

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА

DOI: 10.31319/2519-2884.40.2022.17

УДК 621.311.16

А.О. Чейлитко, проф., д.т.н., cheilytko@gmail.com

С.В. Башлій, доцент, к.т.н., bsv.zgia2017@gmail.com

С.Є. Чижов, ст. викладач, rushse@i.ua

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету, м. Запоріжжя

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОСТРОКОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ПАЛЬНИКІВ ЧАСТКОВОГО ПОПЕРЕДНЬОГО ЗМІШУВАННЯ НА КАМЕРНИХ ТЕРМІЧНИХ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ПЕЧАХ

Розглянуто досвід промислового впровадження пальників часткового попереднього змішення на камерних термічних рециркуляційних печах ВАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» ім. Кузьміна». Проаналізовані експериментальні дослідження теплової роботи печей, обладнаних запропонованими пальниками. Показана технічна можливість і економічна ефективність реалізації сучасного імпульсного способу опалювання при модернізації опалювальних систем всіх печей цеху.

Ключові слова: термообробка, пальниковий пристрій, надійність і стабільність факела, імпульсний спосіб опалювання, температурний режим.

Experience of industrial introduction of gas-rings of the partial preliminary mixing is considered on the chamber thermal recirculation stoves of OAO the «Electrometallurgy factory of «Dneprospetsstal'» the name of Kuz'mina». Experimental researches of thermal work of stoves, equipped by the offered gas-rings are analysed. Economic feasibility and economic efficiency of realization of modern impulsive method of heating during modernization of the heatings systems of all stoves of workshop is rotined.

Keywords: heat treatment, gas-ring device, reliability and stability of torch, impulsive method of heating, temperature condition.

Постановка проблеми

Питання зниження собівартості продукції є актуальною проблемою будь-якого металургійного підприємства. Через призму економічної ефективності розглядається будь-яка операція переділу і виробництва металопродукції. Крім того, постійне посилювання вимог до якості металу обумовлює вживання легованих сталей з високим ступенем чистоти, жорсткими вимогами до хімічного складу і режимів термічної обробки. Термічна піч повинна відповідати цим вимогам і забезпечувати точне виконання заданих режимів термообробки і рівномірність температурного поля у всьому об'ємі робочого простору та на поверхні складної садки при мінімальних витратах палива [1—4].

Камерні рециркуляційні печі термічного цеху ВАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» ім. Кузьміна» призначені для нормалізації, загартування, а також для пом'якшувального, протифлоксеного і структурного відпалу зливків, поковок, заготовок, сортового і бунтового прокату та підкату. Печі універсальні по виконуваних режимах і видах термообробки, формі і розмірах оброблюваної продукції. Ці ж печі здатні обробляти малі партії сталей різних марок однакового розміру та профілю перетину по одному режиму.

Проектний варіант пічного відділення цеху містить 26 печей, опалювальних коксодоменою сумішшю з теплою згоряння $6,7 \text{ МДж/м}^3$. Максимальна витрата газу на піч складає $800 \text{ м}^3/\text{год.}$, повітря — $1250 \text{ м}^3/\text{год.}$, маса садки — до 32 т. При цьому середня продуктивність печі — $1,5 \text{ т/год.}$, витрата умовного палива на 1 т металу — 360 кг. Проектом в печі передбачені рельєфний під, дев'ять підподових топков, рециркуляційні та вихідні канали, розташовані на рівні поду. Димохідні канали, розташовані в стінах, захисні жароміцні екрани, встановлені на виході

з топки, заслінка завантажувального вікна, розміщена в передньому торці печі. У восьми основних топках пальники встановлені в шаховому порядку по одній в кожній топці. Вони мають самостійні регулюючі органи газу і повітря, які при максимальних витратах створюють несприятливі аеродинамічні умови руху, оскільки циркуляційні контури кожної зони гальмують один одного. А в період витримки, коли витрата на піч скорочується до 400...500 м³/год, взагалі не забезпечується стійка рециркуляція. Допоміжна топка, призначена для створення теплової завіси між заслінкою і садкою, опалюється двома пальниками, направленими один назустріч іншому. Ця топка своїх функцій не виконує. В результаті сторона садки, звернена до заслінки, відстає за швидкістю нагріву. Таким чином, із-за нерівномірності нагріву як по довжині, так і по висоті садки, доводиться збільшувати період витримки. Як наслідок в результаті зменшується продуктивність печі і зростає витрата палива [5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Однак, до теперішнього часу пічне устаткування термічного цеху ВАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» ім. А.М. Кузьміна» зазнало значні зміни в порівнянні з проектним варіантом. Глибокій модернізації піддалися як конструкції камерних печей, так і способи та режими їх опалювання. Що, у свою чергу, спричинило кардинальну переробку і удосконалення конструктивних елементів існуючих базових пальникових пристроїв.

