n , забезпечує максимальну швидкість збіжності, дорівнює одиниці, отже, отримуємо алгоритм (10). У тому випадку, якщо виходи нестаціонарних технологій на n -ій ітерації вимірюються з перешкодами, то слід брати $\gamma_n < 1$ при ідентифікації таких технологій і, наприклад, виду $\gamma_n = \frac{\gamma}{n}$, що задовольняють звичайним умовам стохастичною апроксимації:

$$\left(\sum_{n=1}^{\infty} \gamma_n = \infty, \sum_{n=1}^{\infty} \gamma_n^2 < \infty \right), \quad (13)$$

при ідентифікації стаціонарних технологій.

Таким чином, розроблений адаптивний оптимальний за швидкодією алгоритм ідентифікації:

$$C_n = C_{n-1} + \gamma_n (Y_n - C_{n-1}^T X_n) \frac{\|X_{n-1}\|^2 X_n - (X_n^T X_{n-1}) X_{n-1}}{\|X_n\|^2 \|X_{n-1}\|^2 - (X_n^T X_{n-1})^2}, \quad (14)$$

де в загальному випадку $0 < \gamma_n < 2$ – для нестаціонарних технологій, $\gamma_n = \frac{\gamma}{n}$ – для стаціонарних, в цьому випадку реалізується алгоритм типу стохастичною апроксимації.

Розроблений адаптивний оптимальний за швидкодією алгоритм ідентифікації нестаціонарних технологій (14), а також всі запропоновані формули, критерії, рішення

системи рівнянь, процес вибору позитивних значень $\gamma_{1,n}$ і $\gamma_{2,n}$ та інші операції від (1) до (13) найбільш просто можна реалізувати за допомогою сучасних багатоканальних, швидкодіючих мікропроцесорних контролерів (МПК) з багатофункціональними спеціальними програмними забезпеченнями (СПЗ) [5]. МПК в реальному масштабі часу використовуючи СПЗ зможуть забезпечувати виконання всіх необхідних стандартних операцій розробленого алгоритму.

Висновки

Розроблений адаптивний оптимальний за швидкодією алгоритм дозволяє при вирішенні задач ідентифікації нестационарних технологічних технологій ВКС використовувати на кожній ітерації не всю наявну інформацію про передісторію технології, як це робиться в рекурентному методі найменших квадратів, а дані тільки двох останніх спостережень, що дає можливість відстежувати дрейф параметрів при ідентифікації технологій. Застосування розробленого адаптивного оптимального за швидкодією алгоритму ідентифікації дозволяє оперативно отримувати достовірну інформацію про нестационарність технологій, що приводить до підвищення якості процесу протікання технологій, а це в свою чергу забезпечує отримання позитивного економічного ефекту.

Література

1. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; [пер. с англ. Б.И. Копылова]. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с.
2. Олссон Г. Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Олссон, Д. Пиани. – С.-Пб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.
3. Зайцев И.Д. Производство соды [Текст] / И. Д. Зайцев, Г. А. Ткач, Н. Д. Стоев. – М.: Химия. 1984. – 312 с.
4. А.с. SU 1136115 А СССР, G 05 В 23/00. Адаптивный идентификатор / И.Д. Зайцев, В.И. Салыга, А.А. Бобух, Н.С. Дяченко, О.Г. Руденко, Е.В. Бодянский, Ю.В. Никуленко. (СССР). № 3691296 / 24–24; заяв. 06.01.84; опубл. 23.01.85, Бюл. № 3.
5. Сиротский А.А. Микропроцессорные программируемые логические контроллеры в системах автоматизации и управления: учеб. пособие для вузов / А.А. Сиротский. – М.: Спутник, 2013. – 170 с.

Bibliographi (transliterated)

1. Dorf R. Sovremennye sistemy upravleniya / R. Dorf, R. Bishop; [per. s angl. B.I. Kopylova]. – М.: Laboratoriya Bazovyh Znanij, 2004. – 832 p.
2. Olsson G. Cifrovye sistemy avtomatizacii i upravleniya / G. Olsson, D. Piani. – S.-Pb.: Nevskij Dialekt, 2001. – 557 p.
3. Zajcev I.D. Proizvodstvo sody [Tekst] / I.D. Zajcev, G.A. Tkach, N.D. Stoev. – М.: Himiya. 1984. – 312 p.

4. A.s. SU 1136115 A SSSR, G 05 B 23/00. Adaptivnyj identifikator / I.D. Zajcev, V.I. Salyga, A.A. Bobuh, N.S. Dyachenko, O.G. Rudenko, E.V. Bodyanskij, YU.V. Nikulenko. (SSSR). № 3691296 / 24–24; zayav. 06.01.84; opubl. 23.01.85, Byul. № 3.

5. Sirotskij A.A. Mikroprocessornye programmirovaniye logicheskie kontrollery v sistemah avtomatizacii i upravleniya: ucheb. posobie dlya vuzov / A.A. Sirot-skij. – M.: Sputnik, 2013. – 170 p.

УДК 661.333–681.513.63

Бобух А.А., Переверзева АН., Лобойко В.А.

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ АММИАЧНЫМ СПОСОБОМ

Разработан адаптивный оптимальный по быстродействию алгоритм позволяет при решении задач идентификации нестационарных технологических технологий ВКС использовать на каждой итерации не всю имеющуюся информацию о предыстории технологии, как это делается в рекуррентному методе наименьших квадратов, а данные только двух последних наблюдений, дает возможность отслеживать дрейф параметров при идентификации технологий. Применение разработанного адаптивного оптимального по быстродействию алгоритма идентификации позволяет оперативно получать достоверную информацию о нестационарности технологий, приводит к повышению качества процесса протекания технологий, а это в свою очередь обеспечивает получение положительного экономического эффекта.

Bobukh A.O., Pereverzieva A.M., Loboyko V.O.

DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE IDENTIFICATION ALGORITHM TECHNOLOGY PRODUCTION OF SODA ASH BY AMMONIA METHOD

An adaptive, optimal algorithm for speeding up the algorithm allows to use not all available information on the history of the technology at each iteration as it is done in the recursive least squares method, and only the last two observations provide an opportunity to track the drift of the parameters during identification technologies. The application of the developed adaptive time-optimal identification algorithm allows you to quickly obtain reliable information about the non-stationarity of technologies, leads to an improvement in the quality of the process of technology, and this in turn ensures a positive economic effect.

УДК 661.321

Букатенко О.І., Подустов М.О., Дзевочко О.М., Букатенко Н.О.

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ
ДИСТИЛЯЦІЙНОЇ КОЛОНИ В СОДОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ
ПРИ ЗМІННИХ НАВАНТАЖЕННЯХ**

Вступ. Виробництво кальцинованої соди належить до складних і енергоємних хіміко-технологічних систем. Одним з основних відділень цього виробництва є відділення дистиляції.

Призначенням цього відділення є відгін аміаку й двооксиду вуглецю з фільтрової рідини шляхом нагрівання її в апаратах – конденсаторі та теплообміннику дистиляції паровою фазою, що виходить із дистилера з наступним розкладанням хлористого амонію за допомогою вапняного молока й відгонкою парою аміаку, що утворилася в дистилері. Витрати на проведення цього процесу становлять близько 50 % всіх витрат з виробництва соди [1].

Дистиляційна колона складається з дистилера, теплообмінника дистиляції й конденсатора-холодильника газу дистиляції. У цих апаратах протікають різні побічні реакції, що характеризуються, у тому числі, температурним режимом.

Із всіх побічних реакцій, що протікають у змішувачі й дистилері, найбільш небажаною є утворення гіпсу.

У фільтровій рідині міститься деяка кількість сірчанокислового натрію, що переходить із розсолу. У результаті його реакції із хлористим кальцієм утворюється сірчанокислый кальцій у вигляді безводної, напів й двухводної солей, кристалізуючись на стінках апаратів і трубопроводів вони утворюють щільну кірку, що впливає на зміну характеристик апаратів.

Боротьба з інкрустаціями (гіпсова кірка) – одна із серйозних проблем содового виробництва. Від її рішення залежить збільшення часу експлуатації дистилера між зупинками на чищення. Тривалість якого в цей час не перевищує 1,5–2 місяців [2].

У діапазоні температур нижче 93 °С утворюється двухводний гіпс, вище – напівводний. Тому дистиляцію ведуть при температурі нижче або вище критичної температури 93 °С. Напрямок рідини в теплообміннику дистиляції вище критичних значень приводить до невинновданої витрати пари, що гріє, зниження температури – до більших втрат вапна.

Навантаження на десорбційні колони при досить тривалих спостереженнях змінюються часто й відхилення перевищують 20 % від номінальних значень. При аварійних режимах ці відхилення можуть досягати значно більших значень [1,3].

У содовому виробництві існує ряд історично сформованих причин, що гальмують впровадження нових методів, зокрема методів оптимізації процесів з використанням математичного моделювання. Саме з цієї причини, очевидно, математичні описи десорбційних колон содового виробництва, що існують, обмежуються математичними моделями в основному статички процесу малоприсдатними для пошуку шляхів його інтенсифікації, оптимального проектування й управління.

З появою мікропроцесорної техніки стало можливим створення децентралізованих і багаторівневих систем управління виробництв кальцинованої соди аміачним способом із застосуванням цієї техніки, що дозволить значно підвищити надійність систем управління, спростити математичне забезпечення, знизити їхню вартість тощо [4].

У содовій промисловості в цей час перебувають в експлуатації дистиляційні колони продуктивністю 900 т. соди на добу. Тільки дистилер і теплообмінник такої колони мають висоту 36,7 м. Регулювання температурного режиму в ній тільки кількістю пари, що подається, приводить до великих запізнювань, особливо при змінному навантаженні по фільтровій рідині і, як наслідок, до неефективної роботи колони.

З метою підтримки оптимального температурного режиму колони, економії пари, що гріє, і одержання парогазового потоку, що відповідає технологічним нормам, доцільно підтримувати температурний режим у дистиляційній колоні витратою пари, що гріє, з корекцією по витраті фільтрової рідини. Для реалізації такого регулювання необхідна математична модель, яка б включала: передатні функції об'єкта по каналах регулювання й збурення; передатну функцію коригувального елемента й передатну функцію регулятора.

Мета роботи. Розробити математичну модель системи автоматичного регулювання температури газу, що виходить із дистилера дистиляції залежно від витрати пари в дистилер, з корекцією по витраті фільтрової рідини.

Основна частина. Згідно літературним даним [1,3] передатні функції в загальному виді по каналу витрати пари й збурювання по витраті фільтрової рідини дистиляційної колони відповідно мають вигляд:

$$W_{OP}(S) = \frac{k_1 \cdot e^{-S\tau_p}}{T_3^3 S^3 + T_2^2 S^2 + T_1 S + 1}, \quad (1)$$

$$W_{OB}(S) = \frac{k_2 \cdot e^{-S\tau_e}}{T_2^2 S^2 + T_1 S + 1}, \quad (2)$$

де k_1 й k_2 – коефіцієнти підсилення дистиляційної колони по каналах регулювання й збурення відповідно; τ_p і τ_e – час запізнювання; S – оператор Лапласа; T_1 , T_2 , T_3 – постійні часу.

Для забезпечення інваріантності системи регулювання стосовно збурювання по витраті фільтрової рідини необхідно встановити динамічний компенсатор, передатна функція якого дорівнює відношенню передатної функції об'єкта по збуренню до передатної функції регулювання, узятому зі зворотним знаком [5].

При таких передатних функціях по каналах регулювання й збурення компенсатор фізично неможна реалізувати, тому що в його передатній функції ступінь полінома в чисельнику більше ніж ступінь полінома в знаменнику й компенсатор буде містити ідеальну ланку, що диференціює [5].

Для виконання умови фізичної реалізації інваріантної системи автоматичного регулювання необхідно знизити ступінь характеристичного рівняння колони по каналу регулювання або підвищити ступінь характеристичного рівняння колони по каналу збурення.

Підвищення ступеня характеристичного рівняння по каналу збурення призведе до збільшення ступеня диференційного рівняння замкнутої системи автоматичного регулювання до високого порядку, яке з достатнім ступенем точності буде важко вирішити.

Зниження ступеня характеристичного рівняння по каналу регулювання може привести до значної похибки. Тому необхідно одержати первинну динамічну характеристику зі зниженим ступенем, а потім порівняти їх на точність.

За літературними даними [1,3] у первісній передатній функції коефіцієнт підсилення колони по каналу регулювання 0,58; час запізнювання 13,7 с; постійні часу відповідно 1114 с; 218 с та 29,7 с. Тоді передатна функція колони по каналу регулювання буде мати вигляд:

$$W_{OP}(S) = \frac{0,58 \cdot e^{-13,7S}}{1114S^3 + 218S^2 + 29,7S + 1} \quad (3)$$

Для визначення первісної динамічної характеристики визначені корені характеристичного рівняння третього порядку. З урахуванням отриманих коренів і перетворень Лапласа [6] первісна динамічна характеристика по каналу регулювання описується наступним рівнянням, приведеним до одиничного виду:

$$Y(t) = 1 - 1,33 \cdot e^{-0,044t} + 0,33 \cdot e^{-0,076t} \cdot \sin(0,12t + 1,242) \quad (4)$$

Підставляючи в це рівняння значення t , тоді первісна динамічна характеристика колони по каналу регулювання в безрозмірній формі буде мати вигляд, представлений на рисунку 1, крива 1.

При знаходженні корінь характеристичного кубічного рівняння передатної функції по каналу регулювання було отримано характеристичне рівняння дистиляційної колони зі зниженим ступенем, що має вигляд:

$$S^2 + 0,152S + 0,02 = 0 \quad (5)$$

Тоді передатна функція по цьому каналу складе:

$$W_{OP}(S) = \frac{0,58 \cdot e^{-13,7S}}{S^2 + 0,152S + 0,02} \quad (6)$$

Корені характеристичного рівняння даної передатної функції негативні, комплексні, сполучені. З урахуванням отриманих коренів і, використовуючи перетворення Лапласа [6], динамічна характеристика колони по каналу регулювання зі зниженим ступенем буде описуватися наступним рівнянням, приведеним до виду:

$$Y(t) = 1 - 0,99 \cdot e^{-0,076t} \cdot \cos 0,12 \cdot t + 2,31 \cdot e^{-0,076t} \cdot \sin(-0,12) \cdot t \quad (7)$$

Підставляючи в це рівняння значення t , тоді динамічна характеристика колони по каналу регулювання зі зниженим ступенем у безрозмірній формі має вигляд, представлений на рисунку 1, крива 2.

З рисунка видно, що отримана крива неточно апроксимує криву первісної динамічної характеристики по каналу регулювання.

Використовуючи первісну динамічну характеристику й пакети прикладних програм, наведених у літературі [7], була визначена передатна функція по каналу регулювання при зниженому ступені методом площ [8], що має вигляд:

$$W_{OP}(S) = \frac{0,58 \cdot e^{-13,7S}}{130S^2 + 28,25S + 1}, \quad (8)$$

а графік даної функції представлений на рисунку 1, крива 3.

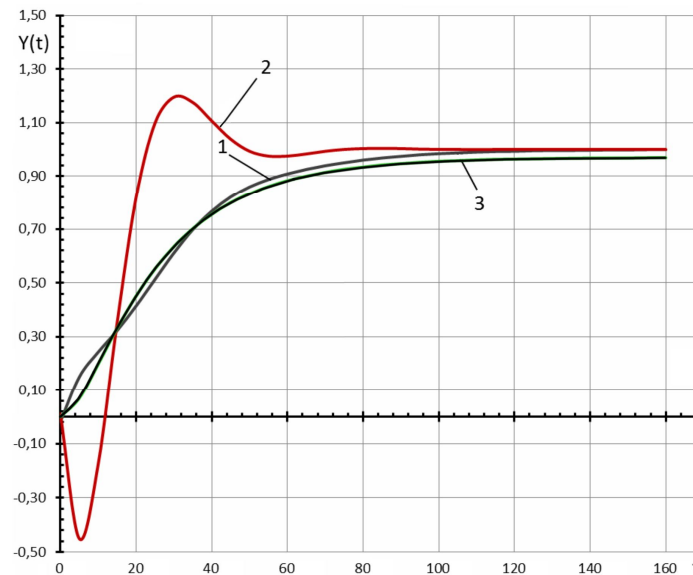


Рисунок 1 – Динамічна характеристика об'єкта по каналу регулювання в безрозмірній формі
1 – за початковими даними; 2 – за методом зниження степені; 3 – за методом площ

Із графіка видно, що дана функція досить точно апроксимує криву 1. Максимальна похибка від t рівного 5 до t рівного 150 не перевищує 4 %.

Тоді передатна функція компенсатора з умови інваріантності складе:

$$-W_K(S) = \frac{0,49 \cdot e^{-18,9S} \cdot (130S^2 + 28,25S + 1)}{(35,56S^2 + 12,63S + 1) \cdot 0,58 \cdot e^{-13,7S}}, \quad (9)$$

або після перетворення й приведення до одиничного виду:

$$-W_K(S) = \frac{0,79 \cdot e^{-5,2S} \cdot (21,14S + 1)}{5,4S + 1}. \quad (10)$$

У передатній функції отриманого компенсатора ступінь полінома чисельника не перевершує ступінь полінома знаменника. Ідеальний компенсатор фізично реалізуємий. Однак технічна реалізація такого пристрою досить складна, оскільки він включає ланки чистого запізнювання, реальну аперіодичну ланку, що диференціює, першого порядку. Тому доцільно підібрати реальний компенсатор більш простої структури [5].

Для вибору типу реального компенсатора необхідні частотні характеристики отриманого вище компенсатора. Зручність користування частотними характеристиками полягає в тому, що з їх використанням можна знайти невідоме рівняння ідеального компенсатора [8].

Амплітудно-частотна характеристика отриманого компенсатора буде:

$$A_K(\omega) = 0,79 \sqrt{\frac{(21,14i\omega)^2 + 1}{(5,4i\omega)^2 + 1}}, \quad (11)$$

а фазочастотна

$$\varphi_K(\omega) = -5,2\omega + \arctg 21,14\omega - \arctg 5,4 \cdot \omega, \quad (11)$$

де ω – частота; φ – кут у радіанах.

Змінюючи ω від 0 до 10 одержимо $A_{(\omega)}$ та $\varphi_{(\omega)}$.

В інтервалі робочої частоти ($\omega_p = 0,065$) до критичної ($\omega_{KP} = 0,26$) отриманий годограф коригувального пристрою $\text{Re}(i \cdot \omega)$ проходить послідовно з першого в четвертий квадрант. Відповідно до таблиці структури реальних компенсаторів [7], у якості реального коригувального пристрою можна вибрати інтегро-диференціюючу ланку, або реальну диференціюючу ланку.

По таблиці структури реальних компенсаторів передатна функція інтегро-диференціюючої ланки, у загальному виді дорівнює:

$$W_K(S) = \frac{K \cdot (T_1 \cdot S + 1)}{T_2 \cdot S + 1}, \quad (12)$$

а амплітудно-частотна й фазочастотна характеристики цієї ланки, відповідно до тієї ж таблиці, відповідно рівні:

$$A_K(\omega) = \frac{K \cdot \sqrt{T_1^2 \cdot \omega^2 + 1}}{\sqrt{T_2^2 \cdot \omega^2 + 1}}, \quad (13)$$

$$\varphi_K(\omega) = \arctg T_1 \cdot \omega - \arctg T_2 \cdot \omega. \quad (14)$$

Параметри настроювання інтегро-диференціюючої ланки визначаються з наступної системи рівнянь:

$$\frac{0,79 \cdot \sqrt{0,065^2 \cdot T_2^2 + 1}}{\sqrt{0,065^2 \cdot T_2^2 + 1}} = 1,27, \quad (15)$$

$$\arctg 0,065 \cdot T_1 - \arctg 0,065 \cdot T_2 = 0,27. \quad (16)$$

Нами було визначено, що при $\omega = 0$, $A_{K(0)} = 0,79$; при $\omega = 0,065$, $A_{K(0,065)} = 1,27$, а $\varphi_{K(0,065)} = 0,27$.

Виразивши величину T_1 з рівнянь 15 та 16 і, зробивши необхідні перетворення, одержимо $T_2 = 19,7$ с; тоді $T_1 = 37,1$ с, а передатна функція реального інтегро-диференціюючого пристрою, буде мати вигляд:

$$W_k(S) = \frac{-0,79(37,1 \cdot S + 1)}{19,7 \cdot S + 1}. \quad (17)$$

Використовуючи пакети прикладних програм [7], були знайдені оптимальні настроювальні параметри ПІ-регулятора.

Тоді його передатна функція складе:

$$W_p(S) = \frac{0,102 + 2,021S}{S}. \quad (18)$$

По отриманим передатних функціях розроблена структурна схема управління температурним режимом дистиляційної колони при змінних навантаженнях, представлена на рисунку 2.

З метою економії електроенергії на технічні засоби коригувальних пристроїв, у схемі передбачене їх відключення при роботі колони за умови постійного навантаження.

Блок-схема розрахунку контуру автоматичного регулювання температури в колоні наведена на рисунку 3, а результати розрахунків по даній блок-схемі наведені на рисунку 4. З рисунка 4 видно, що без коригувального пристрою (крива 1) динамічна помилка регулювання становить значну величину.

Введення інтегро-диференціюючого коригувального пристрою (крива 2) незначно зменшило динамічну помилку регулювання, але збільшило час перехідного процесу. Крім того, перехідний процес став характеризуватися наявністю залишкової нерівномірності. Тому необхідно досліджувати як коригувальний пристрій – реальну диференціюючу ланку.

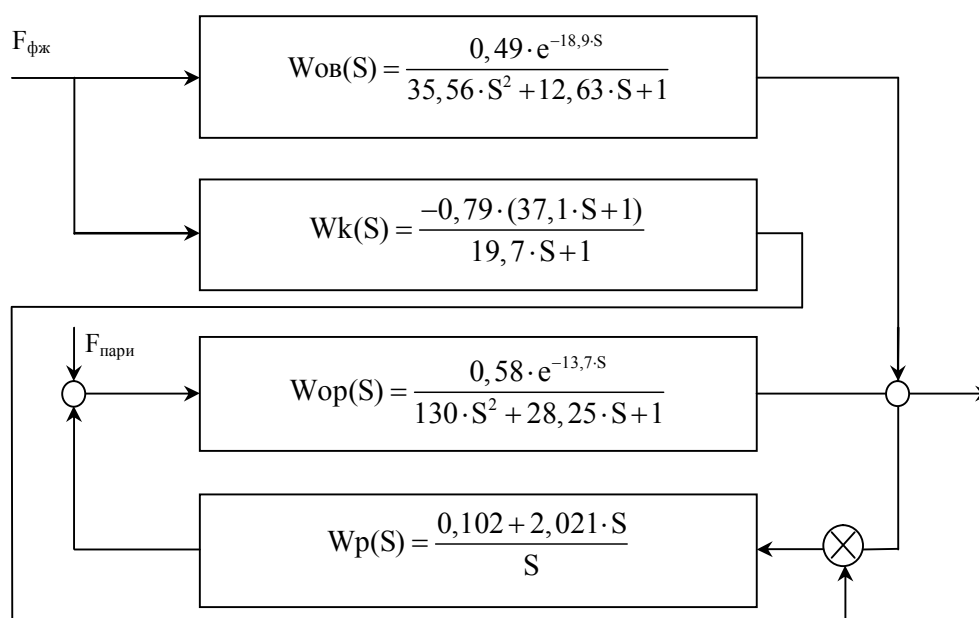


Рисунок 2 – Структурна схема контуру регулювання

На підставі таблиці структури реальних компенсаторів [7], передатна функція цієї ланки дорівнює:

$$W_K(S) = \frac{T_1 \cdot S}{T_2 \cdot S + 1} \quad (19)$$

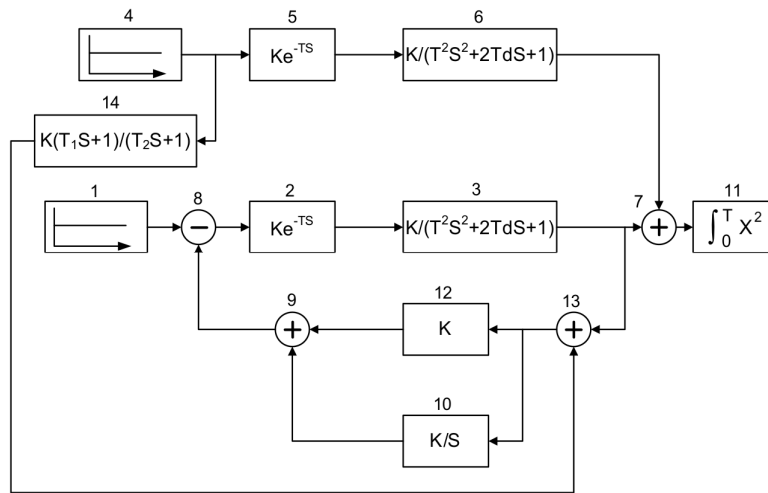


Рисунок 3 – Блок-схема розрахунку АСР

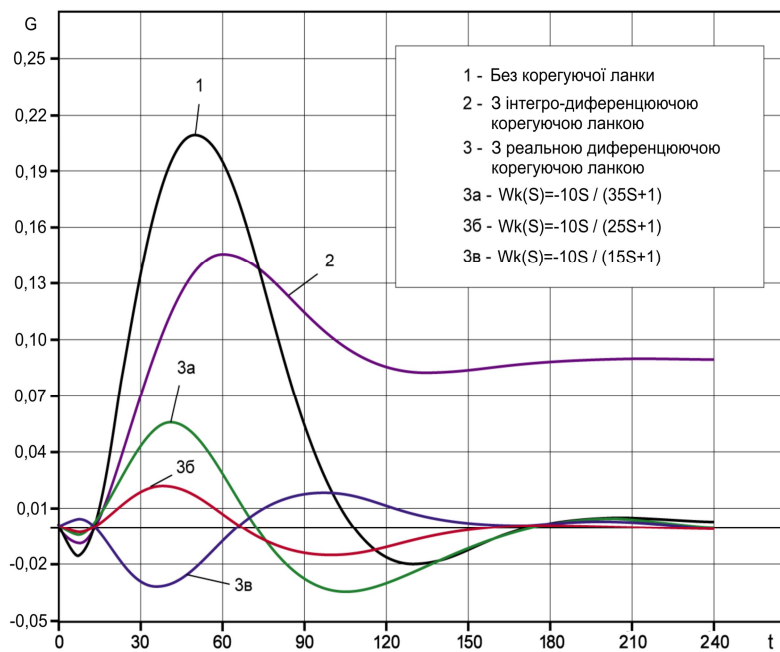


Рисунок 4 – Графіки перехідних процесів

За допомогою методу інтегрування Фельберга [7], були отримані параметричні значення T_1 й кілька значень T_2 . З їхнім обліком передатні функції компенсатора мають вигляд:

$$W_K(S)1 = -10S / (35S + 1), \quad (20)$$

$$W_K(S)2 = -10S / (25S + 1), \quad (21)$$

$$W_K(S)3 = -10S / (15S + 1). \quad (22)$$

Розрахунок перехідних процесів, з урахуванням даних передатних функцій, проводився по блок-схемі, наведеної на рисунку 4 шляхом підстановки в блок 14 відповідної передатної функції. Результати розрахунків наведені на рисунку 4 (криві 3а, 3б, 3в). З рисунка видно, що введення компенсатора з реальною диференціюючою ланкою, і передатною функцією $W_K(S)2 = -10S / (25S + 1)$ (крива 3б) приводить до найбільш якісного процесу регулювання.

