

**Bibliography (transliterated):** 1. Rybak, L. A., Erzhukov, V. V., Chichvarkin, A. V. (2011). Effective methods for solving problems of kinematics and dynamics of robot-machine parallel structure. Moscow : Fizmathlit, P. 148 c. ISBN978-5-9221-1296-3. 2. Merlet, J. P. (2006). Parallel Robots. Solid mechanics and applications., Berlin: Springer, 394. 3. Krizhanivskij, V. A., Kuznecov, Y. M., Valyavskij, I. A., Sklyarov, R. A. (2004). Technological equipment with parallel kinematics: textbook for universities. Edited by Kuznetsov, Y. M., Kirovograd, 449. 4. Strutynskiy, V. B., Kolot, O. V (2005). Mathematical modeling of stochastic processes in systems of drives. Monograph. Kramatorsk: "Tirazh -51", 530. 5. Jachno, O. M., Strutynskiy, S. V. (2008). The system for determining the exact position of the adjustable hydrostatic spherical bearing. Bulletin of National technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", a series of Engineering, Kiev, 52, 26-34. 6. Strutynskiy, S. V. (2013). Spatial drive systems: Monograph. Strytynskij S.V. Gourzhiy A. A., Kiev: Pedagogical thought, 492. 7. Patent of Ukraine for useful model (2006). MPK No 31194 F16C32. Tostation-aerostation anchor node. Jachno, O. M., Strutynskiy, S. V. No. u200714415; Appl.20.12.2007; publ. 25.03.2008, 6, 3. 8. Povkh, I. L. (1969). Technical hydromechanics. Lviv: Engineering, 524. 9. Loitsyansky, L. (1973). Mechanics of liquid and gas. Moscow: Nauka, 847. 10. Basta, T. M. (1971). Engineering hydraulics. Moscow: Mashinostroenie, 672. 11. Sigorskij, B. N. (1975). Mathematical apparatus engineer. Kiev: Machinery, 768.

Надійшла (received) 17.12.2014

УДК 666.1.031

**В. С. ЦАПАР**, ст. викл., НТУУ «КПІ» Київ

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЕРІОДІВ ПЕРЕКЛЮЧЕННЯ ПАЛЬНИКІВ НА ОДНОРІДНІСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ

Проведено дослідження залежності температурного розподілу у скловарній регенеративній печі від величини періодів роботи пальників, визначено вплив періодів переключення пальників на однорідність температурного поля у печі. Отримано значення температур у контрольних точках скловарної печі при періодах переключення пальників 20, 30 та 45 хвилин. Визначено необхідність формування критерію оптимальності переключення пальників, котрий визначатиме час переключення в залежності від значень поточних параметрів у печі та навколишнього впливу.

**Ключові слова:** період переключення пальників, скловарна піч, скляна тара, температурні поля.

**Вступ.** Велика увага на сучасному етапі розвитку промислових технологій приділяється якості готової продукції. Оптимізація витрат, вдосконалення технологій ставить все вищі і вищі вимоги до якості виробів. Зокрема, дуже чутливі до якості склотари сучасні автоматичні лінії пакування та розливу.

Значну питому вагу в товарообігу пакувальної продукції займає скляна тара. Скляною тарою називають групу скляного посуду, яка призначена для фасування, транспортування, зберігання і використання при споживанні різних продуктів. Скляна тара є незамінною для упакування багатьох харчових продуктів і напоїв.

Скло, в якості пакувальної продукції, має свої переваги:

- хімічна нейтральність забезпечує збереження харчових продуктів без суттєвих змін;
- прозорість;
- міцність та стійкість до навантажень;
- стійкість до внутрішнього тиску дає змогу випускати газовані напої та аерозольні товари;

– стійкість до нагрівання.

Скло витримує температуру до 500°C, хоча різка зміна температури не повинна бути надвеликою та швидкою. Значна кількість товарів фасується в нагрітому стані або після фасування проводиться їх стерилізація.

Серед недоліків скла можна виділити крихкість та велику питому вагу. Значно підвищують крихкість скла дефекти, які виникають у ньому під час виробництва. Ці дефекти напряму залежать від температурного режиму скловарної печі [1], а саме від однорідності температурного розподілу по всьому об'ємі скломаси.