По-перше, були проведені конструктивні зміни в робочому просторі печі. Заглушено 4 пальники лівої сторони, практично удвічі розширені підповоді топки, вихідні і рециркуляційні канали, зняті жароміцні екрани. З 10-тизонної печі з двостороннім шаховим розташуванням пальників піч перетворилася на 5-тизонну з одностороннім опалюванням. Одностороннє розташування пальників виключило гальмівний вплив сусідніх контурів рециркуляції і створило єдиний потік газів за всім обсягом печі. Крім того, при загальних витратах газу і повітря на піч, що збереглися, пропорційно збільшилася швидкість циркуляційного потоку. За рахунок новаторського рішення в конструкції топки і зміни профілю поду значно знижені гідравлічні опори, що забезпечило стійкий контур первинної рециркуляції. Додатково був створений вторинний контур рециркуляції для просмоктування газів з робочого простору через центральну частину садки. Для цього в центрі поду в підповодій топці передбачено ступінчасте розширення, в районі якого виконано вікно вторинної рециркуляції. Таким чином, вдалося добитися стабільного подвійного контуру рециркуляції в кожній із зон в сталому аеродинамічному режимі, що істотно підвищило рівномірність нагріву за об'ємом садки і, отже, значно поліпшило якість термообробки високолегованих марок сталей [6—9].

По-друге, наступним кроком, направленим на підвищення продуктивності печі, зниження витрати палива і збільшення рівномірності нагріву садки стало впровадження на ділянці печей імпульсного способу опалювання. Цей сучасний перспективний метод опалювання зажадав надійного пальникового пристрою, що стабільно працює в широкому діапазоні теплового навантаження і в максимально можливих діапазонах зміни співвідношення «газ-повітря». Обмежений діапазон зміни теплового навантаження і низька стійкість до відриву полум'я вживаних пальників типу «труба в трубі» фактично унеможливив використання автоматичних систем регулювання і імпульсного способу опалювання без додаткових складних і дорогих систем наявності факела і запальних пристроїв. Таким чином, існуючі проектні пальники не могли забезпечити необхідні параметри. Тому було прийнято рішення про розробку нової конструкції пальника.

Моделювання факторів, що впливають на енергоефективність печі, також виконано за допомогою композиційного методу геометричного моделювання [9]. В основі методу лежить точковий підрахунок Балюби-Найдиші. Він передбачає геометричну формалізацію всіх вхідних факторів (параметрів) і побудову геометричних матриць. Це дає можливість під час моделювання працювати одночасно цінності різної фізичної природи. Метод також дозволяє зручно 3D-візуалізувати всі етапи моделювання та застосування отриманої моделі в інформаційній системі керування режимами нагріву металу.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є розробка нової конструкції пальникового пристрою, що буде задовольняти підвищеним вимогам до відриву і проскакування полум'я.

При виконанні роботи використовувались: розрахунково-теоретичний метод, що базується на використанні класичних законів тепломасообміну, основних законів термодинаміки; експериментальні методи дослідження; сучасні методи математичної обробки результатів досліджень, в тому числі ймовірісно-статистичні методи аналізу, дослідно-промислові випробування.

Виклад основного матеріалу

Колективом Інженерного навчально-наукового інституту Запорізького національного університету спільно з теплотехнічною лабораторією ВАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» ім. А.М. Кузьміна» була розроблена нова конструкція пальника, що задовольняє цим підвищеним вимогам до відриву і просакування полум'я [7, 8]. Модернізований пальник представлений на рис. 1.