Висновки. Розроблено структурну схему управління температурним режимом дистиляційної колони з різними компенсаторами.

Показано, що введення в систему автоматичного регулювання реальної диференціюючої ланки, приводить до найбільш якісного процесу регулювання. Це дозволить заощаджувати витрату пари, що гріє, і одержати парогазовий потік, що виходить із дистиляційної колони, який відповідає технологічним нормам.

Література

1. Зайцев И.Д. Производство соды [Текст] / И.Д. Зайцев, Г.А. Ткач, Н.Д. Стаев. – М.: Химия, 1986. – 311 с.
2. Крашенинников С.А. Технология соды [Текст] / С.А. Крашенинников. – М.: Химия, 1988. – 304 с.
3. Ткач Г.А. Производство соды по малоотходной технологии [Текст] / Г.А.Ткач, В.П. Шапоров, В.М. Титов. – Харьков: ХГПУ, 1988. – 429 с.
4. Молчанов В.И. Разработки в области автоматизации производств основной химической промышленности [Текст] // Хімічна промисловість України. – 1988. – №3. – С. 51-54.
5. Автоматическое управление в химической промышленности [Текст] / А.В.Казанов, Ю.М. Софиева, А.Е. Софиев, А.А. Цирлин; под общей ред. Е.Г. Дудникова. – М.: Химия, 1987. – 368 с.
6. Макаров И.М. Таблицы преобразований Лапласа и обратных Н-преобразований [Текст] / И.М. Макаров, Б.М. Менский. – М.: Высш. шк., 1988. - 72 с.
7. Проектування систем автоматизації технологічних процесів: навч. Посібник [Текст] / В.І. Тошинський, М.О. Подустов, І.І. Литвиненко та ін. – Харків: НТУ «ХП», 2006 – 412 с.
8. Широкий Д.К. Расчет параметров промышленных систем регулирования [Текст] / Д.К. Широкий, О.Д. Куриленко. – К.: Техніка, 1986. – 232 с.

Bibliography (transliterated)

1. Zaytsev I.D. Proizvodstvo sody [Tekst] / I.D. Zaytsev, G.A. Tkach, N.D. Stayev. – M.: Khimiya, 1986. – 311 p.
2. Krashennnikov S.A. Tekhnologiya sody [Tekst] / S.A. Krashennnikov. – M.: Khimiya, 1988. – 304 p.
3. Tkach G.A. Proizvodstvo sody po malootkhodnoy tekhnologii [Tekst] / G.A.Tkach, V.P. Shaporev, V.M. Titov. – Khar'kov: KHGPU, 1988. – 429 p.

4. Molchanov V.I. Razrabotki v oblasti avtomatizatsii proizvodstv osnovnoy khimicheskoy promyshlennosti [Tekst] // Khimichna promislovist' Ukraïni. – 1988. — №3. – P. 51–54.
5. Avtomaticheskoye upravleniye v khimicheskoy promyshlennosti [Tekst] / A.V. Kazanov, YU.M. Sofiyeva, A.Ye. Sofiyev, A.A. Tsirlin; pod obshchey red. Ye.G. Dudnikova. – M.: Khimiya, 1987. – 368 p.
6. Makarov I.M. Tablitsy preobrazovaniy Laplasy i obratnykh N-preobrazovaniy [Tekst] / I.M. Makarov, B.M. Menskiy. – M.: Vyssh. shk., 1988. – 72 p.
7. Proyektuvannya sistem avtomatizatsii tekhnologichnikh protsesiv: navch. Posibnik [Tekst] / V.I. Toshins'kiy, M.O. Podustov, I.I. Litvinenko ta in. – Kharkiv: NTU «KHPÍ», 2006 – 412 p.
8. Shirokiy D.K. Raschet parametrov promyshlennykh sistem regulirovaniya [Tekst] / D.K. Shirokiy, O.D. Kurilenko. – K.: Tekhnika, 1986. – 232 p.

УДК 661.321

Букатенко А.И., Подустов М.А., Дзевочко А.М., Букатенко Н.А

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ
РЕЖИМОМ ДИСТИЛЛЯЦИОННОЙ КОЛОННЫ
В СОДОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗКАХ**

В статье приведены результаты исследования управления температурным режимом дистиляционной колонны. Обоснована необходимость введения компенсатора при ее работе с переменной нагрузкой по расходу фильтровой жидкости. Установлено, что введение в систему автоматического регулирования реального дифференцирующего звена приводит к наиболее качественному процессу регулирования. Разработаны структурная схема и блок-схема расчета автоматической системы регулирования с различными корректирующими устройствами.

Bukatenko O.I., Podustov M.O., Dzevochko O.M., Bukatenko N.O.

**MATHEMATICAL MODEL OF CONTROL OF THE TEMPERATURE MODE
OF THE DISTILLATION COLUMN IN SODA ASH PRODUCTION
UNDER VARIABLE LOADS**

The article presents the results of a study of control of the temperature mode of a distillation column. The necessity of introducing a compensator in its work with a variable load on the consumption of the filter liquid is substantiated. It is established that the introduction into the automatic control system of the real differentiating link leads to the most qualitative process of regulation. A block diagram of the calculation of an automatic control system with various correcting devices has been developed.

НАБЛИЖЕНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ВИТРАТ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ВИРОБНИЧО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОТРЕБИ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основними складовими обсягів виробничо-технологічних потреб (ВТП) газу в газотранспортній системі (ГТС) є обсяги витрат паливного газу на привід газоперекачувальних агрегатів (ГПА) і витрати технологічного газу.

Останні зумовлені безпосередньо технологічним процесом транспортування природного газу для здійснення основних та допоміжних технологічних операцій. В їх складі витрати газу на пуски і зупинки ГПА, експлуатацію і технічне обслуговування обладнання компресорних цехів (КЦ), газорозподільчих станцій (ГРС), підземних сховищ; витрати газу на проведення профілактичних вогневих та газонебезпечних робіт; при експлуатації пневматичних регуляторів; систем автоматики і телемеханіки; технічних засобів вимірювання обсягів газу та багато інших технологічних заходів, що забезпечують безпечну і ефективну роботу об'єктів ГТС.

Визначення обсягів витрат паливного газу здійснюється вимірювальними комплексами з використанням витратомірів змінного перепаду тисків, турбінних і роторних лічильників разом із обчислювачами та обчислювачами-коректорами [1–4]. Це устаткування забезпечує високу точність вимірів та оперативність передачі даних до диспетчерських служб для проведення необхідних розрахунків.

Інша справа щодо обліку витрат технологічного газу. Його складові визначають в основному розрахунковим шляхом [5]. У якості вихідних даних використовують записи у робочих диспетчерських журналах та інших чинних документах, де фіксуються усі проведені заходи, що пов'язані з витратами природного газу та його параметри за даними вимірювальних приладів (тиск, температура) та густина).

Слід зазначити, що збір цих даних може мати різну періодичність і складатись наприкінці звітного періоду, як правило, місяця або кварталу.

Постановка проблеми. Експлуатація газотранспортної системи України характеризується постійним зростанням вимог щодо її економічності. Одним з напрямків поліпшення цього показника є зменшення технологічних витрат газу, що обумовлює актуальність задач їх визначення [6].

З точки зору можливості ефективного контролю за ефективним використанням природного газу на власні потреби ГТС таке положення справ має ряд суттєвих недоліків. По перше, це складність розрахунку. Необхідно обробляти тисячі одиниць обладнання для великої кількості технологічних операцій. Навіть при застосуванні спеціальних комп'ютерних програм треба «вручну» вводити багато вихідних даних для розрахунків. По друге, існуюча недостатня точність розрахунків, пов'язана зі збором і накопиченням вихідних даних. По третє, отримання результатів розрахунків через тривалий час після виконання відповідних технологічних заходів, тобто недостатня оперативність. І найбільш важливий недолік існуючого методу визначення обсягів витрат природного газу на власні потреби ГТС – це неможливість порівняння отриманих резуль-

татів з даними, отриманими при подібних режимно-технологічних умовах за інший період часу.

При цьому, на даний час зібраний великий статистичний матеріал щодо параметрів потоку газу, які характеризують режим роботи ГТС у цілому і окремих її структурних підрозділів. А саме:

- обсяг газу, що надійшов до системи;
- обсяг транзитного газу;
- витрати газу на виробничо-технологічні потреби (паливний газ ГПА і технологічні витрати);
- газ, що надійшов до споживачів;
- похибка розрахунку балансу газу;
- запас газу в трубах;
- узагальнений показник вхідного тиску;
- кількість пусків і зупинок ГПА.

У даній роботі ставиться завдання: на підставі обробки статистичних даних визначити перелік режимно-технологічних параметрів, що впливають на обсяги використання газу на технологічні потреби і встановити функціональну залежність між ними. Це дозволить прогнозувати витрати газу на виробничо-технологічні потреби, а також оперативно контролювати поточні величини шляхом їх порівняння зі середньостатистичними значеннями витрат при подібних режимно-технологічних параметрах.

Виклад основного матеріалу. У даний час в базі даних програмного комплексу [7] ведеться автоматизований облік таких режимно-технологічних параметрів ГТС: обсягів надходження і споживання газу, зміни запасу газу в трубопроводі, температури зовнішнього середовища, кількості пусків і зупинок ГПА, узагальненого показника вхідного тиску по КС, обсягів витрат газу на виробничо-технологічні потреби та ін. Ці дані накопичені за період з 2000 року.

Природа технологічних витрат (ТВ) та особливості даних визначили необхідність застосування статистичних методів для їх дослідження [8]. Основою методу дослідження є моделі, тобто залежності, що відображують зв'язок між обсягом ТВ і значеннями експлуатаційних факторів в умовах недостатності та невизначеності даних.

Для установлення залежності обсягу ТВ від режимно-технологічних параметрів та оцінювання міри залежності був застосований метод кореляційного аналізу [9].

Для ГТС у цілому та її підрозділів – управлінь магістральних газопроводів (УМГ) за допомогою формули Пірсона було обчислено значення коефіцієнтів кореляції між режимно-технологічними параметрами і обсягами технологічних витрат газу

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

де r_{xy} – значення коефіцієнта кореляції Пірсона; i – порядковий номер режимно-технологічного параметру в базі даних; x_i – значення режимно-технологічного параметру; y_i – значення обсягу технологічних витрат газу; $\bar{x}$ – оцінка математичного очіку-

вання (середнє значення) по x ; $\bar{y}$ – оцінка математичного очікування (середнє значення) по y .

Отримане значення коефіцієнта кореляції відображає міру лінійної залежності обсягу технологічних витрат газу від низки режимно-технологічних параметрів транспортування, розподілу і зберігання газу. У загальному випадку абсолютна величина коефіцієнта кореляції може становити від 0 (цілком незалежні фактори) до 1 (детермінований функціональний зв'язок).

За результатами кореляційного аналізу було виконано ранжирування факторів. Фактори, для яких значення коефіцієнта кореляції більше ніж 0,7 були віднесені до визначальних; 0,5÷0,7 до значущих; менше ніж 0,5 до незначущих. Ранжирування факторів за результатами кореляційного аналізу показало, що серед доступних для аналізу факторів основним визначальним є обсяг споживання газу. Другим за значенням є температура навколишнього середовища. Третім і четвертим за значенням є узагальнена кількість пусків та зупинок ГПА.

Також було виконано кореляційний аналіз зв'язку факторів між собою. Дослідження показали, що коефіцієнта кореляції середньої температури зовнішнього повітря й обсягу споживання газу складає від 0,7 до 0,95. Тобто споживання газу практично детерміновано температурою. Таким чином, обсяг споживання не є незалежним і зв'язаний з обсягом технологічних витрат через температуру навколишнього середовища. Отже, обсяг споживання – надлишковий фактор і може бути виключений з переліку супутніх параметрів.

Кореляційний аналіз показав, що наявні режимно-технологічні параметри (фактори) зв'язані з обсягом ТВ і можуть бути використані для побудови моделі, як математичної залежності технологічних витрат від режимно-технологічних факторів.

Метод визначення очікуваного та граничних значень ТВ застосовується для вирішення наступних задач:

- контролю достовірності визначення обсягу технологічних витрат газу;
- прогнозування обсягу технологічних витрат газу.

Вирішення задач контролю достовірності обсягу ТВ, отриманого за [5] вимагає побудови математичних виразів залежності не лише очікуваного обсягу технологічних витрат VTB , але й їх мінімального і максимального граничних припустимих обсягів VTB_{min} і VTB_{max} відповідно. Тобто задачу визначення можливих граничних значень ТВ газу можна сформулювати, як задачу визначення математичного вигляду функцій V , V_1 , V_2 від вектору незалежних режимно-технологічних факторів x :

$$\begin{aligned} VTB &= V(x); \\ VTB_{min} &= V_1(x); \\ VTB_{max} &= V_2(x). \end{aligned} \tag{2}$$

Проаналізовано можливі методи побудови шуканих залежностей. Результатом дослідження було обрання методу множинного регресійного аналізу, що відповідає умовам поставленої задачі. Множинний регресійний аналіз є методом статистичного аналізу, що призначений для визначення аналітичної залежності між однією залежною змінною і кількома незалежними на основі низки відомих значень цих змінних, отриманих з можливою помилкою.

Регресійні залежності дозволяють визначати достовірні очікувані значення величин технологічних витрат і довірчих інтервалів. Результатом аналізу значень коефіцієнтів кореляції є установлення факту залежності обсягу ТВ від вище наведених режимно-технологічних факторів.

Шукана залежність представляється як наперед заданий аналітичний вираз, що має кілька невідомих параметрів-коефіцієнтів:

$$V_{TB} = \alpha + \sum_i \alpha_i x_i, \quad (3)$$

де α , α_i – параметри множинної регресії.

У регресійному аналізі побудова шуканих математичних залежностей полягає у знаходженні найкращих коефіцієнтів регресії за допомогою розробленої процедури [9,10] за критерієм мінімуму суми квадратів різниці між даними та розрахованим значенням залежної змінної:

$$S = \sum_{j=1}^n (V_{TB} - f(\alpha_i, x_i))^2 \rightarrow \min. \quad (4)$$

Множинна регресійна залежність очікуваного обсягу ТВ від режимно-технологічних факторів має такий вигляд:

$$V_{TB} = \alpha + \alpha_1 \cdot V_T + \alpha_2 \cdot t_{нов} + \alpha_3 \cdot N_{пуск} + \alpha_4 \cdot N_{зуп}, \quad (5)$$

де α_{1+i} – параметри множинної регресії; V_T – обсяг транспортованого газу; $t_{нов}$ – температура навколишнього середовища; $N_{пуск}$ – кількість пусків ГПА; $N_{зуп}$ – кількість зупинок ГПА.

Для кожного УМГ розраховано регресійні моделі з визначенням очікуваного та двох граничних значень обсягів ТВ – мінімально і максимально можливих.

Залежності мінімальної і максимальної величини обсягу ТВ визначаються як верхня і нижня границя σ – довірчих інтервалів, тобто, як функція регресії $f \pm \sigma$:

$$\begin{aligned} V_{TB \min} &= f(x) - \sigma, \\ V_{TB \max} &= f(x) + \sigma. \end{aligned}$$

Рівняння залежності мінімального і максимального обсягу ТВ від значущих режимно-технологічних параметрів:

$$\begin{aligned} V_{TB \min} &= \alpha_{\min} + \alpha_1 \cdot V_T + \alpha_2 \cdot t_{нов} + \alpha_3 \cdot N_{пуск} + \alpha_4 \cdot N_{зуп}, \\ V_{TB \max} &= \alpha_{\max} + \alpha_1 \cdot V_T + \alpha_2 \cdot t_{нов} + \alpha_3 \cdot N_{пуск} + \alpha_4 \cdot N_{зуп}, \end{aligned} \quad (6)$$

де $\alpha_{\min} = \alpha - \sigma$ параметр множинної регресії мінімального граничного значення технологічних витрат; $\alpha_{\max} = \alpha + \sigma$ параметр множинної регресії максимального граничного значення технологічних витрат

Значення обсягу ТВ, розрахованих за регресивною моделлю застосовуються для контролю величин технологічних витрат, що отримані під час розрахунків.

Перевірка належності фактичного розрахованого обсягу ТВ до довірчого інтервалу від мінімального до максимального граничних обсягів показує що розрахунок достовірний, якщо виконуються умови:

$$V_{TB} > V_{TB \min},$$

$$V_{TB} < V_{TB \max}.$$

Якщо умови не виконуються і значення обсягу технологічних витрат газу виходять за припустимі межі, то розрахунок ТВ є недостовірним. У цьому випадку необхідно встановити цього, а саме:

- перевірити розрахункові дані;
- перевірити розрахункові формули;
- проаналізувати наявність додаткових факторів впливу на результати розрахунку.

Прогнозування обсягів технологічних витрат за допомогою розробленого методу дозволяє отримувати не лише очікувані середні значення технологічних витрат, а й достовірні їх граничні значення. Прогнозування обсягів ТВ вимагає попередньої підготовки очікуваних значень режимно-технологічних факторів на період прогнозування. Такими можуть бути планові або прогнозні значення параметрів. У випадку їх відсутності необхідно використовувати середні значення за відповідні періоди у минулому. У результаті дослідження можна зробити висновок, що визначення прогнозованих технологічних витрат газу і належності фактичних розрахованих до припустимих меж є суттєвим фактором підвищення загального результату – ефективності роботи газотранспортної системи.

Для оцінки вірогідності результатів, отриманих за формулою (6) були проведені числові дослідження. Проведено 150 розрахунків обсягу технологічних витрат газу за вихідними даними, обраними за останні 5 років для ГТС у цілому. Результати зіставлялися зі значеннями ТВ, що були визначені традиційним шляхом [5]. У 73 % випадків розбіжність результатів складала 5–7 %. Це свідчить про те, що пропонується наближений метод достатньо вірно описує зміни обсягів ТВ від режимно-технологічних факторів роботи газопроводів.

У 27 % випадків результати відрізнялись на 20 % і більше. У тому числі в 7 випадках результати відрізнялись на 60–70 %. Це може свідчити про помилки при розрахунках або порушенні регламенту здійснення обліку технологічних витрат природного газу.

Висновки

1. Розроблено наближений метод розрахунку обсягів технологічних витрат природного газу в залежності від режимно-технологічних параметрів експлуатації газопроводів газотранспортної системи.

2. Розроблений метод дозволяє прогнозувати очікуваний обсяг технологічних витрат газу в залежності від режиму роботи газопроводів..

3. Розроблений метод дозволяє здійснювати оперативний контроль щодо достовірності обсягів технологічних витрат газу, що були отримані розрахунковим шляхом.

Література

1. ДСТУ 336-96 Лічильники газу побутові.
2. ДСТУ EN 12261:2006 Лічильники газу турбінні. Загальні технічні умови.
3. ДСТУ EN 12405:2006 Коректори до лічильників газу електронні. Загальні технічні умови.
4. ДСТУ EN 12480:2006 Лічильники газу роторні. Загальні технічні умови.
5. Визначення обсягів витрат природного газу на виробничо-технологічні потреби під час його транспортування газотранспортною системою та експлуатації підземних сховищ. – К.: ДК «Укртрансгаз» – 2012. – 60 с.
6. Дияк И. Энергосбережение: сегодняшние реалии // Электронный журнал «Экологические системы». – №6. – июнь 2008.
7. Маляренко В.А., Ильченко М.Б. Снижение энергозатрат при эксплуатации газотранспортных систем путем автоматизации их учета Х.– Коммунальное хозяйство городов.– № 134 (2017).– С. 27–33.
8. Маляренко В.А., Ильченко М.Б. Режимно-технологічні параметри для оцінки вірогідності розрахунку балансу газу в газотранспортній системі В.А. Маляренко, М.Б. Ильченко//Комунальне господарство міст. – 2017. – № 135.– С. 100–107.
9. Афифи А., Эйзен. С. Статистический анализ / А. Афифи, С. Эйзен // М. – Мир.– 1982. – 488 с.
10. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ / Дж. Себер // М. – Мир.– 1980. – 456 с.

Bibliography (transliterated)

1. DSTU 336-96 Lichil'niki gazu pobutovi.
2. DSTU EN 12261:2006 Lichil'niki gazu turbinni. Zagal'ni tekhnichni umovi.
3. DSTU EN 12405:2006 Korektori do lichil'nikiv gazu elektronni. Zagal'ni tekhnichni umovi.
4. DSTU EN 12480:2006 Lichil'niki gazu rotorni. Zagal'ni tekhnichni umovi.
5. Vznachennya obsyagiv vitrat prirodnogo gazu na virobnicho-tekhnologichn potrebi pid chas jogo transportuvannya gazotransportnoyu sistemoyu ta ekspluatacii pidzemnih skhovishch. – K.: DK «Ukrtransgaz» – 2012. – 60 p.
6. Diyak I. Energoberezhenie: segodnyashnie realii // Elektronnyj zhurnal «Ekologicheskie sistemy». – №6. – iyun' 2008.
7. Malyarenko V.A., Il'chenko M.B. Snizhenie ehnergozatratt pri ehkspluatacii gazotransportnyh sistem putem avtomatizacii ih ucheta H.– Kommunal'noe hozyajstvo gorodov.– № 134 (2017).– P. 27–33.
8. Malyarenko V.A., Il'chenko M.B. Rezhimno-tekhnologichni parametri dlya ocinki virogidnosti rozrahunku balansu gazu v gazotransportnij sistemi V.A. Malyarenko, M.B. Il'chenko//Komunal'ne gospodarstvo mist. – 2017. – № 135.– P. 100–107.

9. Afifi A., EHjzen. S. Statisticheskij analiz / A. Afifi, S. EHjzen // М. – Mir.– 1982. – 488 p.
10. Seber Dzh. Linejnyj regressionnyj analiz / Dzh. Seber // М. – Mir.– 1980. – 456 p.

УДК 621.165

Малярєнко В.А., Ильченко М.Б.

**ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ЗАТРАТ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НУЖДЫ
ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ**

Представлен анализ структуры и способов определения составляющих затрат природного газа на производственно-технологические нужды при эксплуатации газотранспортной системы. Отмечается существующая на практике высокая трудоемкость расчетов и недостаточная достоверность исходных данных. Описан новый подход приближенного определения технологических затрат газа, использующий информационную модель, построенную на основе методов регрессионного анализа.