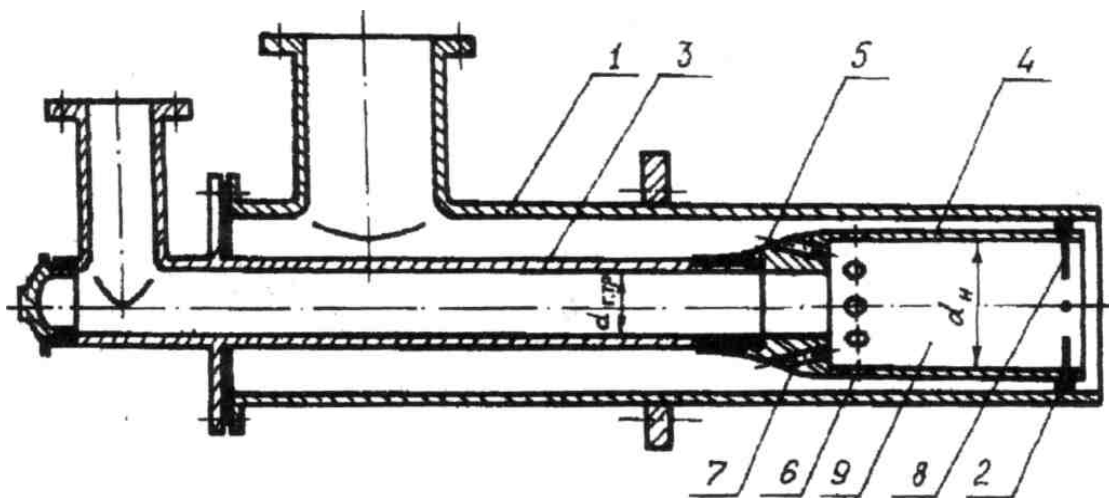


Рис. 1. Конструкція модернізованого пальникового пристрою: 1 — повітряпідвідний корпус; 2 — стабілізуючі розсікачі; 3 — газопідвідна труба; 4 — модернізований наконечник; 5 — плавний перехідник-обтікач від газової труби до наконечнику; 6 — ділянка раптового розширення с радіальними отворами для підсосу первинного повітря; 7 — нахилені отвори для підсосу первинного повітря в плавному переході; 8 — центруючі завихорювачі; 9 — камера попереднього змішування паливо-повітряної суміші

Як основа був взятий базовий пальник типу «труба в трубі», в якому вдосконалена конструкція носика пальникового пристрою. Співвідношення внутрішніх діаметрів центральної газової труби 3 і наконечника 4 складає 0,4. Вхідні повітряні отвори для підсосу первинного повітря розташовані на ділянці раптового розширення радіально 6 і похило 7 в плавному переході 5 від центральної газової труби до наконечника. Для центрівки та фіксації наконечника, а також для додаткового завихорювання газоповітряної суміші на виході у повітряпідводящому корпусі 1 хрестоподібно встановлені розсікачі 2. При роботі пальників були випробувані різні комбінації перерозподілу витрат палива і повітря, включаючи граничні, коли витрата повітря була максимально можливою, а витрата палива мінімальною. На всіх без виключення режимах робота пальників відрізнялася стійкістю до відриву. В умовах працюючої печі зафіксована стабільна робота пальників при співвідношенні «газ-повітря» 1:25, діапазон регулювання по тепловій потужності склав 1:40.

В печі у першій зоні для компенсації теплових втрат через заглинку замість двох зустрічно розташованих пальників встановили спеціально розроблений пальник аналогічної конструкції, але підвищеної теплової потужності. Співвідношення внутрішніх діаметрів центральної газової труби і наконечника в ній збільшене до 0,6; при цьому номінальна теплова потужність зросла від 300 до 800 кВт.

Таким чином, завдяки модернізованим пальникам з'явилася можливість повною мірою реалізувати всі переваги імпульсного способу опалювання, а саме збільшення конвективної

складової теплообміну за рахунок підвищеної швидкості руху рециркуляційного контуру і, отже, скорочення часу витримки та нагріву в середньому на 2...3 години.

Досліджуючи стабілізацію полум'я можна зробити висновки, що вплив на межі стабілізації надає підігрів та охолодження стабілізаторів. Нагрівання стабілізатора, сприяючи підвищенню температури свіжої суміші та продуктів згоряння, призводить до розширення меж стабілізації. На стабілізацію впливає і турбулентність потоку, що набігає. Збільшення ступеня турбулентності спричиняє звуження меж стабілізації. Це можна пояснити збільшенням максимальних значень миттєвої швидкості потоку, що набігає на стабілізатор. Відповідно до наведеного пояснення можна очікувати, що зі збільшенням розмірів стабілізатора, особливо якщо він перевищує масштаб турбулентності, вплив відносної величини пульсаційної швидкості зменшується, що і спостерігається в експерименті. Роль турбулентності добре тлумачиться з позиції теорії реактора. Збільшення турбулентності рівносильне збільшення подачі речовини в реактор, що наближає зрив процесу в ньому.

Знайдені розміри стабілізатора мінімальні. Принципово можливе збільшення його розміру. Проте необхідно пам'ятати таке. За рахунок збільшення розмірів поганообтічного тіла стабілізація дійсно покращується, однак зі збільшенням розмірів стабілізатора зростає затінення перерізу і швидкість потоку підвищується, що має призводити до погіршення стабілізації. При невеликих значеннях затінення вирішальний вплив на стабілізацію надає розмір стабілізатора, при великих затіненнях визначальною стає швидкість потоку.

Результати промислового випробування низькотемпературного відпуску і відпалу при різних температурних режимах, а також багаторічна експлуатація печі з новими пальниками підтвердили працездатність розробленого пальникового пристрою.

Аналізуючи сумарний економічний ефект від впровадження запропонованих заходів щодо вдосконалення системи опалювання камерних термічних печей, можна зробити наступні висновки.

Досвід показав, що тривалість скорочення періоду витримки залежить як від режиму термообробки виконуваної операції (відпуск, загартування, нормалізація, структурний або протифлокений відпал), так і від марки сталі і маси завантажуваної садки. Протягом року ці параметри можуть коливатися в широких межах, тому раціонально провести порівняльний аналіз по найбільш поширених операціях в цілому за рік. Такого роду облік енергоносіїв ведеться службою, що відповідає за енергозбереження, в структурі відділу головного енергетика підприємства.

Для зручності аналізу дані представлені не в абсолютних одиницях споживаного палива (м^3 або кг), а в одиницях умовного палива (кг.у.п.). Розглянемо енергоспоживання пічного відділення термічного цеху ВАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» ім. А.М. Кузьміна» за чотири роки (табл. 1).

Таблиця 1. Динаміка питомих витрат палива на пічній ділянці термічного цеху

Найменування термічної обробки	2016 р.			2017 р.			2018 р.			2019 р.		
	Вир-во	Норма	Факт. пит. витр.	Вир-во	Норма	Факт. пит. витр.	Вир-во	Норма	Факт. пит. витр.	Вир-во	Норма	Факт. пит. витр.
	т	кгуп/т	кгуп/т	т	кгуп/т	кгуп/т	т	кгуп/т	кгуп/т	т	кгуп/т	кгуп/т
Відпал	124047	95,0	92,2		95,0	90,4		95,0	93,0		95,0	90,5
Протифлокений відпал	127,8	237,5	237,5		237,5	225,5		237,3	226,7		237,3	232,9
Загартування	1024,8	280,0	280,0		279,8	266,6		269,7	261,0		276,9	274,3
Нормалізація											160,0	155,6
По заводу		126,4	118,4		121,7	114,5		122,9	118,0		130,0	118,3
Затв. Мінпромполітики України		118,5			118,0			118,0			130,0	

Згідно з даними табл. 1, основну частину (99 %) виробничої програми цеху складає структурний відпал сортового прокату. На другому місці по кількості оброблюваного металу стоїть операція загартування (0,5...0,8 %), і на третьому — протифлокений відпал (0,2...0,5 %). Виключенням є лише 2019 р., коли після довгої перерви знов поновилося виробництво марок сталей, що вимагають такого вигляду термообробки як нормалізація. Її доля в загальній продуктивності цеху склала 6,7 %. У цьому ж 2019 р. знизилася кількість металу, що піддається структурному відпалу до 92,5 %, загартування — до 0,7 %, ПФВ — до 0,1 %.