Модель устанавливает зависимость расхода газа на технологические нужды от режимно-технологических параметров работы газопроводов. Степень их влияния на величину технологических затрат определена с помощью корреляционного анализа.

Полученные зависимости позволяют оперативно осуществлять контроль достоверности технологических затрат газа и прогнозировать их значения в зависимости от режима работы газопроводов.

Malyarenko V., Ilchenko M.

**APPROXIMATE METHOD OF CALCULATION OF NATURAL GAS
EXPENSES FOR INDUSTRIAL AND TECHNOLOGICAL NEEDS
OF GAS TRANSPORTATION SYSTEM**

The analysis of the structure and methods of determining the components of natural gas expenses for industrial and technological needs in the operation of the gas transportation system is presented. The existing high practical complexity of calculations and insufficient reliability of the initial data are noted. A new approach to the approximate determination of technological gas expenses is described, using information model, which based on regression analysis methods.

The model establishes the dependence of gas consumption on technological needs on the regime-technological parameters of the operation of gas pipelines. The degree of their influence on the value of technological costs is determined by means of correlation analysis.

The obtained dependencies will allow to quickly check the reliability of technological costs of gas and predict their values depending of the regime operation of gas pipelines.

УДК 622.691.4

Тимків Д.Ф., Горін П.В., Романова В.В.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИСТКИ ШЛЕЙФІВ СВЕРДЛОВИН

Мета. Метою даної роботи є отримання моделі руху еластичного полімерного поршня через порожнину шлейфа свердловини і визначення періодичності очистки діючих шлейфів.

Методи дослідження. Формування фізичної моделі поршня із полімерного матеріалу з густиною, необхідною для його руху у вигляді пробки, що виштовхуватиме накопичену рідину із внутрішньої порожнини трубопроводу різного призначення. Фізичне моделювання протягом обраного періоду процесу руху пружно-полімерної композиції з 1,5 % вмістом полімеру, яку для надання їй форми розміщено в нещільному синтетичному матеріалі, через порожнину моделі шлейфу свердловини, змонтовану з скляних труб малого діаметру.

Наукова новизна. Експериментально отримано рівняння регресії, що описує час проходження поршня через порожнину модельного трубопроводу, дані якої апроксимовано для фактичних умов експлуатації шлейфів свердловин. Впровадження запропонованої моделі на діючих шлейфах свердловин автоматизує процес їх періодичної очистки від накопичених забруднень різних типів за рахунок отримання часових моделей відкриття відповідної запірної арматури на блоці вхідних ниток від шлейфів свердловин на установку.

Практична значимість. Зменшення виробничо-технологічних витрат на продування шлейфів свердловин від накопичених забруднень рідинного та суспендованого типу, підвищення обсягів вилучення вуглеводневої продукції з свердловин для родовищ, що розробляються в газовому режимі на виснаження при низькому робочому тиску, підвищення надійності експлуатації газозбірних мереж в цілому за рахунок нівелювання впливу чинника можливих залпових перерозподілів рідини в системі «гирло свердловини – шлейф – установка підготовки газу». Крім того, оскільки для газоконденсатних родовищ одним із основних забрудників є вуглеводнева рідина, впровадження заходу дозволить підвищити обсяги відокремлення суміші легких вуглеводнів в сепараційному обладнанні установок попередньої і комплексної підготовки газу.

Результати. Зменшення обсягів втрат природного газу під час його видобування, збору і підготовки, зменшення імовірності виникнення аварійних ситуацій, збільшення обсягів видобутку газу.

Постановка проблеми та стан її дослідження. Найчастіше стабілізація видобутку природного газу передусім пов'язана із пошуком резервів робочого тиску свердловин, варіації зменшення величини якого дозволять збільшити різницю між пластовим тиском та тиском на гирлі свердловини, викликаючи додатковий приплив газу. З цією метою вводяться в експлуатацію дотискувальні компресорні станції, знаходяться та залучаються до низьконапірної мережі газопостачання нові потужні споживачі природного газу, очищуються газопроводи та шлейфи свердловин, замінюється обладнання ус-

тановок збору і підготовки газу, удосконалюється сам процес підготовки газу тощо [1]. Будь-який із перелічених заходів спрямовано на зниження величини робочого тиску свердловин. Але слід зважати і на процес перерозподілу мас рідини та інших типів забруднень в ланках системи «свердловина – шлейф – установка збору і підготовки газу – промисловий газопровід», що постійно змінює втрати тиску на транспортування газу власного видобутку, негативно позначаючись на величині робочого тиску свердловин родовища [2].

На даний момент операції по звільненню від накопичених стовпів рідини в порожнині ліфтових труб та шлейфах проводяться [3]:

- 1) продуванням трубного простору свердловини;
- 2) продуванням затрубного простору свердловини;
- 3) закачуванням піноутворювача ПАВ типу «Сольпен» з подальшим продуванням;
- 4) продуванням шлейфу на геологічний сепаратор на установку збору і підготовки газу;
- 5) очистка шлейфів за допомогою пін (поодинокі випадки);
- 6) розріз труби із втручанням газу в атмосферу;
- 7) закачуванням метанолу (в умовах гідратоутворення).

Переважає більшість із цих заходів призводить до простого перерозподілу мас рідини між ділянками системи, адже під час продувки (або створення умов для високошвидкісного газового потоку) зменшення об'єму рідинної пробки відбувається лише до якогось певного нормального значення. При цьому чим довше експлуатується свердловина, чим менший тиск на гирлі свердловини, чим менша її потужність, тим менше можливості впливати на її локацію за допомогою високошвидкісного потоку газу.

Застосування піноутворювачів для створення та подальшого проштовхування під дією робочого тиску свердловини або компресорним способом пінної пробки вимагає визначених параметрів очистки (щонайменше стабільну без суттєвих коливань лінійну швидкість руху пінної пробки (поршня) в межах 2–4 м/с), що відповідатиме її цілісності і роботі в якості проштовхуючого поршня [4].

Зважаючи на те, що на даний момент в галузі немає ефективного методу підвищення ефективності роботи шлейфів та зниження негативного впливу забруднень рідинного та твердого типу на величину робочого тиску свердловин на завершальній стадії експлуатації, ми пропонуємо в якості технічного рішення розробку пружного рідинного поршня та технології очистки шлейфів свердловин за його допомогою.

У статті представлені результати експериментальних досліджень процесу очищення шлейфу свердловини за допомогою еластичних полімерних поршнів з саморуйнуючою оболонкою. Розраховано і апроксимовано до реальних умов експлуатації час проходження пружно-полімерної композиції через порожнину трубопроводу і обсяг забруднень, що видаляються з шлейфу в процесі очищення.

Вибір чинників для дослідження стійкості пружно-полімерної композиції та характеру її роботи в порожнині шлейфу має в першу чергу базуватися на апріорній інформації, тобто інформації, що базується на власному досвіді дослідників. Саме тому перед дослідженням характеру очистки внутрішньої порожнини шлейфів свердловин за допомогою пружно-полімерної композиції дослідниками виконано попередні (апріорні) дослідження.

Метою даної роботи є отримання моделі руху еластичного полімерного поршня через порожнину шлейфа свердловини і визначення періодичності очистки діючих шлейфів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати дві основні задачі:

1. Створення фізичної моделі поршня із полімерного матеріалу з густиною, необхідною для його руху у вигляді пробки, що виштовхуватиме накопичену рідину із внутрішньої порожнини трубопроводу різного призначення.

2. Постановка експерименту на фізичній моделі для визначення часу проходження пружно-полімерної композиції через порожнину трубопроводу шлейфа.

Методика проведення досліджень. Для практичної реалізації поставлених задач виготовлено пружно-полімерні композиції наступного складу. В таблиці 1 представлено характер поведінки композиції в порожнині моделі шлейфу, що визначено під час проведення попередніх експериментальних досліджень

Таблиця 1 – Характеристика полімерів, які використано для створення пружно-полімерної композиції

№	Полімерна композиція, мас. %.	Густина, кг/м ³	В'язкість за Брукфільдом, СПз	Характер поведінки композиції
1	0,5	1025	86	Руйнується під дією газового потоку, поводить себе як рідина
2	1,0	1030	92	Руйнується під дією газового потоку, розпадається на частини, що переміщуються через внутрішню порожнину труби
3	1,5	1030	99	Частково зберігає форму, веде себе як пробка
4	2,0	1035	104	Поводить себе як не ньютонівська рідина, розпадається на окремі желеподібні частини
5	2,5	1040	116	Розпадається на окремі желеподібні частини, погано переміщується у внутрішній порожнині

За характером поведінки для подальших досліджень обрано зразок №3, але оскільки під дією потенціальної енергії газу, композиція втрачає форму прийнято рішення використати допоміжні засоби для сприяння композиції поводити себе в якості суцільного об'єкту (поршня) в порожнині шлейфа.

В якості допоміжних засобів використано такі речовини і об'єкти, таблиця 2. Характер поведінки допоміжних засобів досліджено на найбільш екстремальних режимах з точки зору розробки родовищ на завершальній стадії (низький робочий тиск, величина якого прямує до атмосферного, низький дебіт, що відповідає швидкості руху газу до 0,5 м/с).

Отже, виходячи із аналізу апіорної інформації та попередніх досліджень, під час планування експериментальних досліджень використано об'єкт досліджень: пружно-полімерна композиція з 1,5 % вмістом полімеру, яку розміщено в нещільному синтетичному матеріалі, що руйнується за певний проміжок часу, для надання композиції форми.

Таблиця 2 – Допоміжні засоби для пружно-полімерної композиції

№	Назва	Характер застосування	Характер поведінки під час руху	Забезпечення надання композиції форми
1	Самоущільнювальна манжета	Розміщується перед композицією і діє в якості поршня під впливом тиску газу	Застригає в запірній (нерівно прохідній) арматурі та в місцях ущільнень та переходів	частково забезпечує
2	Поршень губкового або поролонового типу	Те саме	Застригає в місцях ущільнень та місцевих звужень	частково забезпечує
3	Оболонка із нещільного синтетичного матеріалу	Пружно-полімерна композиція розміщується в оболонку після чого запасовується через вузол вводу в порожнину моделі шлейфу	Рухається без зупинок через порожнину шлейфу, не застригає, під час руху частки композиції проходять через нещільності матеріалу змащуючи стінки труби і забезпечуючи гладкостінний рух моделі	забезпечує

Відповідно до програми та методики проведення експериментальних досліджень завданням математичного моделювання є визначення:

– часу проходження пружно-полімерної композиції через порожнину трубопроводу, с;

– коефіцієнта очистки порожнини труби від накопичених забруднень.

За результатами проведення експерименту необхідно знайти математичну модель об'єкта дослідження, під якою розуміють рівняння, що зв'язує показники процесу з чинниками, що діють на нього $y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Для випадку, що розглядається:

$$t = f(V_{\text{забр}}, q, \rho_{\text{забр}}),$$

де t – час проходження пружно-полімерної композиції через порожнину трубопроводу, с; $V_{\text{забр}}$ – об'єм забруднень різного типу в порожнині трубопроводу, дм^3 ; q – продуктивність свердловини, $\text{дм}^3/\text{с}$; ρ – густина забруднень, $\text{кг}/\text{дм}^3$.

Виклад основного матеріалу. Дослідження спрямовано на отримання рівняння регресії, що адекватно описує вплив усіх значимих чинників на функцію відгуку із найменшою похибкою [5].

Час проходження пружно-полімерної композиції через внутрішню порожнину трубопроводу із гладкою поверхнею внутрішньої стінки труби за результатами експериментальних досліджень можна описати регресійною моделлю, що має наступний вигляд

$$\frac{t}{l} = 16,24 - 0,81\omega(q) + 0,84V_{забр} + 0,85\rho_{забр}, \text{ (с/дм)}. \quad (1)$$

В цьому рівнянні швидкість руху газового потоку в трубопроводі регулювалась за допомогою крану в кінцевій точці шляхом його відкриття-закриття.

В реальних умовах експлуатації, зокрема шлейфів свердловин, лінійна швидкість газу залежить від режиму роботи свердловини (робочого тиску, температури і дебіту), а також від технічної характеристики труби [6]:

$$\omega = \frac{q}{F} \cdot \frac{z \cdot T \cdot P_0}{P \cdot z_0 \cdot T_0} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1,033 \cdot q \cdot z \cdot T}{1 \cdot 273,15 \cdot P \cdot d^2} = 5,575 \cdot 10^{-4} \frac{q \cdot z \cdot T}{P \cdot d^2}, \text{ (дм/с)}, \quad (2)$$

де P_0, T_0, z_0 – тиск, температура і коефіцієнт стиснення газу в нормальних умовах; P, T, z – тиск (кгс/см²), температура (К) і коефіцієнт стиснення газу в реальних умовах експлуатації; q – дебіт свердловини, тис. м³/добу.

Об'єм забруднень, що накопичено в трубопроводі запишемо, як [7]:

$$V_{забр} = a \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot L, \text{ (дм}^3\text{)}, \quad (3)$$

де D, L – геометричні параметри шлейфа: внутрішній діаметр і довжина, відповідно, дм; a – прийемо як коефіцієнт, що характеризує ступінь заповнення геометричного об'єму газопроводу рідиною, і визначається за формулою:

$$a = 0,2513 - 0,2099E - 0,09083i + 0,641875(1 - E)(1 - i), \quad (4)$$

де E – коефіцієнт гідравлічної ефективності шлейфа, частки одиниці; i – гідравлічний похил висхідних ділянок шлейфа свердловини до горизонту, рад.

Реальний час проходження 1 дм через порожнину обраного для експериментальних досліджень трубопроводу із гладкою внутрішньою поверхнею становив:

$$t = (16,24 - 0,81\omega(q) + 0,84V_{забр} + 0,85\rho_{забр}) / 60,30, \text{ (с)}. \quad (5)$$

Згідно із результатами звіту про проведення експериментальних досліджень час проходження через внутрішню порожнину трубопроводу із жорсткою стінкою, опір якої моделювався шляхом розміщення певного об'єму бориту в трубі, збільшується вчетверо. Враховуючи це, та підставляючи формули (2) і (3) в формулу (5) отримаємо час проходження пружно-полімерної композиції через його порожнину для шлейфа певної довжини, дотримуючись критеріїв подібності:

$$t = \frac{2}{3} \cdot L \cdot (16,24 - 4,5 \cdot 10^{-4} \frac{q \cdot z \cdot T}{P \cdot d^2} + 210 \cdot a \cdot \pi \cdot d^2 \cdot L + 0,85 \cdot 10^{-3} \rho_{забр}), \text{ (с)}, \quad (6)$$

де L – довжина шлейфа свердловини, м; q – дебіт свердловини, тис.м³/добу; z – коефіцієнт стиснення газу, для інженерних або оціночних розрахунків – 0,96; T – температура газового потоку, К; P – тиск в досліджуваному перерізі шлейфу, для інженерних розра-

хунків – середній тиск в шлейфі свердловини [8], кгс/см²; d – внутрішній діаметр шлейфа свердловини, м; $\rho_{\text{забр}}$ – густина забруднень в порожнині трубопроводу (для оціночних розрахунків: для газових родовищ – вода густиною 1000 кг/м³, для газоконденсатних і нафтових родовищ – конденсат або багатофазова суміш з густиною – від 680 до 840 кг/м³, для родовищ на завершальній стадії експлуатації із наявністю в забрудненнях значної маси твердих домішок (глини, піску) зважених в потоці рідини – глинисто-водяна суспензія густиною 1100 кг/м³) [9].

Формула (6) дає змогу оцінити час проходження полімерно-пружної композиції в якості очисного поршня від гирла свердловини до блоку входних ниток на УКПГ, враховуючи рельєф траси шлейфа, забруднення його внутрішньої порожнини і їх тип та режим роботи свердловини, що в підсумку дасть змогу вчасно закрити засувку на вході свердловини в УКПГ і відкрити засувку для продувки на амбар, в якому уловлюватимуться залишки забруднень і поршень. Час саморуйнування оболонки для пружно-полімерної композиції має бути не меншим за розрахований час за рівняннями регресії.

Ефективність заходів з очистки внутрішньої порожнини шлейфа свердловини за допомогою пружно-полімерної композиції оцінюють за коефіцієнтом очистки шляхом порівняння даних про гідравлічну ефективність шлейфа до і після проведення очисних операцій [2]:

$$k_{\text{оч}} = \frac{V_{\text{забр}}^{\text{до}} - V_{\text{забр}}^{\text{після}}}{V_{\text{забр}}^{\text{до}}}, \quad (7)$$

де $V_{\text{забр}}^{\text{до}}$, $V_{\text{забр}}^{\text{після}}$ – розрахунковий об'єм забруднень до і після проведення операцій по очистці шлейфа свердловини, що визначається за формулою (3) [7] відповідно до гідравлічної ефективності та рельєфу місцевості [10].

Таким чином, у статті представлені результати експериментальних досліджень процесу очищення шлейфу свердловини за допомогою еластичних полімерних поршнів з саморуйнуючою оболонкою. Розраховано і апроксимовано до реальних умов експлуатації час проходження пружно-полімерної композиції через порожнину трубопроводу і обсяг забруднень, що видаляються з шлейфу в процесі очищення.

Висновки. Технічним результатом застосування запропонованого способу очистки внутрішньої поверхні трубопроводів є зменшення втрат тиску між гирлом свердловини та установкою збору і підготовки газу, між іншими об'єктами газозбірної системи за рахунок досягнення високої ефективності очистки, що в підсумку призводить до збільшення пропускної здатності системи і можливості нарощування обсягів видобутку газу з родовищ.

Метод може отримати широке впровадження в Україні, де понад 80 % родовищ знаходяться на завершальній стадії розробки, розробляються на виснаження в газовому режимі із постійними зниження величини робочого тиску. Із плином часу саме втрати тиску в наземній частині стають визначальними для подовження терміну розробки родовища, можливості укрупнення об'єктів збору шляхом вибору оптимального місця встановлення дотискувальних компресорних станцій тощо. Наступним етапом в реалізації моделі є розробка технології її реалізації на діючих промислах із можливістю автоматизованого процесу запасування і приймання полімерних поршнів на гирлі свердловини і блоці входних ниток установок.

Література

1. Разработки и эксплуатация нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений / [Ш.К. Гиматулинов, И.И. Дунюшкин, В.М. Зайцев та ін.]. – Москва: Недра, 1988. – 302 с. – (Учебник для ВУЗов).
2. Зниження втрат тиску в системі газопроводів як один із чинників збільшення обсягів видобутку газу на родовищах / І.І. Капцов, С.О. Саприкін, М.І. Братах, В.Є. Співак. // Нафтова і газова промисловість. – 2009. – №2. – С. 58–59.
3. Бойко В.С. Довідник з нафтогазової справи / В.С. Бойко, Р.М. Кондрат, Р.С. Яремійчук., 1996. – 620 с. – (Львів).
4. Капцов И.И. Сокращение потерь газа на магистральных газопроводах / И.И. Капцов. – Москва: Недра, 1988. – 160 с.
5. Братах М.І. Динаміка рідинних формувань в порожнині міжпромислового газопроводу / М.І. Братах, І.М. Рузіна, А.В. Соболева. // Питання розвитку газової промисловості України. – 2009. – №37. – С. 287–293.
6. Довідник працівника нафтогазового підприємства / [В.В. Розгонюк та ін.], – Київ: Росток, 2001. – 1092 с.
7. Братах М.І. Спосіб визначення об'єму забруднень в порожнині газопроводів, що транспортують газ власного видобутку / Михайло Іванович Братах. // Збірник наукових праць «ДП Науканафто-газ». – 2007. – №5. – С. 628–634.
8. Дячук В.В., Бікман Є.С., Кисельова С.О. Проектування розробки і облаштування газових (газоконденсатних) родовищ: Навчальний посібник / За заг. ред. докт. техн. наук, професора Редько О.Ф. – Харків, БУРУНіК, 2009. – 304 с.
9. СОУ 09.1-30019775-246:2015 Методика визначення гідравлічного стану газопроводів системи збору та транспортування газу з родовищ ПАТ «Укргазвидобування»: наказ ПАТ «Укргазвидобування» № 347 від 05.10.2015 р. – 39 с.
10. Дячук В.В. Основи розробки та облаштування родовищ природних газів: Навчальний посібник/ За заг. ред. докт. геол.-мінер. наук, проф. Лур'є А.І. – Харків, ПП ФО Кирилюк Н.В., 2005. – 120 с.

Bibliography (transliterated)

1. Razrabotki i ehkspluatatsiya neftnyanyh, gazovyh i gazokondensatnyh mestorozhdenij / [SH.K. Gimatudinov, I.I. Dunyushkin, V.M. Zajcev ta in.]. – Moskva: Nedra, 1988. – 302 p. – (Uchebnik dlya VUZov).
2. Znizhennya vtrat tisku v sistemi gazoprovodiv yak odin iz chinnikiv zbil'shennya obsyagiv vidobut ku gazu na rodovishchah / I.I. Kapcov, S.O. Saprikin, M.I. Bratah, V.E. Spivak. // Naftova i gazova promislovist'. – 2009. – №2. – P. 58–59.
3. Bojko V.S. Dovidnik z naftogazovoї spravi / V.S. Bojko, R.M. Kondrat, R.S. YAreimijchuk., 1996. – 620 p. – (L'viv).
4. Kapcov I.I. Sokrashchenie poter' gaza na magistral'nyh gazoprovodah / I.I. Kapcov. – Moskva: Nedra, 1988. – 160 p.
5. Bratah M.I. Dinamika ridinnih formuvan' v porozhnini mizhpromislovogo gazoprovodu / M.I. Bratah, I.M. Ruzina, A.V. Soboleva. // Pitannya rozvitku gazovoї promislovosti Ukraїni. – 2009. – №37. – P. 287–293.
6. Dovidnik pracivnika naftogazovogo pidpriemstva / [V.V. Rozgonyuk ta in.], – Kiїv: Rostok, 2001. – 1092 p.

7. Bratah M.I. Sposib viznachennya ob'emu zabrudnen' v porozhnini gazoprovodiv, shcho transportuyut' gaz vlasnogo vidobutku / Mihajlo Ivanovich Bratah. // Zbirnik naukovih prac' «DP Naukanafto-gaz». – 2007. – №5. – P. 628–634.

8. Dyachuk V.V., Bikman Є.S., Kisel'ova S.O. Proektuvannya rozrobki i oblashtuvannya gazovih (gazokondensatnih) rodovishch: Navchal'nij posibnik / Za zag. red. dokt. tekhn. nauk, profesora Red'ko O.F. – Harkiv, BURUNiK, 2009. – 304 p.

9. SOU 09.1-30019775-246:2015 Metodika viznachennya gidravlichnogo stanu gazoprovodiv sistemi zboru ta transportuvannya gazu z rodovishch PAT «Ukrgezvidobuvannya»: nakaz PAT «Ukrgezvidobuvannya» № 347 vid 05.10.2015. – 39 p.

10. Dyachuk V.V. Osnovi rozrobki ta oblashtuvannya rodovishch prirodnih gaziv: Navchal'nij posibnik/ Za zag. red. dokt. geol.-miner. nauk, prof. Lur'e A.I. – Harkiv, PP FO Kirilyuk N.V., 2005. – 120 p.

УДК 622.691.4

Тымкив Д.Ф., Горин П.В., Романова В.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ШЛЕЙФОВ СКВАЖИН

В данной работе экспериментально получено уравнение регрессии, которое описывает время прохождения эластичного полимерного поршня через полость модельного трубопровода, данные которого аппроксимированы для фактических условий эксплуатации шлейфов скважин. Внедрение предложенной модели на действующих шлейфах скважин автоматизирует процесс их периодической очистки от накопленных загрязнений различных типов за счет получения временных моделей открытия соответствующей запорной арматуры на блоке входных ниток от шлейфов скважин на установку. Данный метод приведет к уменьшению объемов потерь и расхода природного газа во время его добычи, сбора и подготовки, а также к уменьшению вероятности возникновения аварийных ситуаций и увеличению объемов добычи газа.

Tymkiv D.F., Gorin P.V., Romanova V.V.

MODELING THE FLOW LINE PIGGING PROCESS

In this paper, the regression equation, which describes the transit time of the elastic polymer pig through the model pipeline, is experimentally obtained. The data of the above-mentioned equation is approximated for the actual conditions of operation of the flowlines. Implementation of the proposed model in existing flowlines will automate the process for periodic cleaning of various types of accumulated slugs by obtaining time-depending models for opening of the corresponding valves at the gathering station. This method will allow reduction of losses of natural gas during its gathering and processing, as well as the risk of potential accidents. It will also increase gas production.

Алексахін О.О., Єна С.В., Гордієнко О.П.

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНІХ ТЕПЛОВТРАТ ТРУБОПРОВОДАМИ РОЗГАЛУЖЕНИХ МЕРЕЖ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Однією із складових втрат теплоти у централізованих системах теплопостачання є втрати у мережах при транспортуванні теплоносія. Діючі нормативні матеріали, які регламентують величину втрат залежно від способу прокладання і діаметру трубопроводу, використовують при проектуванні для визначення параметрів теплової ізоляції [1]. В процесі експлуатації на магістральних ділянках теплових мереж регулярно проводять теплові випробування, метою яких є перевірка якості ізоляції. На розподільних мережах такі випробування, як правило, не проводять, хоча загальна довжина розподільних трубопроводів майже втричі більше довжини магістральних. Незважаючи на те, що середній діаметр трубопроводів мікрорайонних теплових мереж становить приблизно 133 мм, а середній діаметр теплових магістралей знаходиться у діапазоні від 600 до 1200 мм [2], загальні втрати при транспортуванні теплової енергії територією мікрорайонів приблизно на 20 % перевищують втрати на магістральних ділянках. Дослідне визначення втрат теплоти у мікрорайонах не проводять через складність оснащення мікрорайонних мереж вимірювальними приладами та організаційні труднощі. Обладнання будівель лічильниками теплової енергії, яке активно здійснюється останнім часом, забезпечує можливість також проводити вимірювання параметрів теплоносія, що надходить на теплові вводи окремих будівель, з подальшим обчисленням втрат теплоти трубопроводами мікрорайонної мережі. Однак тому, що у даний час, як правило, не всі будівлі мікрорайону забезпечені приладами обліку теплоспоживання, обчислення втрат теплоти на ділянках мережі за формулою (1) не можливе.

$$Q_d = G_d \cdot C_T (t_d' - t_d''), \quad (1)$$

де G_d – витрати теплоносія на розрахунковій ділянці; C_T – питома теплоємність теплоносія; t_d' , t_d'' – температура мережної води на вході до розрахункової ділянки та на виході з неї відповідно (за розрахункові ділянки при обчисленнях приймають фрагменти мережі з незмінними витратами теплоносія).

Реальний розподіл витрат теплоносія по довжині гілок теплової мережі має ступінчастий характер. У [3] запропоновано підхід до аналізу теплового стану мережі, який базується на заміні ступінчастого характеру зміни витрат монотонним. Залежно від характеристик мережі можливе використання лінійного або інших математичних законів для визначення зміни витрат теплоносія по довжині розгалуженої мережі. Авторами [3] запропоновано формули для визначення теплових втрат трубопроводами для законів розподілу витрат, що визначаються формулами (4)–(6). Розрахункові залежності для обчислення теплових втрат отримано з розв'язання диференційного рівняння, що описує зміну тепловмісту елементарної ділянки подавального трубопроводу теплової мережі.

$$C_T \cdot G(x) \cdot dt = -Q_{\Pi}, \quad (2)$$

де $G(x)$ – закон зміни витрат теплоносія по довжині теплопроводу; dt – зміна температури у межах елементарної ділянки трубопроводу.

Втрати теплоти в оточуюче середовище (Q_{Π}) визначено через питомі (лінійні) значення (q) нормативних втрат [4] з урахуванням фактичної різниці температур теплоносія та оточуючого середовища ($t - t_{оточ}$). Формула для теплових втрат на елементарній ділянці подавального трубопроводу має вигляд

$$Q_{\Pi} = \frac{q\beta(t - t_{оточ})}{\Delta t_n} dx_0, \quad (3)$$

де β – коефіцієнт для обліку теплових втрат конструктивними елементами мережі; Δt_n – різниця температур теплоносія та оточуючого середовища, яку було прийнято при нормуванні питомих втрат; $x_0 = x/L$ – відносна координата; L – довжина гілки мережі.

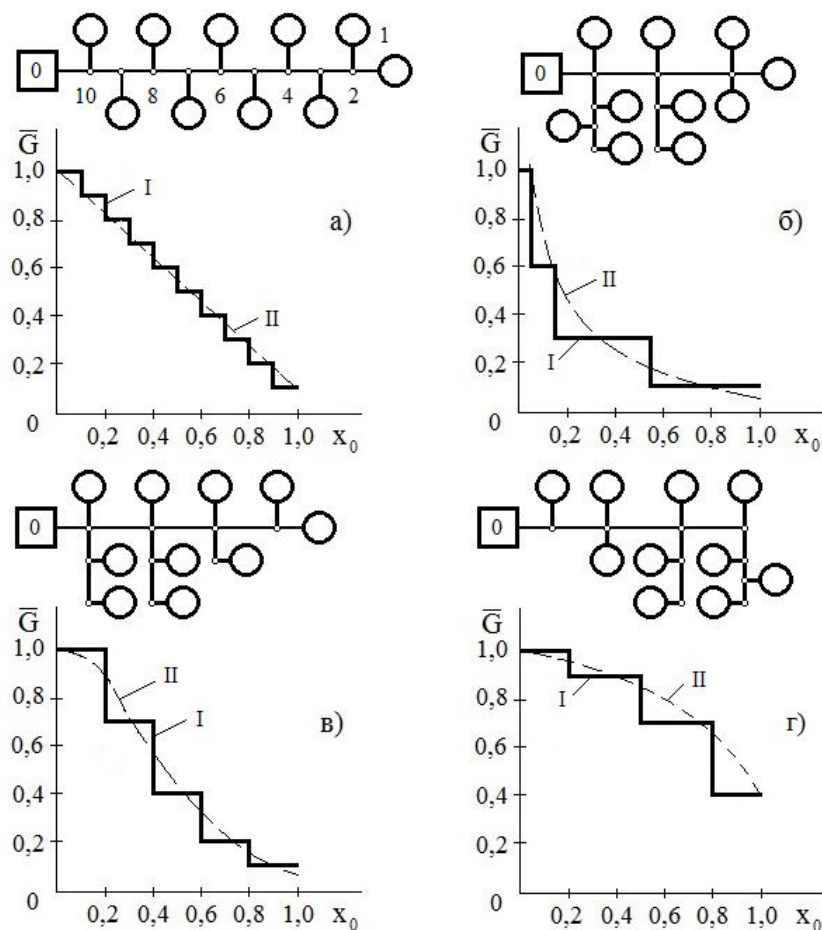


Рисунок 1 – Розрахункові схеми теплових мереж і зміна витрат теплоносія вздовж головної гілки мережі
 а – схема №1 (див. табл.1); б – схема №2; в – схема №3; г – схема №4; 0 – теплорозподільна станція; 1...10 – розрахункові точки; I – реальний закон зміни витрат; II – прийнятий закон

Тому що розв'язання диференційного рівняння (2) ускладнене, а іноді і неможливе для ряду законів зміни витрат теплоносія по довжині теплопроводу, метою роботи є оцінка точності визначення теплових втрат трубопроводами за допомогою формул, що отримані при заміні у рівнянні (2) диференціалів $\left(\frac{dt}{dx}\right)$ кінцевими різницями температур $\left(\frac{\Delta t}{\Delta x}\right)$ на окремих фрагментах гілки теплової мережі.

Таблиця 1 – Прийняті закони зміни витрат теплоносія і формули для обчислення теплових втрат

Розрахункова схема	Прийнятий закон зміни витрат теплоносія	Номер формули	Лінійні теплові втрати, Вт/м	Номер формули
1	$\bar{G} = 1 + ax_0$	(4)	$q = \frac{A \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x_0} (1 - ax_0)}{(t - t_{омоч})}$	(8)
2	$\bar{G} = (1 + bx_0^2)^{-1}$	(5)	$q = \frac{A \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x_0}}{(t - t_{омоч}) (1 + bx_0^2)}$	(9)
3	$\bar{G} = (1 + cx_0)^{-1}$	(6)	$q = \frac{A \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x_0}}{(t - t_{омоч}) (1 + cx_0)}$	(10)
4	$\bar{G} = m x_0^n$ $\bar{G} = G(x_0)/G_0$ G_0 – витрати теплоносія на вході до гілки; $G(x_0)$ – поточні витрати	(7)	$q = \frac{A \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x_0} \cdot m x_0^n}{(t - t_{омоч})}$ $A = \frac{G_0 \cdot C_T \cdot \Delta t_H}{m \cdot L}$	(11)

Прийняті у даній роботі схеми теплових мереж і закони зміни витрат теплоносія по довжині гілки наведено на рис. 1 і у табл. 1. Там же, у табл. 1 подано остаточний вигляд формул для обчислення втрат теплоти. Перевірку працездатності запропонованих формул здійснено для ідеалізованих груп будівель (рис. 1). Для розглянутих варіантів прийнято, що теплове навантаження мережі однакове і дорівнює 6,1 МВт. при витратах теплоти для опалення окремої будівлі 0,61 МВт. На першому етапі для кожної групи будівель за традиційними методиками обчислено зміну температури теплоносія по довжині гілки. Обчислення здійснено для умов прокладання трубопроводів у непрохідних каналах при нормативних питомих втратах теплоти, температурі мережної води на вході до гілки $\tau_1 = 90^\circ C$, температурі ґрунту на глибині вісі теплопроводів $t_{омоч} = 5^\circ C$, значенні коефіцієнта для обліку втрат теплоти у конструктивних елементах мережі $\beta = 1,15$ [4]. У подальшому обчислені значення температури мережної води у розрахункових точках мережі використано для визначення втрат теплоти на ділянках та гілці в

цілому. Винайдені теплові втрати порівнювали з вихідними, нормативними значеннями. Проаналізовано «чутливість» формул до підвищених понад норми втрат. Розглянуто рівномірний розподіл підвищених втрат теплоти по довжині гілки і варіанти концентрації понаднормативних втрат на різних частинах гілки (на початку гілки, на центральних ділянках, у кінці гілки). Прийняте перевищення лінійних втрат теплоти на гілці в цілому становило 10 %, 20 %, 30 %. При цьому локальне перевищення на окремих ділянках дорівнювало 50 % і більше. Співставлення вихідних значень питомих теплових втрат та результатів обчислень на ділянках гілки для схеми №1 при відсутності наднормативних втрат наведено у табл. 2. Середні по довжині питомі втрати теплоти обчислено за формулою

$$q_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n (q_i \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^n (l_i)}, \quad (12)$$

де q_i, l_i – питомі втрати теплоти та довжина розрахункових ділянок відповідно; n – кількість ділянок.

Таблиця 2 – Порівняння результатів обчислень при нормативних питомих втратах теплоти теплопроводами

Розрахункова ділянка	1-2	2-3	3-5	5-8	8-11	Середні на гілці втрати
Відносна довжина ділянки	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	
Тепловтрати, Вт/м: вихідні	52	57	66,25	71,67	78,67	69,25
розрахункові	52,66	54,94	71,7	72,58	76,11	69,7
Відмінність, %	1,3	-3,6	8,2	1,3	-3,25	0,7

Таблиця 3 – Порівняння результатів обчислень середніх по довжині втрат теплоти при рівномірному розподілі понаднормативних втрат

Показник	Розрахункова схема			
	1	2	3	4
Прийняте перевищення нормативних втрат	1,1	1,1	1,1	1,1
Обчислене перевищення втрат теплоти	1,03	1,09	1,02	1,15
Відмінність, %	-6,3	-0,9	-7,3	4,6
Прийняте перевищення нормативних втрат	1,2	1,2	1,2	1,2
Обчислене перевищення втрат теплоти	1,205	1,19	1,12	1,26
Відмінність, %	0,4	-0,8	-6,8	4,6
Прийняте перевищення нормативних втрат	1,3	1,3	1,3	1,3
Обчислене перевищення втрат теплоти	1,312	1,29	1,216	1,36
Відмінність, %	0,94	-0,77	-6,4	4,8

Співставлення результатів обчислень при рівномірному розподілі понаднормативних втрат по довжині теплопроводу для розглянутих схем мереж подано у табл. 3.

Наведені у табл. 2 і табл. 3 дані свідчать про задовільний збіг результатів обчислень зі значеннями теплових втрат, що були прийняті при визначенні вихідного розподілу температури теплоносія по довжині трубопроводу.

Проведено серію обчислень, метою яких була перевірка «чутливості» запропонованих формул до місця локалізації підвищених втрат теплоти. Як приклад на рис. 2 показано характер зміни тепловтрат по довжині гілки опалювальної мережі, який було прийнято для розрахункової схеми №1. Там же подано результати обчислень втрат теплоти на виділених фрагментах гілки та гілці в цілому. При якісному співпадінні співвідношенні заданого та обчисленого законів зміни втрат теплоти мають місце кількісні відмінності, на які помітно впливає ступінь розбіжності фактичного закону зміни витрат теплоносія та результатів його апроксимації. Аналогічно проведено аналіз точності використання запропонованих формул для інших прийнятих до уваги схем теплових мереж. Результати обчислення за формулами (8)–(11) подано у табл. 4. Середня похибка визначення питомих теплових втрат на гілці не перевищує 8,5 %, що слід вважати задовільним. Мінімальні значення похибки зафіксовано для лінійного закону зміни витрат теплоносія по довжині (не більше 2,5 %), максимальні – для розрахункової схеми №3. Для схем №1, №4 характерне завищення результатів, для схем №2, №3 – заниження. У порівнянні з результатами обчислень за формулами, які використані у [3] точність формул (8)–(11) помітно вище. Той факт, що відмінність результатів обчислень для варіантів, у яких понаднормативні втрати були відсутні, і варіантів з понаднормативними втратами приблизно однакова, свідчить, що точність обчислень головним чином залежить від точності апроксимації закону зміни витрат теплоносія по довжині гілки мережі.

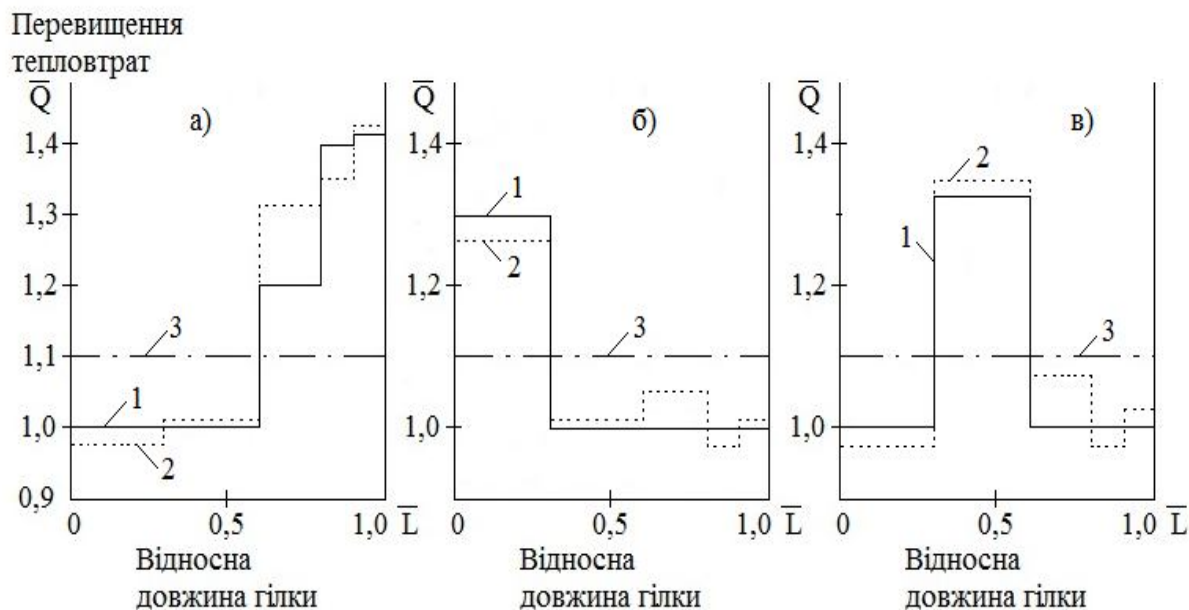


Рисунок 2 – Варіанти зміни вихідного перевищення нормативних тепловтрат на гілці (лінія 1) і результати обчислень (лінія 2) при середньому рівні понаднормативних втрат на гілці 10 % (схема №1)

а – при локалізації перевитрат на кінцевих ділянках; б – при локалізації перевитрат на вхідних ділянках; в – при локалізації перевитрат на центральних ділянках; 3 – середні на гілці втрати теплоти

Таблица 4 – Відмінність результатів обчислень середніх втрат теплоти, %

Схема	Вихідне перевищення нормативних теплових втрат, %									
	0	10			20			30		
		А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В
1	0,7	1,4	0,5	1,15	0,3	0,3	2,5	2,3	2,17	0,78
2	-1,3	0,8	-2,1	0,6	2,4	-2,6	-0,4	2,2	-4	0,9
3	-7,2	-6,7	-7	-6,6	-5,8	-8,1	-8,4	-5,1	-7,9	-6,9
4	4	5,6	4,17	4,9	6,0	4,1	4,9	6,5	4,1	5,9

Примітка. А – при локалізації наднормативних втрат на кінцевих ділянках, Б – на вхідних ділянках, В – при локалізації на центральних ділянках.

Висновки

1. Для ряду схем розгалужених теплових мереж запропоновано формули для визначення втрат теплоти подавальними трубопроводами.
2. Точність обчислень теплових втрат, яка суттєво залежить від точності апроксимації закону зміни витрат теплоносія по довжині трубопроводу, у проведеній серії обчислень не перевищувала 8,5%.
3. Запропоновані формули показали достатню «чутливість» до місця локалізації підвищених втрат теплоти теплопроводами.

Література

1. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарські потреби в Україні // Керівний технічний матеріал 204 України, 244-94. – 1995. – 636 с.
2. Шутенко Л.Н. Концепция оценки технического состояния городских инженерных систем и электрического транспорта г. Харькова / Л.Н. Шутенко, М.С. Золотов, Н.А. Шульга, В.А. Ткачев, В.Ф. Далека // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 2007. – Вып. 37. – С. 131–134.
3. Алексахин А.А. Расчет тепловпотерь подающими трубопроводами разветвленных тепловых сетей / А.А. Алексахин, С.В. Ена, Е.П. Гордиенко // Інтегровані технології та енергозбереження, – 2016. – № 1. – С. 45–50.
4. Тепловая изоляция. Справочник строителя / Под ред. Г.Ф. Кузнецова – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.

Bibliography (transliterated)

1. Normy ta vkazivky po normuvanniu vytrat palyva ta teplovoi enerhii na opalennia zhytlovykh ta hromadskykh sporud, a takozh na hospodarski potreby v Ukraini // Kerivnyi tekhnichnyi material 204 Ukrainy, 244-94. – 1995. – 636 p.

2. Shutenko L.N. Kontsepsiya otsenki tehnicheskogo sostoyaniya gorodskih inzhenernykh sistem i elektricheskogo transporta g. Harkova / L.N. Shutenko, M.S. Zolotov, N.A. Shulga, V.A. Tkachev, V.F. Daleka // Kommunalnoe hozyaystvo gorodov: nauch.-tehn. sb. – K.: TehnIka, 2007. – Vyip. 37. – P. 131–134.

3. Aleksahin A.A. Raschet teplopoter podayuschimi truboprovodami razvetvlennykh teplovykh setey / A.A. Aleksahin, S.V. Ena, E.P. Gordienko // IntegrovanI tehnologIYi ta energozberezheniya, – 2016. – # 1. – P. 45–50.

4. Teplovaya izolyatsiya. Spravochnik stroitelya / Pod red. G.F. Kuznetsova – M.: Stroyizdat, 1982. – 336 p.

УДК 658.264

Алексахин А.А., Ена С.В., Гордиенко Е.П.

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНИХ ТЕПЛОПОТЕРЬ ТРУБОПРОВОДАМИ РАЗВЕТВЛЕННОЙ СЕТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Для ряда законов изменения расхода теплоносителя по длине ветви подающих трубопроводов тепловой сети предложены формулы для вычисления потерь теплоты на участках разветвленных тепловых сетей. Выполнены оценки точности вычислений по предложенным формулам. Проведен анализ влияния места локализации повышенных тепловых потерь на средние по длине тепловотери.

Aleksakhin O.O., Yena S.V., Hordiienko O.P.

FEATURES OF ESTIMATION OF PIPELINES AVERAGE THERMAL LOSSES OF THE BRANCHED HEAT SUPPLY NETWORK

Formulas for calculating of heat losses of branched heat supply networks sections are proposed. Various characters of the water flow rate change along the length of the supply pipes branch of the heating network were considered. Estimation of the accuracy of the computations by the proposed formulas is given. Analysis of the influence of the increased heat losses localization on the length average heat loss is carried out.

Кобец Е.В., Загребельная Л.И.

ПРОВЕРКА УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ «ДВИГАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА – СТАБИЛИЗАТОР РЕЖИМА»

Одним из важных условий достижения энергосбережения системы является ее устойчивая работа. Рассмотрим некоторые аспекты устойчивости работы двигательной установки за счет исследования устойчивости стабилизатора режима непрямого действия.

Уравнение динамики исполнительной части стабилизатора режима непрямого действия имеет вид:

$$\delta \Delta \bar{p}_{p.o} = \delta \bar{p}_1 - \delta \bar{p}_2, \quad (1)$$

где $\bar{p}_{p.o}$ – давление на регулирующем органе; $\bar{p}_1$ – дискретное давление на входе; $\bar{p}_2$ – дискретное давление на выходе

Это уравнение при подстановке в него соотношения для определения передаточной функции командной части преобразователя имеет девятую собственную степень оператора.

Поскольку данное обстоятельство значительно усложняет проверку устойчивости рассматриваемого устройства, попытаемся понизить собственную степень оператора за счет упрощения системы уравнений, характеризующей его динамические свойства.

Учитывая, что стабилизатор работает в низкочастотном диапазоне колебаний, членами, стоящими при первых производных в уравнениях динамики и являющимися величинами малого порядка, можно пренебречь. Таким образом получим упрощенное линеаризованное уравнение динамики первичного преобразователя, представляя кавитационную трубку идеальным звеном и пренебрегая постоянной времени воздействия по первой производной от перемещения управляющего клапана:

$$\delta \dot{m}_{п_5} = \frac{1}{K_1} \delta \bar{p}_2, \quad (2)$$

где $m_{п_5}$ – массовый расход на выходе плунжера; K_1 – коэффициент кавитации.

В связи с малым уровнем трения на направляющих управляющего клапана, пренебрежем демпфированием:

$$\left(\frac{1}{v_{кл}^2} p^2 + 1 \right) \delta \bar{n} = -K_{кл} K_c \delta \dot{m}_{п_5}, \quad (3)$$

где $\bar{n}$ – осевое перемещение клапана; K_c – коэффициент усиления сильфона; $K_{кл}$ – коэффициент усиления клапана; $v_{кл}$ – кинематическая вязкость жидкости на клапане.

Допустимо избавиться и от члена, стоящего при первой производной в уравнении потерь для соединительного клапана:

$$\delta \Delta \bar{p}_m = K_{др} \delta \dot{\bar{m}}_y, \quad (4)$$

где p_m – давление в магистрали; m_y – расход управляющего клапана; $K_{др}$ – коэффициент усиления дросселя.

Изменение остальных уравнений, описывающих динамические свойства стабилизатора, может привести к разрыву параметрических связей между его основными элементами.

Используя соотношения (2), (3), (4) в ряде несложных математических преобразований получим упрощенный вид выражения, определяющего динамику командной части рассматриваемого устройства:

$$\delta \Delta \bar{p}_ж = - \frac{K_{к1} K_{кл} K_c}{K_1} \cdot \frac{D_{кл}^*(p)}{D_0(p)} \delta \bar{p}_2 - K_{к2} \delta \dot{\bar{m}}_y - \delta \bar{p}_{сл}, \quad (5)$$

где

$$D_{кл}^*(p) = \frac{K_{сл1}}{v_{кл}^2 (K_{сл1} + K_{y2} K_{кл})} p^2 + 1,$$

$$D_0(p) = \frac{1}{v_{кл}^2} p^2 + 1,$$

где $p_ж$ – давление жидкости; $K_{к1}$ – коэффициент кавитационного усиления; $p_{сл}$ – давление на сливе; $\dot{\bar{m}}_y$ – массовый расход через управляющий клапан; K_{y2} – коэффициент усиления на выходе управляющего клапана; $D(p)$ – собственный оператор; $K_{сл1}$ – коэффициент усиления на сливе.