Варто звернути увагу на ще один цікавий параметр — питому норму витрати умовного палива на одиницю продукції. Впродовж даного чотирирічного періоду цей середньостатистичний показник залишався постійним для операції відпалу (95 кг.у.п./т), трохи знизився протягом 2-х років для операції ПФВ (з 237,5 до 237,3 кг.у.п./т) і істотно вагався для операції загартування — від 280 до 269,7 кг.у.п./т. Аналізуючи цей нормативний показник, також слід зауважити, що внутрішньозаводський норматив набагато вище рекомендованого та затвердженого Мінпромполітики України. Окрім 2019 р., коли ці показники збігаються. До речі, лише завдяки економії за рахунок впровадження запропонованих заходів фактична питома витрата палива впродовж всього даного періоду була нижча за нормативне, затверджене Мінпромполітики.

В абсолютних грошових одиницях аналізувати динаміку економії недоцільно, оскільки на даний період наклалися кризові явища. Разом із спадом виробництва значно змінювалася і ціна на паливо, тому порівнювати між собою отриману економію по роках у вартісному еквіваленті не має сенсу. Відзначимо лише, що за розглянуті чотири роки (2016—2019 рр.) за даними заводу сумарна грошова економія склала 2,4 млн. грн.

Висновки

Таким чином, досліджено динаміку ефективності модернізації опалювальних систем камерних печей [9] та зроблено висновок, що після впровадження і багаторічної експлуатації запропоновані заходи з модернізації є технічно і економічно виправданими. Удосконалення технологічного процесу, що описано у даній статті вирішує актуальну задачу підвищення продуктивності виробництва камерних печей і приносить зниження енергоємності та собівартості продукції.

Список використаної літератури

1. Cheilytko, A., Yerofieieva, A. (2021) *Increasing the uniformity of metal heating in chamber furnaces by influence of the electric field*. Environmental Innovations: Advances in Engineering, Technology and Management: EIAETM Conference. Volume 8, No. 2, P.87-94 http://procedia-esem.eu/pdf/issues/2021/no1/11_01.11.Yerofeeva_21.pdf
2. Зінченко В. Ю., Іванов В. І., Чепрасов О. І., Каюков Ю. М. До оптимізації управління тепловою роботою полуменевих термічних печей камерного типу під час нагрівання масивних зливків. *Математичне моделювання*. 2018. №1 (38), С. 88–94.
3. Zinchenko, V., Ivanov, V., Kayukov, Y., Romyancev, V. Розробка алгоритму управління тепловою роботою термічних печей камерного типу. *Scientific Journal "Metallurgy"*. 2021. №1, С.67–73.
4. Ревун М. П., Гранковський В. І., Байбуз А. Н. і ін. Інтенсифікація роботи нагрівальних печей. К. : Техніка, 1987. 135 с.
5. Ревун М. П., Чепрасов А. І., Башлій С. В., Андрієнко А. Н., Бройде Л. Л. і ін. Сталь. 1996. №2. С. 53–55.
6. Ревун М. П., Чепрасов А. І., Башлій С. В. і ін. Пристрій пальника. Патент РФ № 2021558, 1994.
7. Ревун М. П., Башлій С. В., Чепрасов А. І., Баріщенко Е. Н. і ін. Пристрій пальника. Деклараційний патент України № 70600А, 2004.
8. Ревун М. П., Башлій С. В., Чепрасов О. І., Баріщенко О. Н., Лютий О. В. Енергозберігаючі технології нагріву високолегованих та спеціальних сталей. 2011. Запоріжжя : ЗДІА, 184 с.

9. Adoniev E.A. Compositional method of geometric modeling: essence, features and prospects for application. Modern problems of modeling: coll. Science. works / MDPU them. B. Khmelnytsky; Goal. ed. count A.V. You will find. Melitopol: Moscow State Pedagogical University Publishing House. B. Khmelnytsky, 2017. Issue. 8. P. 3–14.

INDUSTRIAL RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF BURNERS OF PARTIAL PRELIMINATION ON CHAMBER THERMAL RECIRCULATION FURNACES
Cheilytko A., Bashliy S., Chizhov S.