Передаточная функция командного звена, определенная из зависимости (5) при условии, что отклонение давлений на сливе $\delta \bar{p}_{сл}$ и на входе в первичный преобразователь $\delta \bar{p}_2$ являются свободными параметрами, будет иметь вид сигнала усиления:

$$W_1(p) = \frac{\delta \Delta \bar{p}_ж}{\delta \dot{\bar{m}}_y} = -K_{к2}. \quad (6)$$

Проведенный анализ подтверждает возможность представить стабилизатор режима апериодическим звеном второго порядка.

$$W_c(p) = \frac{\delta \bar{H}}{\delta \Delta \bar{p}_ж} = \frac{K_c}{T_1 p^2 + T_2 p + 1}, \quad (7)$$

где H – осевое перемещение плунжера;

$$K_c = K_{п1} K_{п.п} (K_{д.п} + K_{y1} + K_{сл2}) \tau_{п.п};$$

T_1, T_2 – постоянные времени стабилизатора; $K_{п.п}$ – коэффициент усиления пружинной полости плунжера; $K_{д.п}$ – коэффициент усиления дроссельного пакета; $\tau_{п.п}$ – постоянная времени воздействия пружинной полости плунжера

$$T_1 = \frac{1}{v_{п}^2};$$

$$T_2 = 2 \frac{\xi_{п}}{v_{п}} + K_{п.п} (K_{д.п} + K_{y1} + K_{сл2}) \tau_{п.п},$$

где $\xi_{п}$ – коэффициент демпфирования плунжера.

При этом в выражении для определения T_2 составляющую, содержащую коэффициент демпфирования $\xi_{п}$, можно не учитывать.

Анализ устойчивости системы «двигательная установка–стабилизатор» проведем наиболее наглядным методом, исследуя амплитудно-фазовые характеристики. Для этого подставляя $p = u + i\omega$ в уравнение (7), получим выражение для определения амплитудно-фазовой характеристики стабилизатора с выделением вещественной и мнимой частей:

$$W_c(u + i\omega) = \frac{[T_1(u^2 - \omega^2) + T_2 u + 1] - i\omega(2T_1 u + T_2)}{[T_1(u^2 - \omega^2) + T_2 u + 1]^2 + \omega^2(2T_1 u + T_2)^2}, \quad (8)$$

где ω – круговая частота колебания.

Проведем анализ амплитудно-фазовой характеристики стабилизатора, рассчитанной с применением IBM в диапазоне частот $0 \leq \omega \leq 100\pi$. В связи с большим значением собственной недемпфированной частоты подвески плунжера исполнительной части $v_{п}$ коэффициент, стоящий при второй производной в уравнении передаточной функции, имеет малый порядок и практически не оказывает влияния на характер кривой амплитудно-фазовой характеристики, приближающейся к виду, описываемому уравнением колебательного звена первого порядка. Кроме того, результаты вычислений показали, что в диапазоне изменений перепадов давлений на управляющем клапане $\Delta p_y = 2,4517 \div 11,2776$ МПа и дроссельном пакете $\Delta p_{д.п} = 0 \div 8,8259$ МПа разброс амплитудно-фазовых характеристик вокруг кривой, соответствующей номинальному режиму работы стабилизатора ($\Delta p_y^* = 4,9033$ МПа; $\Delta p_{д.п}^* = 6,3743$ МПа) незначителен.

Проверка устойчивости системы «двигательная установка – стабилизатор режима непрямого действия», проведенная методом построения амплитудно-фазовых характеристик, подтвердила возможность успешного использования рассмотренного стабилизирующего устройства в контуре стабилизации режимных показателей двигательной установки.

Литература

1. Присняков В.Ф. Динамика жидкостных ракетных двигательных установок / В.Ф. Присняков. – М. : Машиностроение, 1983. – 248 с.
2. Борисенко А.И. Газовая динамика двигателей / А.И. Борисенко. – М. : Наука, 2002. – 793 с.
3. Seitz P.F. Space shuttle main engine control system / Seitz P.F., Searle R.F. // SAE Transactions. – 1973. – № 73. – P. 17.
4. Steam Bubble Cavitation / Mahulkar A.V., Bapat P.S., Pandit A.B., Lewis F.M. // AIChE Jurnal. – 2008. – Vol. 54. – №7. – P. 1711–1724.

Bibliography (transliterated)

1. Prisnyakov V.F. Dinamika zhidkostnyh raketnyh dvigatel'nyh ustanovok / V.F. Prisnyakov. – M. : Mashinostroenie, 1983. – 248 p.
2. Borisenko A.I. Gazovaya dinamika dvigatelej / A.I. Borisenko. – M. : Nauka, 2002. – 793 p.
3. Seitz P.F. Space shuttle main engine control system / Seitz P.F., Searle R.F. // SAE Transactions. – 1973. – № 73. – P. 17.
4. Steam Bubble Cavitation / Mahulkar A.V., Bapat P.S., Pandit A.B., Lewis F.M. // AIChE Jurnal. – 2008. – Vol. 54. – №7. – P. 1711–1724.

УДК 629.7.036

Кобець О.В., Загребельна Л.І.

ПЕРЕВІРКА СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ «ДВИГУН – СТАБІЛІЗАТОР РЕЖИМУ»

Досліджується стійкість роботи системи «двигун – стабілізатор режиму непрямої дії».

Kobets E.V., Zagrebelnaj L.I.

SYSTEM SUSTAINABILITY TEST «ENGINE INSTALLATION – MODE STABILIZER»

Investigated the stability of the system «engine installation – mode stabilizer».

Дубоносов В.Л., Хрипунов Г.С., Кричковская Л.В.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРОЧНЕНИЯ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ
ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ****Введение**

Одним из наиболее эффективных путей повышения работоспособности режущего инструмента (РИ) является нанесение на его рабочие поверхности износостойких покрытий (П). В то же время эффективность инструмента с покрытием резко снижается при переходе от непрерывного резания к другим видам обработки, в частности к торцовому фрезерованию. Повышение работоспособности РИ при торцовом фрезеровании возможно за счет применения покрытий сложного состава и многослойно-композиционных покрытий.

В работах [1–3] проведено исследование двух- и трехкомпонентных покрытий, полученных методом многокомпонентного диффузионного насыщения. Исследовано влияние состава покрытия на структуру, фазовый состав, прочность сцепления П с основой, микротвердость и износостойкость П при точении. Установлено, что максимальная микротвердость покрытия соответствует максимальной износостойкости, при этом износостойкость и микротвердость возрастают при переходе от однокомпонентных к двух- и трехкомпонентным П.

Постановка проблемы

Применение упрочняющих многослойно-композиционных покрытий на металлорежущем и обрабатывающем инструменте, оснастке и деталях машин дает возможность получения существенного экономического эффекта и значительного улучшения их физических характеристик, увеличения работоспособности и надежности. Известные способы упрочнения (азотирование и карбидизация поверхности, термические и гальванические процессы), увеличивают износостойкость изделий в несколько раз. Но эти результаты не удовлетворяют современным требованиям машиностроителей. В промышленности началось применение дорогих сталей и сверхпрочных сплавов, что привело к резкому увеличению стоимости изделий и их обработки. В настоящее время наилучшими эксплуатационными характеристиками обладают вакуумно-плазменные покрытия.

Дальнейшее повышение эффективности защитно-упрочняющих, износостойких покрытий на основе твердых соединений переходных металлов (типа TiN, TiCN, TiAlN, nc-TiN/a-SiN, и т.п.) может быть достигнуто путем создания нанокристаллических, микро-слоистых материалов вакуумно-плазменными методами, что может поднять эффективность режущего инструмента и ресурс деталей в промышленности в несколько раз.

В то же время отсутствуют научные основы определения количества слоев в покрытии, их толщины и общей толщины покрытия. Возможность широкого варьирования свойств покрытия за счет изменения количества слоев, их состава и толщины, а также большой спектр обрабатываемых и инструментальных материалов, видов обработки резанием значительно затрудняют создание эффективных композиций П-ИМ путем проведения экспериментальных исследований.

Практически не исследована возможность повышения работоспособности режущего инструмента с покрытием на операциях прерывистого резания путем снижения адгезионного взаимодействия РИ с обрабатываемым материалом, а также уровня циклических тепловых и силовых нагрузок, действующих на РИ, за счет выбора состава покрытия. Таким образом, из анализа литературных данных вытекает необходимость дальнейшего развития проблемы повышения эффективности РИ с П на операциях торцового фрезерования.

Цель и задачи исследования

Цель работы – повышение работоспособности торцовых фрез путем совершенствования конструкций износостойких покрытий при вакуумплазменном покрытии.

Методы исследования

В качестве инструментального материала использовали многогранные неперетачиваемые твердосплавные пластины (ГОСТ 19064) из сплава МК8 и формы из сплава ВК6 (ГОСТ 19049) из одной партии.

Физико-механические свойства указанных материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства обрабатываемых материалов

ОМ	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{\text{т}}$, МПа	Твердость не более, НВ
5ХНМ	900	720	241
ВТ22	1060	1010	260

В настоящее время существует большое количество методов упрочнения режущего инструмента (РИ). Среди них наиболее широкое применение во всех промышленно развитых странах нашли методы химического осаждения упрочняющих покрытий (П) на контактных площадках РИ (ХОП) и методы физического осаждения П (ФОП). Методы ФОП, получившие в мировой практике название PVD (Physical Vapour Deposition), основаны на испарении вещества в вакуумное пространство камеры с подачей реакционного газа [3]. Методы ФОП обладают целым рядом преимуществ: возможностью регулирования температуры конденсации в широком диапазоне (200–800 °С), что позволяет упрочнять режущий инструмент из быстрорежущей стали и твердого сплава; возможностью напыления многослойных и композиционных покрытий на основе нитридов, карбонитридов, оксидов, боридов тугоплавких металлов. Среди методов ФОП наибольшее распространение получили: конденсация вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой [4–7].

В экспериментальную часть работы положены современные методы подготовки поверхности различных материалов и формирование износостойких, упрочняющих, антифрикционных и защитно-декоративных покрытий вакуумно-плазменными методами типа – вакуумная конденсация с ионной бомбардировкой и создание нанослоев в формируемых структурах.

Нанесение покрытий проводили на серийной вакуумно-плазменной установке типа "Булат-6", оснащенной системой магнитной фокусировки плазменного потока. Режимы нанесения покрытий приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технологические параметры конденсации

№	Тип по- крытия	Технологические параметры процесса конденсации									Опорное на- пря-жение U _{оп} , В
		Катод№1			Катод№2			Катод№3			
		М	Ид,А	И _ф ,А	М	Ид,А	И _ф ,А	М	Ид,А	И _ф ,А	
1	TiN	Ti	110	0,3	Ti	110	0,3	Ti	110	0,3	140
2	TiCN	Ti	110	0,4	Ti	110	0,4	Ti	110	0,4	160
3	(Ti,Zr)N	Ti	100	0,3	Zr	105	0,3	Ti	100	0,3	140
3	(Ti,Zr)CN	Ti	100	0,3	Zr	105	0,3	Ti	100	0,3	140

Исследования работоспособности, характеристик процесса резания и динамики износа инструмента с покрытием проводили в условиях торцового фрезерования. Опыты проводили на вертикально-фрезерном станке мод. 6P12 однозубыми торцовыми фрезами. Работоспособность режущего инструмента с покрытием оценивали по относительному износу передней поверхности K' , интенсивности износа I задней поверхности, среднему периоду стойкости T , коэффициенту вариации периода стойкости U_T . Относительный износ по передней поверхности определяли по формуле [4]:

$$K' = \frac{h_a}{\frac{l_a}{2} + f}$$

Интенсивность износа по задней поверхности определяли по формуле:

$$J = \frac{P_3}{\frac{\pi \cdot R}{180} \cdot \left[\arcsin\left(\frac{R-K}{R}\right) + \arcsin\left(\frac{B-(R-K)}{R}\right) \right] \cdot z \cdot n \cdot \tau}, \text{ мм/мм},$$

где P_3 – износ РИ по задней поверхности, мм; K – радиус фрезы, мм; B – ширина фрезерования, мм; 2 – число зубьев фрезы, мм; n – частота вращения фрезы; τ – время работы, мин.

Величину допустимого износа по задней поверхности принимали равной 0,5 мм [8, 9]. Измерение фаски износа осуществляли с помощью малого инструментального микроскопа с точностью до 0,01 мм.

В результате исследования эффективности режущего инструмента с различными составами покрытий получали математические модели периода стойкости РИ вида:

$$T = \frac{C_T}{V^x \cdot S^y}, \text{ при } t = \text{const},$$

где V – скорость резания, м/мин; S^y – подача, мм/зуб; t – глубина, мм; C_T – постоянная; x, y – показатели влияния V^x на величину T .

В таблице 1 приведены данные заводских испытаний концевых фрез на конструкционной стали с покрытием TiN с разным количеством нанослоев фаз TiN и Ti. Пе-

ред покрытием фрезы подвергались вакуумной азотации. Наилучший результат получен при обработке фрезы по технологии 2 с повышением износостойкости в 10 раз. В таблице 3 приведены данные сравнительных испытаний на фрезах Ф20мм с покрытием TiCN, которое формировалось послойно с нанослоями 10–150 nm с чередованием «мягких» и «твердых слоев». Покрытие наносилось после предварительной азотации и удаления микротрещин режущей кромки. Лучший результат показала технология 19-2, давшая повышение износостойкости в 10 раз.

Метод вакуумплазменного покрытия позволяет упрочнить поверхность и повысить износостойкость режущих инструментов и пресс-форм в десятки раз, увеличить их срок службы, создать декоративные и функциональные покрытия с заданными свойствами на поверхности изделий.

Результат получен при переходе в режим формирования нанослоев и наночастиц в матричных износостойких слоях. Область упрочнения и модификации поверхности имеет диффузионный термостабильный слой, формируемый химико-термической обработкой в плазме электрического газового разряда и ионно-плазменным покрытием.

Таблица 3 – Результат испытания работы фрезы DIN6627-A10LZ4-K20 KTM 0641-551-516303 покрытой слоем TiN

Тип покрытия	Скорость резания v , (м/мин)	Обороты n , [обор/мин]	Скорость подачи f , [mm/min]	Подача на зубі, [mm/зуб]	Глубина резания g , [mm]	Длина резания L , [m]	Степень износа h_r , [mm]	Коеф. износа $J=hp/L$ [mm/m]	Коэффициент стойкости
В-1 без покрытия	47	1500	225	0,037	10	2	0,0917	0,0459	1
19-1	47	1500	225	0,037	10	2	0,0182	0,0091	5
28-1-1	47	1500	225	0,037	10	2	0,1163	0,058	0,79
28-1-2	47	1500	225	0,037	10	2	0,0795	0,0398	1,15
06-1	65	2069	108	0,013	10	2	0,0155	0,0078	5,88
19-2	65	2069	108	0,013	10	2	0,0090	0,0045	10,2

Упрочняющие покрытия состоящие из многослойных наноструктур на основе карбидов, карбонитридов титана, молибдена, кремния и алюминия и т.п. могут быть использованы для упрочнения: лопаток турбин, элементов топливной аппаратуры, штампов и оснастки, рабочих органов мельниц упрочнение буровых коронок и сгонов колон, задвижек и вентилях, газотурбинного оборудования и элементов насосов и т.д. Метод позволяет наносить антифрикционные слои, что дает возможность создавать оборудование с увеличенным сроком эксплуатации: например, погружные и плунжерные насосы, топливную аппаратура для авиационной и космической техники, детали и механизмы подвижного состава железных дорог.

Как показали исследования вакуумно-плазменные технологии позволяют упрочнить поверхность режущих инструментов более, чем в 10 раз, повысить износостойкость деталей и механизмов, увеличить их срок службы.

Результаты скрининговых испытаний показали, что стойкость обработанных WC-Co фрез Ø0.4 мм при обработке по сравнению с DLC покрытыми фрезами увеличивается в несколько раз. Стойкость фрез WC-Co с покрытием TiAlN в результате ионно-лучевой обработки при работе с хромомолибденовой сталью HRC 60 возросла более чем в 3 раза даже при работе без СОЖ.

Выводы:

- метод вакуумплазменного покрытия позволяет наносить антифрикционные слои, что дает возможность создавать оборудование с увеличенным сроком эксплуатации.
- разрабатываемые технологические процессы по изменению свойств покрытия с применением нанотехнологических подходов позволят значительно улучшить их рабочие характеристики и снизить капиталовложения в данном направлении.

Литература

1. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение – 1982. – 320 с.
2. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение – 1993. – 336 с.
3. Андреев А.А. Исследование некоторых свойств конденсатов Ti-N, Zr-N, полученных осаждением плазменных потоков в вакууме (способ КИБ)/ Андреев А.А., Гаврилко И.В., Купченко В.В. // Физика и химия обработки материалов.– 1980.– №3.– С. 64–67.
4. Табаков В.П. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями на основе сложных нитридов и карбонитридов титана. Ульяновск: УлГТУ. – 1998. – 123 с.
5. Dépôt métallique Balzers Balinit B (TiCN) // Mach.-outil Prod. – 1990–1991. – № 55. – Hors ser.: Fiches techn. T.1 – P. 105.
6. Андриевский Р.А., Анисимова И.А., Анисимов В.П. Формирование структуры и микротвердость многослойных дуговых конденсатов на основе нитридов Ti, Zr, Nb, Cr //Физика и химия обработки материалов. – 1992. – №2. – С. 118–121.
7. Клименко С.А., Мельничук Ю.А. Обработка деталей с износостойкими покрытиями инструментами из ПСТМ //Оборудование и инструмент. №10 (33). – 2002. С. 10–12.
8. Любченко А.П., Олейник А.К., Мощенок В.И. Методы повышения износостойкости деталей дизелей. //Оборудование и инструмент. №3 (77). – 2006. – С. 18–20.
9. Дубоносов В.Л. Вторая жизнь булата. //Оборудование и инструмент. – 2003. – №2 (37). – С. 6–7.

Bibliography (transliterated)

1. Loladze T.N. Prochnost' i iznosostojkost' rezhushchego instrumenta. – M.: Mashinostroenie – 1982. – 320 p.
2. Vereshchaka A.C. Rabotosposobnost' rezhushchego instrumenta iznosostojkimi pokrytiyami. – M.: Mashinostroenie – 1993. – 336 p.

3. Andreev A.A. Issledovanie nekotorykh svoystv kondensatov Ti-N, Zr-N, poluchennykh osazhdeniem plazmennyykh potokov v vakuume (sposob KIB)/ Andreev A.A., Gavrilko I.V., Kupchenko V.V. // Fizika i himiya obrabotki materialov. – 1980. – №3. – P. 64–67.
4. Tabakov V.P. Rabotosposobnost' rezhushchego instrumenta s iznosostojkimi pokrytiyami na osnove slozhnykh nitridov i karbonitridov titana. Ul'yanovsk: UIGTU. – 1998. – 123 p.
5. Dépôt métallique Balzers Balinit V (TiCN) // Mach.-outil Prod. – 1990–1991. – № 55. – Hors ser.: Fiches techn. T.1 – P. 105.
6. Andrievskij P.A., Anisimova I.A., Anisimov V.P. Formirovanie struktury i mikrotverdost' mnogoslojnykh dugovykh kondensatov na osnove nitridov Ti, Zr, Nb, Cr //Fizika i himiya obrabotki materialov. – 1992. – №2. – P. 118–121.
7. Klimenko S.A., Mel'nichuk YU.A. Otrabotka detalej s iznosostojkimi pokrytiyami instrumentami iz PSTM //Oborudovanie i instrument. №10 (33). – 2002. P. 10–12.
8. Lyubchenko A.P., Olejnik A.K., Moshchenok V.I. Metody povysheniya iznosostojkosti detalej dizelej. //Oborudovanie i instrument. №3 (77). – 2006. – P. 18–20.
9. Dubonosov V.L. Vtoraya zhizn' bulata. //Oborudovanie i instrument. – 2003. – №2 (37). – P. 6–7.

УДК 621.785.5

Дубоносов В.Л., Хрипунов В.Л., Кричковська Л.В.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗМІЦНЕННЯ ІЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОКРИТТІВ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ НАНОКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Робота присвячена створенню зміцнюючих покриттів на металорізальному і обробному інструменті, оснащенні і деталях машин для отримання економічного ефекту і поліпшення їх фізичних характеристик, працездатності і надійності при застосуванні нанокompозитних покриттів.

Dubonosov V.L., Khripunov V.L., Krichkovska L.V.

EFFICIENCY OF STRENGTHENING AND WEAR-RESISTANCE OF COATINGS UNDER THE USE OF NANOCOMPOSITE MATERIALS

The work is devoted to the creation of hardening coatings on metal cutting and processing tools, rigging and machine parts to obtain economic benefits and improve their physical characteristics, efficiency and reliability when applying nanocomposite coatings.

Пугачева Т.Н., Быкова Т.И.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ТУРБИН ТИПА ПТ-60-90/13 И ПТ-60-130/13 ЛМЗ

Паровые турбины ПТ-60-90 и ПТ-60-130 были введены в эксплуатацию в 50–60-х годах прошлого столетия. В связи с физическим и моральным износом данных турбин необходима реконструкция оборудования с целью повышения тепловой и электрической мощности, экономичности, надежности.

Турбина ПТ-60-90/13 рассчитана для работы при следующих номинальных параметрах свежего пара:

- абсолютное давление пара перед стопорным клапаном – 8,82 МПа (90 кгс/см²);
- температура пара перед стопорным клапаном – 535 °С;
- номинальное расчетное давление в конденсаторе – 5 кПа (0,05 ата) в отопительный период и 8 кПа (0,08 ата) в летний период;
- максимальный расход свежего пара через стопорный клапан – 110,55 кг/с (398 т/ч);
- номинальный расход охлаждающей циркуляционной воды через конденсатор турбины составляет 8000 м³ /ч.

Паровая турбина ПТ-60-130/13 с конденсационной установкой и двумя регулируемыми отборами пара, представляет собой двухцилиндровый одновальный агрегат, рассчитана для работы при следующих номинальных параметрах свежего пара:

- абсолютное давление пара перед стопорным клапаном – 12,75 МПа (130 кгс/см²);
- температура пара перед стопорным клапаном – 565 °С;
- номинальное давление в конденсаторе 3,4 кПа
- максимальный расход свежего пара через стопорный клапан – 107,5 кг/с (387 т/ч).

Для увеличения тепловой мощности и улучшения технико-экономических показателей ТЭЦ предлагаются следующие мероприятия.

1. Реконструкция проточной части среднего давления с целью увеличения расхода пара в теплофикационный отбор на величину до 13,9 кг/с (50 т/ч) с одновременным увеличением электрической мощности, вырабатываемой на тепловом потреблении

Модернизации проточной части турбины ПТ-60-90/13 ЛМЗ выполняется на базе апробированных технических решений и предусматривает следующий объем работ:

- 1) Изготовление следующих узлов и деталей турбины:
 - сопловой аппарат ЧСД и диафрагмы 17–24 ступеней ЧСД;
 - рабочие лопатки регулирующей (XVI ст.) и 17–24 ступеней;
 - кулаки регулирующих клапанов ЦНД №№ 1, 2, 3.
- 2) В станционных условиях необходимо:
 - заменить сопловой аппарат и диафрагмы ЧСД;
 - облопатить ротор ЦНД новыми рабочими лопатками ЧСД;
 - произвести балансировку ротора ЦНД;
 - установить новые кулаки клапанов №№ 1,2,3;

– увеличить ширину регулирующих окон золотника регулятора давления теплофикационного отбора пара и золотника обратной связи сервомотора регулирующих клапанов ЦНД.

В связи с увеличением расхода пара в ЧСД изменяются следующие технические характеристики:

1) максимальные расходы пара в ЦНД (ЧСД) при давлении в камере производственного отбора (P_n) не должны превышать:

- $P_n=1,57$ МПа (16 ата) – 73,61 кг/с (265 т/ч),
- $P_n=1,27$ МПа (13 ата) – 59,7 кг/с (215 т/ч),
- $P_n=0,98$ МПа (10 ата) – 45,8 кг/с (165 т/ч).

2) максимальные расходы пара в теплофикационный отбор составят:

- при $P_n=1,57$ МПа (16 ата) – 58,3 кг/с (210 т/ч),
- при $P_n=1,27$ МПа (13 ата) – 45,5 кг/с (164 т/ч),
- при $P_n=0,98$ МПа (10 ата) – 34,7 кг/с (125 т/ч).

Реконструкция целесообразна и экономически выгодна только при замещении имеющего место на ТЭЦ покрытия тепловых нагрузок паром, отбираемым из производственного отбора на сетевые подогреватели (бойлеры) для покрытия пиковых нагрузок в тепле.

Дополнительная электрическая мощность турбины за счет замещения пара производственного отбора паром теплофикационного отбора в количестве 50 т/ч составляет порядка 5 МВт.

2. Модернизация надбандажных уплотнений ЦВД

За межремонтный период эксплуатации турбины, как правило, наблюдается снижение экономичности проточной части ЦВД на 1,5–2,0 % из-за увеличения зазоров в надбандажных уплотнениях.

Целью модернизации является повышение экономичности ЦВД при одновременном повышении надежности, ремонтпригодности, устранение низкочастотной вибрации, исключение возможности задевания, увеличение зазоров по уплотнительным гребням надбандажных уплотнений.

Поставленная цель достигается установкой осерадиальных надбандажных уплотнений, в которых чередующиеся гребни статора и ротора образуют лабиринт. В этих уплотнениях величина осевых и радиальных зазоров исключает задевание в процессе эксплуатации и, соответственно, их увеличение. В связи с этим протечки в надбандажное пространство остаются постоянными и в сумме за межремонтный период значительно меньшими, чем традиционные уплотнения.

Модернизацию надбандажных уплотнений можно выполнить при проведении капитального ремонта.

Объем реконструктивных работ:

- наплавка уплотнительных гребней на козырьки диафрагм;
- приварка полос на бандажі рабочих лопаток;
- мехобработка диафрагм и роторов для образования уплотнительных гребней.

Технико-экономический эффект от модернизации надбандажных уплотнений:

- повышение КПД ЦВД до 1,5–2,0 %;
- расчетное увеличение мощности турбины на 670 кВт;
- уменьшение затрат на ремонт и восстановление надбандажных уплотнений при капитальных ремонтах.

3. Осерадиальные уплотнения в ЧСД

В фирменном цилиндре низкого давления турбины ПТ–60–90/13 ЛМЗ на 16–24-ой ступенях применяются надбандажные уплотнения радиального типа. Утечка пара в этом типе уплотнений определяется радиальным зазором между уплотнительными гребнями на козырьках диафрагм и бандажами рабочих лопаток. В процессе эксплуатации уплотнительные гребни изнашиваются, радиальные зазоры увеличиваются, вследствие чего снижается экономичность турбины.

Модернизация надбандажных уплотнений 16–24-ой ступеней заключается в замене уплотнений радиального типа на осерадиальные уплотнения (рис. 1,2). Конструкция осерадиальных уплотнений предполагает организацию системы лабиринтов посредством установки чередующихся уплотнительных гребней на роторе и на статоре. Конструктивные решения, примененные в осерадиальных уплотнениях, сводят к минимуму возможность задеваний в уплотнениях при увеличении их эффективности. Внедрение надбандажных уплотнений осерадиального типа на ступенях ЧСД турбины позволяет повысить мощность турбины ≈ 500 кВт.

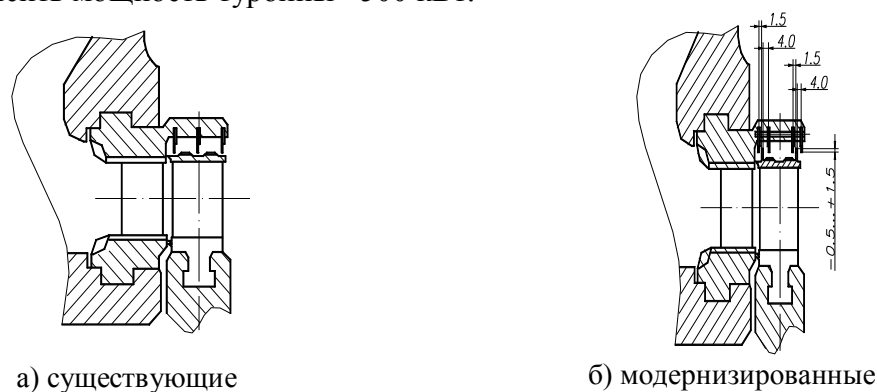


Рисунок 1 – Надбандажные уплотнения 16 ступени

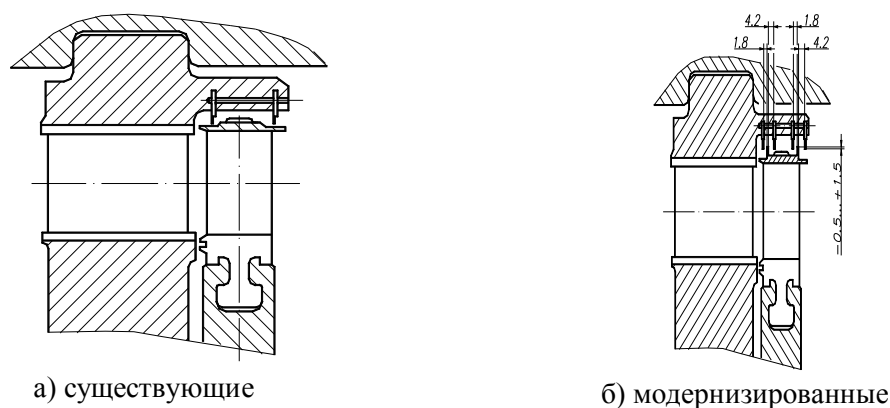


Рисунок 2 – Надбандажные уплотнения 17–24 ступеней

За счёт замены существующих надбандажных уплотнений на осерадиальные дополнительная электрическая мощность турбины составит 1,1 МВт в отопительный период и 0,5 МВт в летний период.

Реконструкция надбандажных уплотнений ЦВД турбины увеличивает выработку электроэнергии турбиной.

$$\Delta \dot{E} = \Delta N_{\text{эцвд}} \cdot (1 - K_{\text{с.н.}}) \cdot T_{\text{от}};$$

$$\Delta \dot{E} = 670 \cdot (1 - 0,15) \cdot 3000 = 1,71 \cdot 10^6 \text{ кВт.ч.}$$

4. Модернизация системы концевых уплотнений

Модернизация системы концевых уплотнений турбины повышает экономичность работы турбоагрегата за счет уменьшения количества уплотняющего пара постоянного источника, повышает надежность и маневренность работы турбины при пусках, остановках и сбросах нагрузки за счет автоматического поддержания давления в камерах уплотнений при переходе от подачи к отсосу пара и наоборот.

Отличия модернизированной системы концевых уплотнений турбоустановки ПТ-60-90/13 от заводской состоят в следующем:

- во всех концевых уплотнениях ЦВД и ПКУ ЦНД ликвидируются камеры постоянной подачи уплотняющего пара;

- из бывших камер «подачи» в уплотнениях ЦВД и в ПКУ ЦНД организовывается дополнительный отсос паровоздушной смеси с целью уменьшения сопротивления трубопроводов отсоса и, соответственно, увеличения пропускной способности трассы;

- отсос пара из бывших вакуумных камер на охладитель пара уплотнений

ПСВ-90-7-15 производится через коллектор Ду300 и вновь устанавливаемый трехпроходный регулирующий клапан, управляемый регулятором давления.

Этот же коллектор является одновременно и коллектором подачи уплотняющего пара на концевые уплотнения высокого давления при пусках турбины из любого теплового состояния.

Для осуществления пуска турбины из холодного и неостывшего состояния к трехпроходному регулируемому клапану осуществляется независимый подвод пара:

- из уравнительной линии деаэраторов Д-6 с температурой 160 °С;

- от коллектора собственных нужд давлением 0,784–1,274 МПа (8–13 ата) с температурой 230–280 °С;

Таким образом, повышается надежность и экономичность работы схемы за счет работы уплотнений ЦВД и ПКУ ЦНД на режиме самоуплотнения и ликвидации в связи с этим необходимости в подаче уплотняющего пара на стационарных режимах работы из уравнительной линии деаэратора Д–6.

Дополнительная электрическая мощность турбины от уменьшения расхода пара на уплотнения составит порядка 300–310 кВт.

5. Модернизация схемы обогрева фланцевых соединений ЦВД

Система обогрева фланцевых соединений ЦВД предназначена для ускорения процесса пуска и нагружения турбины из «холодного» и «неостывшего» состояний, если температура металла паровпускных частей не превышает 300 °С, а также снижения термических напряжений во фланцевых соединениях. Модернизированная система обогрева позволяет повысить скорость пуска, а также экономичность, надежность и маневренность работы.

Из существующей системы обогрева исключаются короба, регулирующие и предохранительные клапаны, что повышает надежность системы обогрева и упрощает процесс обслуживания.

Пар на обогрев отводится из двух источников:

- 1) коллектора 10–13 ата с температурой 250–280 °С,
- 2) от ГПЗ с параметрами свежего пара.

Это позволяет проводить обогрев ступенчато от более низкой температуры до более высокой.

На трубопроводах подвода пара в обнизки, между запорными вентилями могут быть выполнены линии подвода воздуха с запорной арматурой, с целью использования системы обогрева для расхолаживания турбины атмосферным воздухом.

6. Перевод турбины на сезонную работу с ухудшенным вакуумом и использованием конденсатора для подогрева сетевой воды

Перевод турбины ПТ-60-90 на режим работы с ухудшенным вакуумом и использованием конденсатора в качестве бойлера (с возможностью в случае необходимости использовать в качестве охлаждающей воды циркуляционную воду) позволяет существенно улучшить технико-экономические показатели работы ТЭЦ за счет:

- реализации наиболее экономичной ступенчатой схемы подогрева сетевой воды в пределах электростанции;
- полного исключения потерь тепла с циркуляционной водой;
- увеличения полезного отпуска теплоты при использовании конденсатора турбины в качестве бойлера;
- увеличения электрической мощности турбины при пропуске дополнительного расхода пара через ЧНД в конденсатор;
- сокращения расхода электрической энергии на собственные нужды при исключении из работы циркуляционных насосов;
- исключения вентилирования последних ступеней турбины.

Основными техническими вопросами, решаемыми при проектировании и эксплуатации, являются:

- 1) реконструкция водяных камер конденсатора для возможности работы с повышенным давлением сетевой воды с учетом гидравлических особенностей работы в системе теплосети;
- 2) определение режимов эксплуатации турбины с ухудшенным вакуумом, учитывая повышение температуры выхлопного пара и, соответственно, выхлопного патрубка турбины при увеличении давления в конденсаторе;
- 3) оптимизация проточной части низкого давления и выбор числа удаляемых последних ступеней;
- 4) обеспечение надежной работы оставшейся последней ступени турбины, а также выбор величины ограничения максимального расхода пара в ЧНД в зависимости от давления в конденсаторе.

7. Перевод на противодействие теплофикационных параметров

При реконструкции проточной части турбины с целью перевода на постоянный режим работы с отопительным противодействием 1,2–2,5 ата решаются следующие вопросы:

- исключение пропуска пара в ЧНД турбины;
- изменение тепловой схемы, схемы концевых уплотнений, дренажей и продувок;
- изменение схемы регулирования;
- проработки режимов прогрева и пусков турбины из различных тепловых состояний, режимов плановых остановов и сбросов электрической нагрузки, как с точки зрения максимально допустимых температур пара (металла) на выхлопе, так и с точки зрения относительных расширений (укорочений) ротора.

Конденсатор турбіни може зберігатися в роботі і використовуватися в якості охладителя пара, протікаючого через «глуху» діафрагму і заднє кінцеве ущільнення турбіни, і в якості ємкості для збору всіх дренируємих і других потоків.

8. Система воздушної консервації турбоустановки

При довготривалих простоях енергетического обладнання (7 діб і більше) без відкриття циліндрів виникає необхідність захисту внутрішніх порожнин від корозії.

Найбільш простим і достатньо ефективним способом збереження обладнання від корозійних пошкоджень є консервація внутрішніх порожнин підігрітим повітрям. В склад додаткового обладнання, призначеного для забезпечення "сухої" консервації підігрітим повітрям, входять вентиляційна і калориферна установки і система повітропроводів, також знову монтуємиє штуцери для підводу і відводу підігрітого повітря з консервируємого обладнання турбоустановки.

Консервація енергообладнання заключається в постійному пропуску підігрітого атмосферного повітря через порожнини обладнання.

Комплекс робіт по проектуванню системи консервації енергоблока включає:

- 1) вибір і розрахунок об'ємів консервируємого обладнання;
- 2) розробку локальних схем консервації кожного контура і схеми руху повітряних потоків;
- 3) розрахунок необхідного кількості і температури повітря для консервації, вибір калориферної установки;
- 4) аеродинамічні розрахунок, розрахунок діаметрів повітропроводів, вибір вентиляційної установки з необхідною характеристикою;
- 5) визначення необхідного кількості, діаметра і місць установки додаткових штуцерів для входу і виходу повітря з консервируємих порожнин;

9. Усовершенствование дренажно-продувочной системы

Усовершенствованная дренажно-продувочная система забезпечує прискорений пуск турбіни за рахунок швидкого прогріву всіх паропроводів турбоустановки, якісного їх дренирування і збільшення пропускної спроможності дренажної системи, підвищує надійність і маневренність роботи турбіни, забезпечує зручність обслуговування і експлуатації системи.

Об'єм реконструкції включає в себе:

- заміну частин існуючих дренажних трубопроводів на нові, більшого діаметра, організацію додаткових дренажів і продувок;
- упорядкування дренажних трубопроводів відповідно параметрам і компоновки дренажних колекторів розширителя.

Усовершенствование дренажно-продувочной системы виконується силами електростанції в період проведення капітального ремонту.

10. Модернизация системы регулирования и защиты

Припускається модернізація гідромеханіческой системи автоматического регулювання і захисту (САР) турбіни в електронно-гідравліческую. Метою модернізації є підвищення точності підтримання частоти обертання ротора, покращення точності і швидкодії обробки керуючих і захисних команд, підвищення

ние надежности, а также снижение трудозатрат на обслуживание САР. Модернизация САР турбины позволит эффективно участвовать в первичном и вторичном регулировании частоты и мощности энергосистемы и в работе противоаварийной автоматики. При этом турбина будет вырабатывать электроэнергию на уровне европейских стандартов (с нечувствительностью до 0,04 % и программируемой неравномерностью 2–10 %).

Модернизация заключается в установке на турбине современной микропроцессорной электронной системы с сохранением в работе существующих гидравлических сервоприводов паровых клапанов. Остальные существующие механические и гидравлические устройства САР демонтируются.

11. Организация дополнительных отборов пара из камеры первого регенеративного отбора

Пар с параметрами для целей производства давлением до 30 ата отбирается из камеры за 9-й ступени в количестве до 35 т/ч. Позволяет повысить экономичность турбоустановки за счёт исключения дросселирования пара через РОУ.

Объем реконструкции:

- прокладка дополнительного паропровода с необходимой запорной, регулирующей и защитной арматурой;
- организация системы защиты предотборного отсека ступеней при снижении давления пара в камере отбора.

12. Техническое перевооружения турбины с заменой отработавшего срок службы ЦВД на новый от турбины ПТ-80-130

13. Оптимизация тепловых и теплофикационных схем ТЭЦ, в т.ч.:

- установка на ТЭЦ турбопривода питательного насоса,
- установка «утилизационной» турбины.

Предложенные мероприятия по реконструкции типа ПТ-60-90 и ПТ-60-130 были реализованы Харьковским ЦКБ «Энергопрогресс» на Черкасской ТЭЦ, Дарницкой ТЭЦ, Краматорской ТЭЦ.

Выводы

Внедрение реконструктивных мероприятий позволяет повысить электрическую мощность турбин ПТ-60-90 и ПТ-60-130 от 1,1 до 6...7 МВт в зависимости от величины покрываемых от турбины тепловых нагрузок и повысить к.п.д. турбин на 1,5...2 %.

Целесообразность внедрения каждого мероприятия определяется путем проведения соответствующих расчетов исходя из условий работы турбины на ТЭЦ.

Литература

1. ТС107-013. Анализ тепловой схемы, балансов пара и тепла с выбором оптимального варианта отпуска тепла и технического перевооружения Дарницкой ТЭЦ // филиал ХЦКБ «Энергопрогресс» ООО «Котлотурбопром». – 2009.
2. 41Т292-1320 ПЗ. Разработка рабочей документации по реконструкции турбины ПТ-60-90/13 ст. № 5 Дарницкой ТЭЦ с целью увеличения электрической мощности и экономичности турбины путем увеличения пропускной способности ЧСД и расхода пара в теплофикационный отбор // филиал ХЦКБ «Энергопрогресс» ООО «Котлотурбопром». – 2009.

3. 38Т292-1293 ПЗ. Разработка рабочей документации по реконструкции турбины ПТ-60-90/13 ЛМЗ ст. №5 Дарницкой ТЭЦ с целью перевода на режим работы с ухудшенным вакуумом и использованием конденсатора в качестве подогревателя сетевой воды // филиал ХЦКБ «Энергопрогресс» ООО «Котлотурбопром». – 2007.

Bibliography (transliterated)

1. TS107-013. Analiz teplovoy shemyi, balansov para i tepla s vyiborom optimalnogo varianta otpuska tepla i tehnicheskogo perevooruzheniya Darnitskoy TETs // filial HTsKB «Energoprogress» ООО «Kotloturboprom». – 2009.

2. 41Т292-1320 ПЗ. Razrabotka rabochey dokumentatsii po rekonstruktsii turbinyi PT-60-90/13 st. # 5 Darnitskoy TETs s tselyu uvelicheniya elektricheskoy moschnosti i ekonomichnosti turbinyi putem uvelicheniya propusknoy sposobnosti ChSD i rashoda para v teplofikatsionnyiy otbor // filial HTsKB «Energoprogress» ООО «Kotloturboprom». – 2009.

3. 38Т292-1293 ПЗ. Razrabotka rabochey dokumentatsii po rekonstruktsii turbinyi PT-60-90/13 LMZ st. #5 Darnitskoy TETs s tselyu perevoda na rezhim raboty s uhudsheniyim vakuumom i ispolzovaniem kondensatora v kachestve podogrevatelya setevoy vodyi // filial HTsKB «Energoprogress» ООО «Kotloturboprom». – 2007.

УДК 621.165

Пугачова Т.М., Бикова Т.І.

**ЗАХОДИ ЩОДО РЕКОНСТРУКЦІЇ ТУРБІН
ТИПУ ПТ-60-90/13 І ПТ-60-130/13 ЛМЗ**

Розглянуто питання пов'язані з реконструкцією турбін ПТ-60-90, ПТ-60-130 з метою підвищення теплової та електричної потужності, економічності, надійності.

Pugachova T.N., Bikova T.I.

**THE EVENTS FOR RECONSTRUCTION OF TURBIN
TYPE PT-60-90 / 13 AND PT-60-130 / 13 LMZ**

The issues has been treated connected of reconstruction of turbines PT-60-90, PT-60-130 with the purpose of increasing the thermal and electric power, economy, reliability are considered.

УДК 664.647.4

Бочкарев С.В., Кричківська Л.В., Трошин О.Г., Петік І.П., Белінська А.П.

РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ ШОКОЛАДНОЇ ПАСТИ ДЛЯ ХАРЧУВАННЯ СПОРТСМЕНІВ**Вступ**

Підвищення фізичної працездатності і прискорення відновних процесів після фізичних навантажень відноситься до найбільш актуальних проблем праці, медицини та спорту. Харчування є важливим керованим фактором, який забезпечує здоров'я і якість життя людини, активне довголіття, нормальний розвиток організму, працездатність. Слід зазначити, що повсякденний раціон харчування, згідно з [1–3], не може забезпечити організм людини, і зокрема спортсмена, есенціальними речовинами в необхідній кількості. В останні роки для прискорення відновлення організму і активного поповнення витрачених пластичних і енергетичних ресурсів в спорті дуже часто використовують біологічно активні добавки [4, 5]. На думку дослідників [6], від 59 до 88 % спортсменів регулярно використовують полівітаміни, мінеральні добавки, протеїни та інші активні речовини, нормативна база яких в Україні відсутня.

Одним з перспективних напрямів поліпшення працездатності спортсменів вважається впровадження в харчові раціони якісно нових продуктів, які відповідають потребам їх організму. Прикладом таких продуктів можуть стати кондитерські вироби, які характеризуються збалансованим вмістом білків, вуглеводів, жирів та збагачені вітамінами і мікроелементами.

Постановка проблеми

В Україні більшість продуктів спортивного харчування має іноземне походження та високу ціну. [1]. Отже у споживачів існує попит на вітчизняну продукцію з помірною ціною як альтернативу імпортованій продукції високого цінового сегменту. Тому розробка вітчизняного спортивного харчування з науково доведеною ефективністю та безпечністю, яке не містить інгредієнтів, заборонених Всесвітнім антидопінговим агентством є актуальною.

Накопичений вітчизняний і закордонний досвід [2,3] свідчить, що найбільш ефективнішим шляхом корекції харчування спортсменів являється розробка й створення продуктів, збагачених необхідними нутрієнтами із використанням природної сировини, які дозволять швидко відновлювати ресурси організму спортсмена, забезпечити його необхідними нутрієнтами при незначних об'ємах споживання.

В наших попередніх роботах [4,5] обґрунтовано вибір та співвідношення компонентів білково-жирового композиту, який збалансовано за незамінними амінокислотами з розгалуженим ланцюгом (лейцином, ізолейцином, валіном) та триптофаном і за вмістом незамінних поліненасичених жирних кислот. Запропонований білково-жировий композит містить наступні компоненти: подрібнене насіння соняшнику – 20 ± 2 % об., подрібнене насіння кунжуту – 30 ± 2 % об., подрібнене насіння льону – 50 ± 2 % об. від маси.

Як об'єкт збагачення білково-жировим композитом обрано шоколадну пасту. Шоколадна паста відповідно до ДСТУ 7374 [6] представляє собою однорідну тонкопо-

дрібнену пластичну масу, що складається з цукру, какао-порошку з додаванням або без додавання горіхів або інших культур, харчових добавок та інших видів сировини, з масовою часткою жиру 28–36 %. Шоколадна паста є продуктом багатоцільового використання, її використовують як для безпосереднього вживання в їжу, так і у складі інших кондитерських, сиркових виробів, морозива, а також в закладах громадського харчування. Вибір такого об'єкту для збагачення ґрунтується на тому, що даний продукт, незважаючи на калорійність і високий вміст жирів, використовується і в спортивному харчуванні. З технологічної точки зору склад шоколадних паст можна збагатити повноцінними білками, ненасиченими жирами, антиоксидантами, клітковиною, а також вітамінами і мікроелементами.

Мета і задачі дослідження

Метою даного дослідження є розробка рецептури шоколадної пасти для харчування спортсменів з використанням білково-жирового композиту на основі олійної сировини.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- змодельовати рецептуру шоколадної пасти для харчування спортсменів, збагаченої білково-жировим композитом;
- визначити органолептичні показники та харчову цінність розробленої шоколадної пасти;
- оцінити прогнозовані терміни зберігання шоколадної пасти на основі білково-жирового композиту.

Результати дослідження

Під час проведення соціологічного опитування серед спортсменів було виявлено, що споживачі віддають перевагу солодким шоколадним пастам із молочним і горіховим смаком. Для створення шоколадної пасти підвищеної харчової цінності крім традиційної сировини (спред, цукрова пудра, какао-порошок, сухе знежирене молоко) використано білково-жировий композит з олійного насіння [4,5] як перспективний компонент для виробництва продуктів для харчування спортсменів.

Компонентами білково-жирового композиту було обрано підсушене насіння льону, кунжуту та соняшнику. Вибір обґрунтовано тим, що насіння цих олійних культур, поки ще з не модифікованими генами, може стати джерелом як білків рослинного походження, так і поліненасичених жирних кислот та низки цінних сполук і мікроелементів, які потрібні для відновлення енергетичних і пластичних ресурсів в організмі спортсменів. Насіння обраних олійних культур багате на такі незамінні амінокислоти, як лейцин, ізолейцин, валін, а вони є незамінним матеріалом для побудови м'язової тканини і приймають участь у процесах її анаболізму і відновлення [7]. Ці незамінні амінокислоти в плазмі крові людини конкурують з амінокислотою триптофан, що визначає швидкість проникнення триптофану в мозок і зниження моторної активності та працездатності, тобто виникнення втоми. Крім того, кунжутне насіння містить антиоксиданти сезамол і токоферолі, зокрема стабільний до високих температур γ -токоферол. Сезамол здатен посилювати антиокислювальну дію γ -токоферолів в оліях [8], а тому цей комплекс можна пропонувати для використання як антиоксиданту в жирових продуктах для спортсменів.

Технологія білково-жирового композиту підвищеної харчової цінності включає в себе наступні етапи: попередня підготовка олійного насіння, його контроль якості,

дозування, змішування, подрібнення ($d = 0,05 \dots 0,1$ мм), попереднє зволоження пасти ($\omega = 12 \dots 14$ %) і обробка надвисокочастотним випромінюванням ($\nu = 2450$ мГц) для інактивації антипоживних речовин, що містяться в олійній сировині [9], охолодження пасти, її контроль якості, пакування в вакуумовану стерильну тару, фасування, маркування, зберігання ($t = 10 \dots 15$ С, $\phi \leq 75$ %).

Використання какао-порошку у виробництві шоколадної пасти зумовлено не тільки його приємними смаковими властивостями, а й низкою цінних речовин у його складі (поліфенольні сполуки, серотонін, допамін, фенілетиламін, магній) [10]. Сухе знежирене молоко в складі пасти обрано з міркувань його високої біологічної цінності, зумовленої особливостями складу. Наявність майже всіх основних нутрієнтів робить цей продукт незамінним у харчуванні [11]. Використання сухого знежиреного молока у виробництві шоколадної пасти надає взаємокомпенсуючого впливу на формування амінокислотного складу сумарного білка та допоможе підвищити його біологічну цінність. Цукрова пудра – джерело вуглеводів, які забезпечують організм енергією, а також компонент для формування смакових властивостей шоколадної пасти.