Abstract

The issue of reducing the cost of production is an urgent problem of any metallurgical enterprise. The constant strengthening of the requirements for the quality of the metal leads to the use of alloy steels with a high degree of purity, strict requirements for chemical composition and heat treatment regimes. Chamber recirculation furnaces are universal in terms of modes and types of heat treatment, shape and size of processed products, so they must ensure accurate performance of specified modes and uniformity of the temperature field throughout the working space with minimal fuel consumption.

The purpose of the study is to develop a design of the burner device that will meet the increased requirements for separation and leakage of flame.

Experimental studies of the thermal operation of thermal furnaces equipped with the proposed burners were analyzed. The technical possibility of realization of the modern pulse method of heating at modernization of heating systems of furnaces is shown. The proposed modernization of heating systems of chamber furnaces will allow to improve the technological process, which is aimed at solving current problems of increasing production productivity and reducing production costs. To do this, a new burner design has been developed that meets these requirements. The issue of reducing the cost of production is an urgent problem of any metallurgical enterprise. The constant strengthening of the requirements for the quality of the metal leads to the use of alloy steels with a high degree of purity, strict requirements for chemical composition and heat treatment regimes. Chamber recirculation furnaces are universal in terms of modes and types of heat treatment, shape and size of processed products, so they must ensure accurate performance of specified modes and uniformity of the temperature field throughout the working space with minimal fuel consumption.

The purpose of the study is to develop a design of the burner device that will meet the increased requirements for separation and leakage of flame.

Experimental studies of the thermal operation of thermal furnaces equipped with the proposed burners were analyzed. The technical possibility of realization of the modern pulse method of heating at modernization of heating systems of furnaces is shown. The proposed modernization of heating systems of chamber furnaces will allow to improve the technological process, which is aimed at solving current problems of increasing production productivity and reducing production costs. To do this, a new burner design has been developed that meets these requirements.

References

- [1] Cheilytko, A., Yerofieieva, A. (2021). Increasing the uniformity of metal heating in chamber furnaces by influence of the electric field. Environmental Innovations: Advances in Engineering, Technology and Management: EIAETM Conference. Volume 8, No. 2, P.87–94 [in Ukraine] http://procedia-esem.eu/pdf/issues/2021/no1/11_01.11.Yerofeeva_21.pdf
- [2] Zinchenko, V., Ivanov, V., Cheprasov, A., Kayukov, Y. (2018). To optimize the control of thermal work of flame thermal furnaces of chamber type during heating of massive ingots. Scientific Journal "Mathematical modeling". No. 38, P.88–94 [in Ukraine].
- [3] Zinchenko, V., Ivanov, V., Kayukov, Y., Romyancev, V. (2021). Development of an algorithm for controlling the thermal operation of chamber-type thermal furnaces. Scientific Journal "Metallurgy", No. 1, P.67–73 [in Ukraine].

-
- [4] Revun, M., Grankovsky, V., Baibuz, A. (1987). Intensification of heating furnaces. K. : Machinery [in Ukraine].
- [5] Revun, M., Cheprasov, A., Bashliy, S., Andrienko, A., Broide, L. (1996). Scientific Journal "Steel". No. 2, P.53–55 [in Ukraine].
- [6] Revun, M., Cheprasov, A., Bashliy, S. (1994). Burner device. Patent № 2021558 [in Russian].
- [7] Revun, M., Bashliy, S., Cheprasov, A., Barishenko, E. (2004). Burner device. Declarative patent of Ukraine № 70600A [in Ukraine].
- [8] Revun, M., Bashliy, S., Cheprasov, A., Barishenko, E., Лютий О. В. (2011). Energy-saving heating technologies for high-alloy and special steels. Zaporizhzhia : ZSEA [in Ukraine].
- [9] Adoniev, E. (2017) Compositional method of geometric modeling: essence, features and prospects for application. Modern problems of modeling: coll. Science. works / MDPU them. B. Khmelnytsky; Goal. ed. count A.V. You will find. Melitopol : Moscow State Pedagogical University Publishing House. B. Khmelnytsky. Issue. 8. P. 3–14 [in Ukraine].