Оптимізований склад рецептурної суміші шоколадної пасти, що містить 20 % білково-жирового композиту, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Рецептура шоколадної пасти

Найменування сировини	Суха речовина (СР), %	Витрата сировини, кг	
		в натурі	в СР
Спред	75,00	240,00	180,00
Цукрова пудра	99,85	220,00	219,67
Білково-жировий композит	92,80	200,00	185,60
Какао-порошок	99,90	200,00	199,80
Сухе знежирене молоко	96,00	140,00	134,40
Вихід	87,40	1000,00	873,91

Виробництво шоколадної пасти включає такі стадії: отримання вихідної маси пасти в спеціальному міксері; перекачування вихідної маси пасти в проміжну ємність; подача маси з проміжної ємності на млин; приготування однорідної дрібнодисперсної маси в млині тонкого помелу; перекачування готової маси пасти в проміжну ємність; розфасовка готової пасти.

Органолептичні показники отриманої шоколадної пасти наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Органолептичні показники шоколадної пасти

Органолептичний показник	Характеристика для шоколадної пасти з 20 % білково-жирового композиту
Колір	темно-коричневий
Смак і запах	гармонійний з шоколадно-молочним присмаком, в міру солодкий, з приємним горіховим присмаком та запахом
Консистенція	ніжна, однорідна, пластична, помірно мазка

За органолептичними показниками розроблений продукт відповідає вимогам вітчизняної нормативної документації [6].

Вміст харчових речовин у розробленій шоколадній пасти, що містить 20 % БЖК та контрольному зразку пасти, який зовсім не містить білково-жирового композиту, а також їх рекомендована добова норма представлені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Харчова цінність шоколадної пасти

Харчова речовина		Вміст харчових речовин на 100 г продукту		Рекомендована добова норма
		Розроблена шоколадна паста (20 % БЖК)	Контрольний зразок шоколадної пасти (0 % БЖК)	
Вода, %		8,63	12,19	
Білки, г		13,07	8,98	58...117
Незамінні амінокислоти, г/100 г	валін	0,98	0,57	3...4
	ізолейцин	0,70	0,46	3...4
	лейцин	1,00	0,73	4...6
	лізин	0,69	0,60	3...5
Жири, г		29,99	35,85	60...154
у т.ч. ПНЖК		9,18	6,60	2...6
ω-3		2,27	0,00	0,3...2,5
ω-6		6,91	6,60	1,5...5
Моно- та дицукри, г		13,60	12,25	50...100
Харчові волокна, г		11,39	6,64	25...30
Енергетична цінність, ккал		399,34	420,84	

Як видно з таблиці, розроблений продукт порівняно з контролем має вищий вміст незамінних амінокислот, зокрема, амінокислот с розгалуженим ланцюгом (лейцину, ізолейцину, валіну). Змінюється ліпідний склад розробленого продукту – значною мірою зростає вміст поліненасичених жирних кислот ω-3 групи. У складі розробленої шоколадної пасти також присутня значна кількість харчових волокон, – нутрієнту, дефіцит якого в харчуванні вважається одним з головних факторів ризику розвитку ряду захворювань.

У процесі зберігання жировмісних харчових продуктів, якими є шоколадні пасти, основним видом псування є процес окиснення ліпідів, що супроводжується утворенням пероксидів, та летких альдегідів і кетонів, що погіршує органолептичні властивості і скорочує строки зберігання цієї продукції. Тому наступним етапом досліджень була оцінка прогнозованих термінів зберігання шоколадної пасти підвищеної харчової цінності та зниженої калорійності на основі білково-жирового композиту. На діаграмі (рис. 1) наведені періоди індукції окиснення при температурі 85 ± 2 °C досліджуваних

зразків шоколадних паст без додавання і з додаванням білково-жирового композиту в кількості 10 і 20 %.

Як видно з рисунку, стабільність до окиснення, а, отже, і прогнозовані терміни зберігання досліджуваних шоколадних паст залежать від вмісту в них білково-жирового композиту. Період індукції шоколадної пасти з 10 % білково-жирового композиту перевищує такий у контрольному зразку на 45 %, а зразок пасти з 20 % добавки перевищує контрольний показник вже на 55 %.

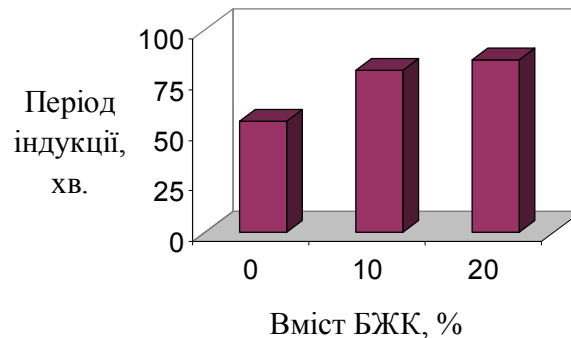


Рисунок 1 – Періоди індукції окиснення зразків шоколадних паст

Висновки

Змодельовано рецептуру шоколадної пасти для харчування спортсменів, збагаченої білково-жировим композитом на основі олійного насіння. Визначено органолептичні показники та харчову цінність розробленого продукту. Встановлено, що шоколадна паста з білково-жировим композитом збагачена та збалансована на незамінні амінокислоти, поліненасичені жирні кислоти, харчові волокна, ряд вітамінів та мінеральних речовин. Експериментально доведено, що період індукції окиснення шоколадної пасти на основі білково-жирового композиту при температурі 85 ± 2 °C на 55 % перевищує такий в контрольному зразку.

Література

1. Притульська Н.В. Сучасні тенденції ринку спортивного харчування / Н.В. Притульська, Д.П. Антюшко, Ю.М. Мотузка // Харчова наука і технологія. – 2012. – № 1. – С. 49–52.
2. Притульська Н.В. Огляд тенденцій світового ринку харчових продуктів для спортсменів і перспективи його розвитку в Україні / Н.В. Притульська, О.В. Хробатенко, Ю.Б. Міклашевська // Товарознавство та інновації. – 2012. – Вип. 4. – С. 186–194.
3. Richard B. Kreider ISSN exercise & sport nutrition review: research & recommendations / Richard B. Kreider, Colin D. Wilborn, Lem Taylor // Journal of the International Society of Sports Nutrition. – 2010. – Vol. 7. – № 1. – P. 1–43.
4. Bochkarev S. Research of the oilseeds ratio on the oxidative stability of the protein-fat base for sportsmen / S. Bochkarev, T. Matveeva, L. Krichkovska, I. Petrova, S. Petrov, A. Belinska // Technology Audit And Production Reserves. – 2016. – № 2/3 (34). – P. 8–12. doi: 10.15587/2312-8372.2017.96665

5. Bochkarev S. Development of the protein-fatty base of the sugar confectionery for nutrition of the sportsmen / S. Bochkarev, V. Papchenko, T. Matveeva, A. Belinska, V. Rudniev // *Technology Audit And Production Reserves*. – 2016. – № 5/3 (31). – P. 58–64. doi:10.15587/2312-8372.2016.81142.

6. Пасти шоколадні. Технічні умови: ДСТУ ISO 7374:2013. – [Чинний від 2014–03–01] . – Київ: Держспоживстандарт України, 2014. – 18 с. – (Національний стандарт України).

7. Davis J. Effects of Branched-Chain Amino Acids and Carbohydrate on Fatigue During Intermittent, High-Intensity Running / J. Davis, R. Welsh, K. Volve, N. Alderson // *International Journal of Sports Medicine*. – 1999. – Vol. 20, № 5. – P. 309–314.

8. Joshi R. Free Radical Reactions and Antioxidant Activities of Sesamol: Pulse Radiolytic and Biochemical Studies / R. Joshi, M. S. Kumar, K. Satyamoorthy, M.K. Unnikrisnan, T. Mukherjee // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2005. – Vol. 53, № 7. – P. 2696–2703.

9. Bochkarev S., Krichkovska L., Petrova I., Petrov S., Varankina O., Belinska A. (2017) Research of influence of technological processing parameters of protein-fat base for supply of sportsmen on activity of protease inhibitors / S. Bochkarev, L. Krichkovska, I. Petrova, S. Petrov, O. Varankina, A. Belinska // *Technology Audit And Production Reserves*. – № 3 (36). – P. 27–30.

10. Яшин Я. И. Какао – пища богов / Я. И. Яшин // *Химия и жизнь – XXI век*. – 2010. – № 8. – С. 44–45.

11. Твердохлеб Г.В. Технология молока и молочных продуктов / Г.В. Твердохлеб, Г.Ю. Сажин, Р.И. Раманаскас. – М. : ДеЛи принт, 2006. – 616 с.

Bibliography (transliterated)

1. Pritul's'ka N.V. Suchasni tendencii rinku sportivnogo harchuvannya / N.V. Pritul's'ka, D.P. Antyushko, YU.M. Motuzka // *Harchova nauka i tekhnologiya*. – 2012. – № 1. – P. 49–52.

2. Pritul's'ka N.V. Oglyad tendencij svitovogo rinku harchovih produktiv dlya sportsmeniv i perspektivi jogo rozvitku v Ukraini / N.V. Pritul's'ka, O.V. Hrobaten-ko, YU.B. Miklashevs'ka // *Tovaroznastvo ta innovacii*. – 2012. – Vip. 4. – P. 186–194.

3. Richard B. Kreider ISSN exercise & sport nutrition review: research & recommendations / Richard B. Kreider, Colin D. Wilborn, Lem Taylor // *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. – 2010. – Vol. 7. – № 1. – P. 1–43.

4. Bochkarev S. Research of the oilseeds ratio on the oxidative stability of the protein-fat base for sportsmen / S. Bochkarev, T. Matveeva, L. Krichkovska, I. Petrova, S. Petrov, A. Belinska // *Technology Audit And Production Reserves*. – 2016. – № 2/3 (34). – P. 8–12. doi: 10.15587/2312-8372.2017.96665

5. Bochkarev S. Development of the protein-fatty base of the sugar confectionery for nutrition of the sportsmen / S. Bochkarev, V. Papchenko, T. Matveeva, A. Belinska, V. Rudniev // *Technology Audit And Production Reserves*. – 2016. – № 5/3 (31). – P. 58–64. doi:10.15587/2312-8372.2016.81142.

6. Pasti shokoladni. Tekhnichni umovi: DSTU ISO 7374:2013. – [CHinnij vid 2014–03–01] . – Kiiv: Derzhspozhivstandart Ukraini, 2014. – 18 s. – (Nacional'nij standart Ukraini).

7. Davis J. Effects of Branched-Chain Amino Acids and Carbohydrate on Fatigue During Intermittent, High-Intensity Running / J. Davis, R. Welsh, K. Volve, N. Alderson // International Journal of Sports Medicine. – 1999. – Vol. 20, № 5. – P. 309–314.
8. Joshi R. Free Radical Reactions and Antioxidant Activities of Sesamol: Pulse Radiolytic and Biochemical Studies / R. Joshi, M. S. Kumar, K. Satyamoorthy, M.K. Unnikrisnan, T. Mukherjee // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2005. – Vol. 53, № 7. – P. 2696–2703.
9. Bochkarev S., Krichkovska L., Petrova I., Petrov S., Varankina O., Belinska A. (2017) Research of influence of technological processing parameters of protein-fat base for supply of sportsmen on activity of protease inhibitors / S. Bochkarev, L. Krichkovska, I. Petrova, S. Petrov, O. Varankina, A. Belinska // Technology Audit And Production Reserves. – № 3 (36). – P. 27–30.
10. YAshin YA. I. Kakao – pishcha bogov / YA. I. YAshin // Himiya i zhizn' – XXI vek. – 2010. – № 8. – P. 44–45.
11. Tverdohleb G.V. Tekhnologiya moloka i molochnyh produktov / G.V. Tverdohleb, G.YU. Sazhinov, R.I. Ramanauskas. – M. : DeLi print, 2006. – 616 p.

УДК 664.647.4

Бочкарев С.В., Кричковская Л.В., Трошин А.Г., Петик И.П., Белинская А.П.

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ШОКОЛАДНОЙ ПАСТЫ ДЛЯ ПИТАНИЯ СПОРТСМЕНОВ

Разработана рецептура шоколадной пасты для питания спортсменов с использованием белково-жирового композита на основе масличного сырья. Определены органолептические показатели и пищевая ценность разработанной шоколадной пасты. Установлено, что шоколадная паста с белково-жировой композитом обогащена и сбалансирована по ряду незаменимых аминокислот, полиненасыщенным жирным кислотам, пищевым волокнам. Оценены прогнозируемые сроки хранения шоколадной пасты на основе белково-жирового композита.

Bochkarev S.V., Krychkovska L., Troshin A., Petik I., Belinska A.

DEVELOPMENT OF CHOCOLATE PASTE COMPOSITION FOR SPORTSMEN

The compounding chocolate pasta was prepared to feed athletes using a protein-fat composite based on oilseed raw materials. Organoleptic indices and nutritional value of the developed chocolate paste was determined. It is established that the chocolate paste with the protein-fat composite is enriched and balanced by essential amino acids, polyunsaturated fatty acids, food fibers. The predicted shelf life of a chocolate paste based on a protein-fat composite was estimated.

Вартанян В.М., Штейнбрехер Д.О.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЗБЕРЕЖЕННЯ ЗНАНЬ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЯДЕРНОЇ ГАЛУЗІ

Вступ. Ядерна енергетика пройшла складний шлях розвитку і за півстоліття перетворилась на один із ключових стабілізуючих факторів енергетичної системи світу. Ніяка інша енергетична технологія не має такої широкомасштабної наукової потреби: як ядерної фізики, хімії, матеріалознавства, медицини тощо, до будь-якого аспекту інженерії, моделювання та закінчуючи соціальними науками. Знання з використання ядерних технологій було накопичено протягом останніх п'ятдесяти років, і вони мають бути збережені незалежно від ролі ядерної енергетики в цьому столітті. Безпека існуючих та майбутніх ядерних енергетичних установок безпосередньо залежить від того, як використовується накопичений досвід експлуатації ядерної енергетики у всьому світі.

Впровадження програми ядерної енергетики в рамках національної енергетичної стратегії вимагає комплексного розвитку багатьох аспектів національної інфраструктури. Країни, що розвивають програму ядерної енергетики, мають можливість впроваджувати сучасні системи та процеси управління знаннями (УЗ), отримуючи додаткову вигоду від збереження та розповсюдження організаційних знань.

Правильно застосоване УЗ покращує ефективність та продуктивність організації завдяки скороченню часу на повторне створення знань, впровадженню технологій, які допомагають знаходити релевантну інформацію, забезпеченню постійної наявності кваліфікованої робочої сили та ін. Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ) на початку 2012 року прогнозувало зростання ядерної потужності протягом наступних двох десятиліть. Але протягом останніх років відбулися значні зміни в складі ключових гравців у використанні ядерної енергетики по всьому світу: деякі європейські країни (наприклад, Бельгія, Німеччина, Швеція) прийняли політичні рішення про поступове згортання ядерних програм, а нові АЕС почали з'являтися в країнах, що розвиваються, і в першу чергу в регіоні Південно-Східної Азії.

У зв'язку з цим МАГАТЕ та країни-учасниці звернули увагу на необхідність збереження накопичених знань і досвіду в області ядерної енергетики в розвинених країнах з метою підтримання безпечного і ефективного функціонування діючих в світі АЕС і розвитку відповідної інфраструктури.

Аналіз досліджень і публікацій показав, що основні принципи створення програми УЗ з метою попередження втрати критичних знань, зниження ризику втрати знань через втрату носіїв розглядають такі автори як Kaplan, B., Murray E. Jennex, Vilet, J., S. Parise, Peter R. Massingham та ін.

Серед найбільш популярних підходів до УЗ можна виділити дослідження МАГАТЕ, в якому запропоновано рекомендації щодо збереження знань працівників, які виходять на пенсію. Запропонована програма складається з наступних елементів: розробка регулюючих і методичних документів; освіта й підготовка кваліфікованого персоналу в галузі ядерної енергетики та суміжних галузях; виконання спеціальних проєктів у галузі управління ядерними знаннями і підтримка внутрішніх інформаційних ресурсів, баз та порталів. Основна мета програми МАГАТЕ – допомога у формуванні культури управління ядерними знаннями, та має бути адаптований в залежності від потреб національної стратегії розвитку ядерної енергетики. Крім того, запропонований

МАGATE підхід до УЗ було адаптовано та впроваджено в успішних американських та європейських компаніях, таких як BP, Duke Energy [4], Tennessee Valley Authority (TVA) [5] та ін.

Наразі, значну увагу в розвитку підходів до управління ядерними знаннями приділяють з метою якомога повної передачі існуючих знань країнам, що розвиваються, з метою забезпечення подальшого поступового розвитку ядерної науки і техніки в світі, а також розробки інноваційних та безпечних ядерних технологій. Сьогодні за сумарною потужністю своїх реакторів Україна посідає восьме місце у світі і п'яте – в Європі. Тому розробка та впровадження сучасних міжнародних стандартів та рекомендацій щодо УЗ є важливим питанням не тільки розвитку ядерного сектору, але й безпечної експлуатації об'єктів. .

Таким чином, **актуальною задачею** є адаптація існуючих рекомендації МАGATE в області УЗ.

Метою статті є пристосування рекомендацій МEGATE щодо УЗ для використання в рамках розвитку національної енергетичної стратегії.

Управління знаннями як інструмент підвищення ефективності ядерної безпеки. УЗ відіграє важливу роль в галузі ядерної безпеки, оскільки помилки, через зокрема, втрату знань мають надзвичайно серйозні наслідки. Впровадження ефективних систем УЗ у сфері ядерної безпеки має ряд переваг, які стосуються не тільки безпеки персоналу, але й покращення ставлення громадян до розвитку ядерно-промислового комплексу, а також підвищення комерційної ефективності ядерних об'єктів. МАGATE ініціювало ряд заходів [1], пов'язаних з впровадженням УЗ в галузі ядерної енергетики для забезпечення наступництва та передачі знань. В результаті було розроблено цілісний підхід до підвищення ефективності виконання програм з використання сучасних інструментів УЗ та сприяння створенню глобальної культури обміну знаннями, тобто "підвищення безпеки в будь-якому окремому об'єкті – це поліпшення безпеки в усьому світі"[2].

Знання з управління ядерно-енергетичними комплексами складаються з двох основних компонентів: технічної інформації та неявних знань. Кожен з цих компонентів управляється як стратегічний ресурс. Наприклад, технічну інформацію легше вилучати та передавати за допомогою баз даних, документів та посібників. Підтримка навчання, як основної компетенції організації, ускладнюються, якщо неявні знання не входять в процеси навчання, що спричиняє втрату організаційної пам'яті.

Збереження експертних ядерних знань є пріоритетним напрямком роботи МАGATE. Одна з її головних ролей полягає в тому, щоб вести діяльність щодо збереження та розвитку знань, доповнюючи ініціативи урядів, промисловості та міжнародної організації. До стратегічних напрямків збереження ядерних знань відносять:

1. Інтеграція джерел інформації в портал знань ядерного сектору.
2. Стимулювання інституційних мереж для навчання в сфері ядерної енергетики.
3. Принципи та інструкції збереження ядерних знань.
4. Розповсюдження інформації щодо переваг ядерної енергетики.
5. Навчальний план для людей з університетським ступенем ядерної енергетики.

Сьогодні перед країнами, які мають діючі програми ядерної енергетики, так і країнами, які долучаються до цього процесу, стоїть проблема підтримки ядерної компетенції з ядерних технологій. Оскільки велика кількість носіїв знань (тобто експертів та працівників інтелектуальної діяльності) в усьому світі виходять на пенсію, звільняються або переходять в інші підрозділи, значна кількість знань, які є критичними для без-

печної і надійної експлуатації ядерних об'єктів [2], стає недоступною, що представляє чітку внутрішню загрозу для АЕС. Для безпечного і успішного застосування ядерних технологій, фахівці-ядерники протягом усієї своєї трудової діяльності повинні мати доступ до накопичених знань, міжнародного досвіду, вивчених уроків [3] та активно співпрацювати з дослідними інститутами та університетами. Крім того, втрата накопичених знань та експертних рішень так само може вплинути на майбутні заплановані будівництва нових атомних енергоблоків. Для вирішення поставлених задач МАГАТЕ розробило практичні вказівки [1] щодо управління ризиками втрати знань. Керівництво ґрунтується на фактичному досвіді експлуатуючих організацій МАГАТЕ та спрямоване на підвищення обізнаності про необхідність розробки інтегрованого та стратегічного підходу до збереження критичних знань, тобто його метою є формулювання цілей, які стоять перед організаціями ядерної енергетики, а саме:

- провести оцінку ризиків втрати знань для виявлення конкретних загроз;
- оцінити наслідки втрати критичних знань та навичок;
- розробити плани дій для збереження цих знань;
- використати ці знання для покращення майстерності та компетенції нових та існуючих працівників.

Крім того, в рекомендаціях МАГАТЕ зазначено, що інструменти та процеси управління ризиками втрати знань не є самостійними ініціативами, а, навпаки, повинні бути частиною загальної системи УЗ.

Ключові аспекти впровадження інструментів УЗ в проектах ядерної енергетики. Розробка та впровадження інструментів УЗ в ядерній промисловості відбулося у відповідь на старіння робочої сили : покоління, яке починало проект розробки та введення в експлуатацію АЕС, по всьому світу почало досягати пенсійного віку. З'явилась необхідність вилучення та зберігання знань фахівців для передачі їх молодшому поколінню. З цією метою УЗ поступово почали використовувати на всіх етапах життєвого циклу будівництва та експлуатації АЕС. У 2006 році (МАГАТЕ) опублікувало технічний звіт про УЗ організацій, що працюють в галузі ядерної промисловості [1], а в 2012 році рекомендації щодо УЗ для ядерних науково-дослідних організацій [4]. В цих документах УЗ визначається як комплексний, системний підхід до ідентифікації, вилучення, перетворення, розповсюдження, використання, обміну та збереження знань, що мають відношення до досягнення визначених цілей проекту. В документі визначається, що УЗ складається з трьох основних компонентів: людей, процесів і технологій, тобто зосереджує увагу на:

- людях та організаційній культурі, щоб стимулювати та підтримувати обмін та використання знань;
- процесах або методах пошуку, створення, вилучення та обміну знаннями;
- технологіях для збереження та забезпечення доступу до знань, а також для спільної роботи над проектами, навіть якщо люди фізично не знаходяться в одному місці.

В звіті МАГАТЕ [1] людина визначається ключовим і найважливішим елементом УЗ, адже управління знаннями співробітників залежить від бажання людей ділитися та повторно використовувати знання. Крім того, в звіті відзначається, що управління інформацією та знаннями є невід'ємною частиною системи управління операційною діяльністю організації.

Для визначення ефективних шляхів управління знаннями, необхідно визначити ключові компоненти знань та їх природу. В рекомендаціях МАГАТЕ Знання визначається як поєднання досвіду, відповідної інформації та експертного розуміння, який

пропонує структуру для оцінки та інтеграції нового досвіду та інформації. В організаціях знання часто закріплюються не тільки в документах, але й в організаційних заходах, практиці, методах та нормах [5].

Знання можна розглядати як індивідуальне або колективне. Індивідуальні знання існують у головах співробітників, тоді як колективне знання існує у колективних діях груп та організацій [2].

Як відомо, знання можна розділити на дві групи: 1) неявні знання; 2) явні знання. Явні знання – це найкращі практики, практичні навички, спеціальні ноу-хау, які зберігаються в електронному або друкованому вигляді та використовуються для створення баз даних, технічної документації, проектної документації, навчального процесу та ін. Явні знання можуть бути кодифіковані та передані у визнаній і систематичній мові [3].

Неявні знання – індивідуальні знання, які важко формалізувати чи чітко виразити. Неявні знання за самою своєю природою не можуть бути легко вилученими та зафіксованими традиційними засобами. Неявні знання, перш за все, формують ключову компетенцію організації, і їх складніше зберігати та передавати. Якщо передача неявних знань не була включена в організаційний навчальний процес, відбувається втрата організаційної пам'яті, як тільки носії ключових компетенцій залишають організацію (вихід на пенсію, переміщення на іншу посаду та ін.).

Знання (явні та неявні), дані та інформація, критичні для функціонування об'єкту ядерної енергетики, формуються на початкових етапах досліджень та розробок, а використовуються на протязі всього життєвого циклу ядерного об'єкта, включаючи виведення з експлуатації. Наприклад, накопичення експериментального досвіду (отриманих уроків) для навчання нового персоналу, або підвищення кваліфікації діючого персоналу. Крім того, критичними є знання щодо аварійних ситуацій, розповсюдження яких має велике значення для безпечної експлуатації АЕС. На рис. 1 зображено фази руху знань в проєкті ядерної енергетики.

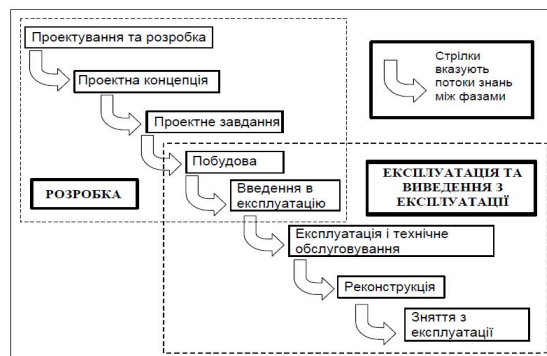


Рисунок 1 – Передача знань через етапи життєвого циклу АЕС

Для розробки системи УЗ, що дозволить зберігати критично важливі знання (КВЗ) в процесі реалізації проєктів ядерної енергетики, необхідно враховувати особливі характеристики, притаманні знанням ядерної галузі [1].

Хоча ядерна енергетика має деякі спільні риси з іншими складними системами, перелічимо особливості, які притаманні проєктам ядерної галузі, найважливішими з яких є наступні:

1. Високі вимоги до знань у різних галузях.

Управління об'єктами ядерної енергетики вимагає потребує рівня знань практично в кожній галузі науки і техніки. Мультидисциплінарність ядерної галузі вимагає

підготовки кваліфікованих кадрів з різних дисциплін та рівнів освіти, що є критично важливими для цілісності та безпечної експлуатації об'єктів. Варто відзначити, що отримання вищої освіти часто є лише початком створення компетенції.

2. Тривалий час для реалізації проектів.

Створення програми ядерної енергетики є довгостроковим зобов'язанням держави. Це передбачає десятиріччя планування, будівництва та експлуатації, а потім ще кілька років виведення з експлуатації та переробки відходів. Таким чином, тривалість проектів ядерної галузі може досягати 100 років, що зумовлює зміну поколінь працівників станцій, і, як наслідок, потребу передачі знань від старіючого покоління молодшому. Вимога підтримувати знання та людей, що є власниками організаційних знань протягом такого тривалого періоду, вимагає співпраці між урядом, промисловістю та освітніми установами, щоб гарантувати, що знання ефективно вилучаються, зберігаються та передаються.

3. Високий рівень державного регулювання галузі.

Ядерна енергетика, безумовно, є однією з найбільш регульованих галузей, що охоплює безпечну експлуатацію об'єктів, охорону здоров'я, захист навколишнього середовища та ін. Забезпечення цих процесів залежить від компетентності органів державного регулювання, які можуть контролювати діяльність об'єктів протягом усього життєвого циклу. Ряд міжнародних та регіональних організацій, таких як МАГАТЕ, Європейська спільнота з атомної енергії (Євратом) та ін., мають підтримувати знання та компетентність у галузі охорони ядерних технологій.

4. Комплексна інфраструктура галузі.

Успішна реалізація програми ядерної енергетики вимагає широкої інфраструктури, що включає в себе: ядерні об'єкти, науково-дослідні організації, органи державного регулювання, урядові департаменти з профільною експертизою та навчальні заклади з відповідними програмами підготовки фахівців.

Перелічені характеристики свідчать про те, що підготовка кваліфікованих кадрів та розвиток інфраструктури має вирішальне значення для успіху держави у реалізації ядерної енергетики. Крім того, значний вплив на ефективність реалізації ініціатив з УЗ має процес управління очікуваннями зацікавлених сторін. Встановлення прозорих та чітких цілей УЗ та створення культури обміну знаннями сприяє прискоренню інтеграції УЗ в різні сфери діяльності організації: стратегічне планування; аналіз та прийняття рішень; реалізація проектів; оцінка результатів діяльності.

Еталонна модель Фраунгхофера, представлена на рис. 2, визнана найбільш цілісною та використовується для стандартизації УЗ в Європі [5].

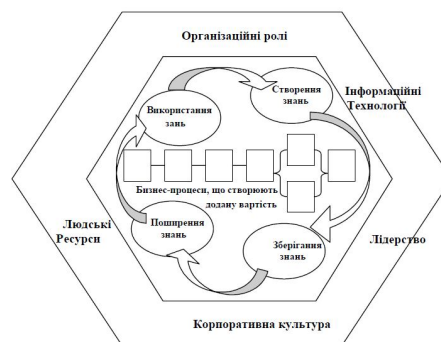


Рисунок 2 – Еталонна модель Фраунгхофера для управління знаннями

Модель представляє собою трьохступеневу схему, яка описує взаємозв'язок між бізнес-процесами, що створюють додану вартість, чотирма основними процесами управління знаннями та шістьма складовими елементами організації.

Представлена модель може бути застосована на різних організаційних рівнях: в межах однієї організації, відділу або окремої робочої групи залежно від організаційних потреб або ресурсів. Незалежно від рівня та масштабу впровадження системи, визначають три фази реалізації ініціатив з УЗ [1]:

1. Визначення контексту та цілей УЗ (можуть включати сприяння обміну знаннями, покращення управління явними знаннями, сприяння створенню інновацій та нових знань) і розробка стратегічного плану для УЗ в організації. Метою цього етапу є розуміння внутрішнього та зовнішнього середовища організації шляхом розгляду його стратегії, можливостей, культури та стимулів.

2. Впровадження та оцінка УЗ. Для ефективного впровадження інструментів УЗ організації повинні зробити такі кроки: забезпечити організаційну структуру для реалізації стратегії УЗ; виділити адекватний бюджет для запланованих заходів; розробити мотиваційну систему для заохочення персоналу у реалізації процесів УЗ; забезпечити зворотний зв'язок для постійного вдосконалення процесу. В економіці, що базується на знаннях, обмін знаннями – це не просто альтернативний стратегічний варіант, це необхідна складова для організаційного розвитку та виживання в умовах жорсткої високотехнологічної конкуренції. Необхідно впровадити заходи з агрегації та обміну знаннями, а в рамках організації слід розвивати більш відкриту до обміну знаннями культуру. Вилучення знань, які вже отримані одним із працівників, та додавання до них знань інших працівників призводить до значно кращих результатів, ніж повторна індивідуальна робота над проблемою.

3. Визначення «білих плям» в структурі організаційних знань. Цей етап заохочує до дослідження "бажаного" середовища знань. Основою для аналізу середовища знань є чотири елементи – люди, процес, технологія та зміст. Аналіз «білих плям» знань може виявити ряд недоліків або слабких місць, які можуть включати перешкоди обміну знаннями, проблеми з управлінням явними знаннями, відсутність обізнаності про неявні знання тощо.

4. Сприяння у використанні знань. Метою цього етапу є вибір та впровадження підходів, методів та інструментів для вирішення виявлених «білих плям». Крім того, розробляється система мотивації, яка заохочує співробітників не тільки використовувати накопичені знання, але ділитися своїми знаннями. УЗ не закінчується реалізацією ініціативи щодо його впровадження. Це процес постійного моніторингу та контролю навколишнього середовища та організаційної стратегії з метою подальшого доопрацювання та вдосконалення. Явні та неявні знання, отримані в результаті реалізації стратегії з УЗ, повинні бути збереженими, керованими та загальнодоступними. Одним із варіантів сприяння у використанні знань є створення спільнот практиків. Механізм використання спільнот практиків для УЗ відомий під різними назвами, такими як тематичні групи, навчальні спільноти, навчальні мережі, команди з найкращою практикою тощо. По суті, це формування професійних груп, що полегшує добровільне об'єднання співробітників, з метою обговорення спільних тем та розповсюдження власних знань. Хоча спільноти практиків повинні бути інтегровані в стратегію компанії та її організаційну структуру, однак, вони є неієрархічним явищем. Крім того, досвід реалізації такого інструменту також показує, що спільноти практиків активно розвиваються, коли їх учасники щиро захоплені спільною метою.

5. Модернізація процесів управління інформацією. Успішні в УЗ організації визнали, що створення веб-сайтів та використання ІТ-інструментів з УЗ не забезпечує створення та передачу знань. Працівники припиняють відвідувати розроблені веб-сайти або використовувати запропоновані ІТ-інструменти, якщо спільнота практиків не сприяє зміцненню (верифікації, наповнення та ін.) цих інструментів. ІТ-інструменти створюються з метою полегшення обміну знаннями серед користувачів, а не для створення перешкод розвитку корпоративної культури спільного використання знань шляхом запровадження складних технічних рішень [3].

Елементи, які, як правило, є частиною існуючих методів УЗ для організації діючої АЕС (незалежно від того, визнаються вони такими чи ні) представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Елементи управління знаннями

Елемент УЗ	Складові елементу УЗ
Політика та процедури об'єкту	– визначення та вимоги системи управління; – політика та процедури безпеки (як ядерні, так і промислові); – адміністративні процедури; – технічні процедури та інструкції; – аномальні та надзвичайні операційні процедури; – план надзвичайних ситуацій.
Контроль документів	– інженерні креслення; – аналіз безпеки; – технічні посібники; – результати тестування та моніторингу;
Управління конфігурацією	– контроль стану підприємства; – модифікація заводу та контроль зміни.
Навчання та кваліфікація	– затверджені навчальні матеріали; – достовірність тренажерів, лабораторій і обчислювальних центрів; – навчальна та кваліфікаційна документація; – екзаменаційна документація; – передпроектна документація; – наставництво та навчання; – підвищення продуктивності роботи працівників.
Отриманий досвід	– аналіз внутрішніх та зовнішніх показників; – документування подій, які впливають на проект; – контроль внесення змін; – конструктивне анкетування; – бенчмаркінг (внутрішній та зовнішній).
Система управління роботою	– система документообігу для повсякденної роботи; – документування виконаних робіт; – фіксування винесених уроків після закінчення роботи; – аналіз виконаної роботи та пошук шляхів подальшого покращення процесу реалізації проекту.
Відстеження коригувальних дій	– виявлення існуючих недоліків роботи та їх плановане вирішення; – документування попередніх коригувальних дій;
Управління людськими ресурсами	– організаційний план організації; – плани набору персоналу; – плани утримання персоналу; – план виходу на пенсію персоналу, який займає ключові позиції; – індивідуальні плани розвитку працівників; – оцінка результатів роботи персоналу.

Комунікації	– інформація про стан підприємства; – корпоративна розсилка та інші повсякденні комунікації; – інформація, зафіксована та розповсюджена на засіданнях керівництва; – організація зворотного зв'язку від співробітників; – проведення експертних перевірок; – проведення опитування після виконання завдання; – звіт про виникаючі перешкоди, невдачі та можливості покращення процесів; – корпоративна культура та лідерство керівників; – спільнота практиків для структурованого обміну та створення знань.
Веб-рішення	– точки доступу до адміністративної та технічної інформації, включаючи більшу частину інформації / знань, визначених вище – затверджені зовнішні веб-сайти для порівняльного аналізу та досліджень.

Усі діючі АЕС мають певні програми для вилучення, збереження та отримання значної кількості інформації та знань, визначених вище. Тому реалізація програми УЗ полягає в покращенні використання існуючих програм для підприємств через наступні кроки:

- виявлення ризиків у сфері операційної діяльності та безпеки завдяки відсутності знань (наприклад, оцінка ризиків втрати знань, з метою визначення міри ризику втрати критичних для функціонування АЕС знань);
- збільшення вартості існуючих знань (за допомогою механізмів забезпечення доступу до накопиченої інформації та знань на робочому місці);
- перетворення неявних знань у явні знання (у випадку, коли результат кодифікації неявних знань відповідає вартості або критичності цих знань);
- покращення експлуатаційних показників шляхом створення нових та покращення доступу до існуючих знань;
- ефективна передача знань від старіючих співробітників молодим працівникам;
- вдосконалення стратегічного планування та процесу прийняття рішень за допомогою системи доступу до достовірної інформації та актуальних знань.

Важливим фактором вдосконалення ядерної освіти та підготовки молодих талантів є співпраця між промисловістю, університетами та урядом. Налагоджений діалог між науковою сферою та ядерною галуззю має ряд переваг для обох сторін: по-перше, навички та компетентність людей, що закінчують університет, більше відповідають потребам галузі, і тому організація витратить менше часу на випробувальний термін та перепідготовку; по-друге, під час діалогу між університетами та галуззю можна краще визначити можливі сфери співпраці. Існує кілька способів залучення галузі до академічної освіти:

- забезпечення стажування для практичного навчання студентів;
- фінансування наукових розробок в дослідницьких лабораторіях університетів;
- участь фахівців галузі у навчальному процесі університету;
- створення дослідницьких проектів з університетами;
- підвищення кваліфікації працівників галузі в університетах.

Мережа навчальних закладів вважається ключовою стратегією розвитку потенціалу та кращого використання наявних освітніх ресурсів.

Перспективи розвитку використання інструментів УЗ в ядерній галузі. Спираючись на припущення МАГАТЕ [6] щодо поступового збільшення обсягів використання ядерної енергії та впливу технічного прогресу на розробки в цій галузі, інтенсивність використання УЗ буде збільшуватися в майбутньому принаймні з чотирьох причин:

1. Нові країни, що долучаються до ядерної програми.

МАГАТЕ [6] стверджує, що більшість нових заводів будуватимуться в країнах, що розвиваються. Нові учасники наразі не мають необхідної компетенції в галузі ядерної енергетики та повинні використовувати міжнародний досвід та підготовлених спеціалістів, з метою створення міцної ядерної інфраструктури, яка розвивається ядерними державами протягом багатьох десятиліть. Постачальники та їх науково-дослідні інститути, навчальні організації та органи державного регулювання ядерної безпеки мають вирішальне значення для процесу передачі знань. Крім того, для підтримки цих процесів необхідна чітка стратегія УЗ на національному рівні.

2. Експлуатація обладнання.

У зв'язку з ростом кількості підприємств очікується збільшення всіх видів діяльності, які пов'язані з розвитком ядерної енергетики (таких як видобуток урану, транспортування та переробка відходів, розробка інформаційно-керуючих платформ та ін.). Науково-дослідна діяльність в сфері ядерної енергетики набуває розвитку, тому спільні проекти, які реалізуються в межах однієї організації, так і спільні науково-дослідні проекти потребують використання інструментів УЗ.

3. Нові проекти.

Зростаюча кількість нових проектів потребує постійного регулювання на всіх етапах проекту: проектування, постачання, ліцензування, експлуатації та ін. Постачальники технології можуть бути залучені до декількох проектів, які потребують ретельного розподілу досвідчених людських ресурсів. Постачальникам і виробникам необхідно забезпечити високі стандарти якості, необхідні для ядерного обладнання. Іншими словами, швидкий розвиток системи постачання потребує регулювання компетенцій та якості. Крім того, існує технологічний виклик, на вирішення якого направлені сучасні наукові дослідження: найближчим часом нові проекти будуватимуть з так званих Generation III / III+, тобто, еволюційних реакторів з підвищеним рівнем безпеки, в той же час ядерна промисловість все ще має розробити реактор Generation IV [7]. Очікується, що вони отримають суттєве підвищення ефективності та безпеки, за рахунок використання нових будівельних матеріалів, палива та інформаційних технологій.

4. Освіта.

Необхідно підвищити кількість людей, які володіють ядерними знаннями, незалежно від статусу країни в ядерній політиці. Тобто, навчання спеціалістів може проводитись навіть в країнах, які згортають ядерні проекти, доки не буде безпечно виведено з експлуатації діючі АЕС. Підвищення вимог до підготовки спеціалістів є однією з головних проблем, враховуючи соціально-політичний вплив урядових рішень на загальні питання розвитку освіти, науки та технологій. Вирішення цих проблем є набагато більшим, ніж просто відкриття нових курсів. Сама природа ядерних технологій полягає в тому, що формальна освіта часто є лише початком навчального процесу, а необхідний практичний досвід для отримання необхідної компетенції можливо отримати лише на виробництві. Без спільного бачення стратегії розвитку технології та освіти нарощування потенціалу з управління ядерною енергією неможливе.

Висновки. Знання є ключовим ресурсом більшості організацій у сучасному світі, оскільки інтелектуальний капітал визнається основним активом, вилучення, збереження та використання якого стало критичним елементом процесу формування бізнес-стратегії. АЕС використовують УЗ не тільки для підвищення ефективності, але й для безпечної експлуатації об'єктів. Тобто, ефективне управління ядерними знаннями, в першу чергу, забезпечує постійну наявність кваліфікованої робочої сили. Крім того, критичною проблемою, як показала аварія на АЕС Фукусіма1, є спосіб отримання спеціалізованих знань від промисловості та національних лабораторій, в ситуації, коли ці знання безпосередньо впливають на рівень безпеки людей.

Таким чином, повна реалізація рекомендацій МАГАТЕ, представлених в статті, щодо етапів та інструментів УЗ, є важливим для досягнення високого рівня безпеки та організаційної ефективності ядерно-енергетичного сектора країни.

Перелічені перспективи розвитку ядерного сектору дають можливість зробити висновок, що подальший розвиток ядерної енергетики в Україні слід зосередити на модернізації інфраструктури та підготовці кваліфікованих кадрів. Накопичений протягом останніх 40 років [8] досвід має бути збереженим та доступним для навчання наступного покоління співробітників.

Подальше дослідження буде направлене на адаптування рекомендацій МАГАТЕ до інфраструктури, що діє в Україні, та розробку рекомендацій щодо покрокової реалізації стратегії УЗ в ядерній енергетиці.

Література

1. Knowledge Management for Nuclear Industry Operating Organizations [Electronic resource] // International Atomic Energy Agency. – URL: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1510_web.Pdf (accessed 15.01.2018).
2. Risk Management of Knowledge Loss in Nuclear Industry. International Atomic Energy Agency [Electronic resource] // International Atomic Energy Agency. – URL: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1248_web.pdf (accessed 15.01.2018).
3. Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050 [Electronic resource] // International Atomic Energy Agency. – URL: <http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10939/Energy-Electricity-and-Nuclear-Power-Estimates-for-the-Period-up-to-2050> (accessed 15.01.2018).
4. Knowledge Management for Nuclear Research and Development Organizations [Electronic resource] // International Atomic Energy Agency. – URL: <http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/8644/Knowledge-Management-for-Nuclear-Research-and-Development-Organizations> (accessed 15.01.2018).
5. Durham, L. Knowledge management for nuclear industry operating organisations [Text] / L. Durham, et al // International Journal of Nuclear Knowledge Management. – 2009. – Vol. 3, No. 2. – P. 183–190.
6. Jennex, M. E. Assessing Knowledge Loss Risk [Text] / M. E. Jennex, A. Durcikova // System Sciences (HICSS) : 46th Hawaii International Conference on System Sciences. – IEEE, 2013. – P. 3478–3487.
7. Overview of Gen IV Reactor Systems Development [Electronic resource] // International Atomic Energy Agency. – URL: https://www.iaea.org/NuclearPower/Downloadable/Meetings/2014/2014-03-04-03-05-GIF-INPRO/1_Overview_of_Gen_IV_Reactor_Systems_Development.pdf (accessed 15.01.2018).

8. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. [Електронний ресурс] // Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. – URL: <https://de.com.ua/uploads/0/1703-EnergyStratagy2030.pdf> (доступний 15.01.2018).

Bibliography (transliterated)

8. Enerhetychna stratehiya Ukrayiny na period do 2030 r. Ministerstvo enerhetyky ta vuhil'noyi promyslovosti Ukrayiny. Available at: <https://de.com.ua/uploads/0/1703-EnergyStratagy2030.pdf> (accessed 15.01.2018).

УДК 65.012.45

Вартанян В.М., Штейнбрехер Д.А.

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОХРАНЕНИЮ ЗНАНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ
ЯДЕРНОЙ ОТРАСЛИ**

Адаптация рекомендаций МАГАТЭ позволяет сохранять и передавать накопленные в течение пятидесяти лет знания в области ядерной энергетики с целью поддержки безопасного и эффективного функционирования действующих АЭС. В статье проанализирована природа явных и неявных знаний, а так же аспекты управления знаниями в ядерной энергетике. Представленные фазы реализации инициатив в УЗ, позволяющие сохранять знания сотрудников, которые в скором времени могут покинуть организацию. Проанализированы перспективы использования инструментов УЗ в контексте развития ядерных технологий в мире.

Vartanyan V.M., Shteinbrekher D.O.

**MODERN APPROACHES TO KNOWLEDGE PRESERVATION AT NUCLEAR
INDUSTRY ENTERPRISES**

Adapting the IAEA recommendations allows the nuclear knowledge preservation and transfer over fifty years of nuclear energy development. The main aim is supporting the safe and efficient operation of existing nuclear power plants. The article analyzes the nature of explicit and implicit knowledge, as well as aspects of knowledge management in nuclear energy development. The presented phases of the knowledge management allows you to preserve the knowledge of employees who will soon be able to leave the organization. The prospects of using knowledge management tools in the context of the development of nuclear technologies in the world were analyzed.

«ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Ежеквартальный научно-практический журнал

Редколлегией к опубликованию принимаются статьи по следующим научным направлениям:

- ✓ *энергетика и энергосбережение; энерготехнология энергоемких отраслей промышленности; нетрадиционная энергетика; ресурсосбережение; энергетика и окружающая среда;*
 - ✓ *теплоиспользующие установки; моделирование процессов промышленного оборудования; процессы и аппараты различных отраслей промышленности (химической, пищевой, мед. оборудования и проч.);*
 - ✓ *применение ЭВМ в технологических процессах; автоматизированные системы управления и обработки информации;*
 - ✓ *тепло- и массообменные процессы и оборудование специальной техники; тепловые процессы и криогенное оборудование медицинского назначения;*
 - ✓ *электроэнергетика; оборудование электростанций и передача электроэнергии;*
 - ✓ *экономические аспекты энергетики и промышленной экологии; коммерческий инжиниринг, реинжиниринг и технологический менеджмент,*
- а также другим направлениям, на стыке различных отраслей знаний.*

Материалы к опубликованию в каждый последующий номер принимаются до 20 числа последнего месяца предыдущего квартала. Рукописи авторам не возвращаются.

Материал должен быть подготовлен на IBM-совместимом компьютере и распечатан в 2-х экземплярах. К материалам должен прилагаться CD-диск со статьей, набранной в редакторе текстов MS Word for Windows версий 97, XP, 2000 или 2003.

К статье необходимо приложить экспертное заключение о возможности опубликования материалов в открытой печати и рецензию доктора наук по профилю подаваемой статьи.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ:

Размер бумаги А4 (210х297 мм); левое и правое поля – 25 мм, верхнее и нижнее – 30 мм; рекомендуемый шрифт Times New Roman Суг; размер шрифта – 12; межстрочный интервал – 1.

ПОРЯДОК РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛА:

- непосредственно под верхней границей слева БОЛЬШИМИ БУКВАМИ печатается УДК статьи;
- пропустив одну строку, по центру печатаются инициалы и фамилии авторов;

- пропустив одну строку, по центру полужирным шрифтом **БОЛЬШИМИ БУКВАМИ** печатается название статьи;
- пропускается одна строка и с абзаца (1,25 см) печатается основной текст, отформатированный по ширине страницы;
- перед и после формул и уравнений должно быть расстояние в одну пустую строку до текста с интервалом 1;
- формулы и уравнения должны быть выровнены по центру;
- номера формул и уравнений выровнены по правому краю;
- размер шрифта формул и уравнений для основного текста – 12 пт.;
- рисунки, схемы и графики должны быть выполнены в черно-белом изображении;
- пропустив одну строку, следует список литературы, оформленный в соответствии с требованиями ДСТУ;
- дальше размещается транслитерация списка литературы;
- в конце статьи на украинском (русском – для статьи на украинском языке), русском и английском языках должны быть напечатаны УДК, авторы, название и аннотация.

Статьи, рекомендуемые к опубликованию членами редколлегии, не проходят рецензирования. Остальные статьи рецензируются.

АДРЕС РЕДКОЛЛЕГИИ

Украина, 61002,
Харьков-2, ул. Фрунзе, 21,
НТУ «ХПИ», редколлегия журнала
«Интегрированные технологии и энергосбережение»,
секретарю редколлегии Горбунову К.А.

Тел. (057) 707-69-58.

Факс (057) 720-22-95.

Email: gor.kona2016@gmail.com

**СТАТЬИ, ОФОРМЛЕННЫЕ НЕ В СООТВЕТСТВИИ С ПРАВИЛАМИ,
РЕДКОЛЛЕГИЕЙ НЕ РАССМАТРИВАЮТСЯ**

**НА ЖУРНАЛ ОТКРЫТА ПОДПИСКА
В ПОЧТОВЫХ ОТДЕЛЕНИЯХ УКРАИНЫ**

Наукове видання

Щоквартальний науково-практичний журнал

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

1'2019

Технічний редактор *К. О. Горбунов*

Підп. до друку 13.03.2018 р. Формат $60 \times 84 \frac{1}{8}$. Папір офсетний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 5,2. Наклад 300 пр. 1-й з-д 1–60.
Зам. № 37. Ціна договірна.

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

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