На даному етапі дослідники значну частину своїх робіт присвячують ефективності роботи регенераторів. Так, у роботах [2, 3] розглянуто підхід до визначення величини циклу роботи пальників з точки зору ефективної роботи регенераторів. У роботі [4] пропонується методика розрахунку оптимальної величини циклу роботи пальників для досягнення максимальної теплової потужності регенератора. У роботах [5–6] описано розробку систем керування переключеннями пальників, метою котрих є отримання максимального ефекту від використання регенераторів.

Проте окрім енерго– та ресурсозбереження, важливим є також забезпечення високої якості готової продукції. Сучасні пакувальні лінії дуже чутливі до якості скляної тари, котра в свою чергу залежить від однорідності температурних полів скловарної печі [6], саме тому актуальним напрямком дослідження є визначення залежності температурного розподілу у ванній регенеративній скловарній печі з підковоподібним напрямком полум'я від періоду роботи пальників.

**Мета роботи.** Метою роботи є дослідження залежності температурного розподілу у скловарній регенеративній печі від величини періодів роботи пальників.

**Методика дослідження залежності температури від величини періодів роботи пальників.** Дослідження проводилось шляхом імітаційного моделювання роботи ванної регенеративної скловарної печі із підковоподібним напрямком полум'я. Отримано значення температур у точках печі в котрих зазвичай розташовуються засоби вимірювання температури. В даному випадку взяті точки в котрих розташовані термопари на скловарній печі Гостомельського скловарного заводу ВАТ Ветропак. Ці точки Дно1 (2,0.2,1), Дно2 (7,0.2, 1), Склепіння1 (2, 2.4, 7), Склепіння2 (7,2.4,7) і Середина (4.5, 1.3, 5), у дужках наведено Декартові координати відповідних точок, за умови, що початком координат вибрано нижній правий передній кут печі. Розглянуто режими роботи печі із періодами переключення пальників 20, 30 та 45 хвилин. Для кожного режиму проведено дослідження трьох циклів роботи пальників.

**Аналіз роботи скловарної печі із періодами переключення пальників 20, 30 та 45 хвилин.** На першому етапі досліджено режим роботи скловарної печі із періодом переключення пальників 20 хвилин. На рис. 1 наведено графік зміни температур у вказаних точках у часі під час роботи скловарної печі із періодом переключення пальників 20 хвилин.

На рис. 2 наведено графік зміни температур у вказаних точках у часі під час роботи скловарної печі із періодом переключення пальників 30 хвилин.

На рис. 3 наведено графік зміни температур у вказаних точках у часі під час

роботи скловарної печі із періодом переключення пальників 45 хвилин.

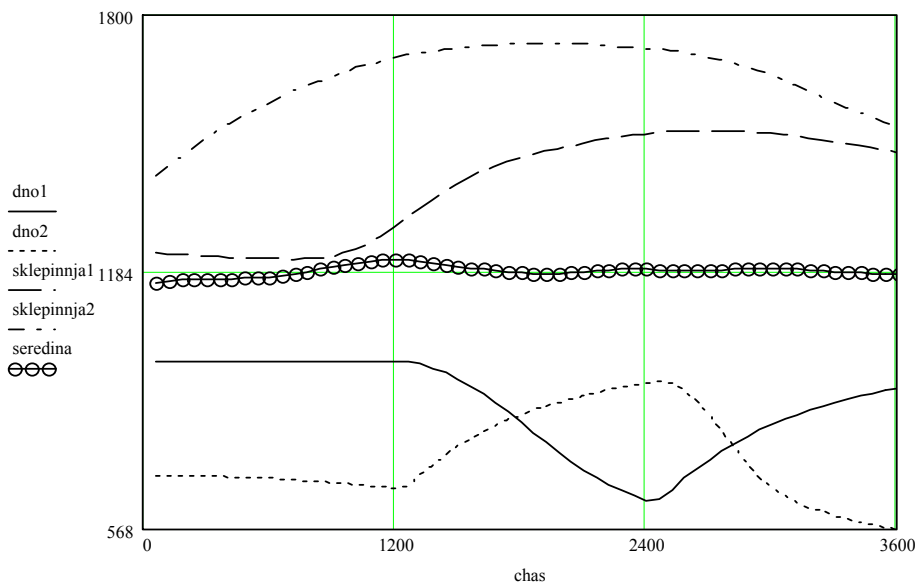


Рис. 1 – графік зміни температур у точках Дно 1, Дно 2, Склепіння 1, Склепіння 2 і Середина під час роботи скловарної печі із періодом переключення пальників 20 хвилин

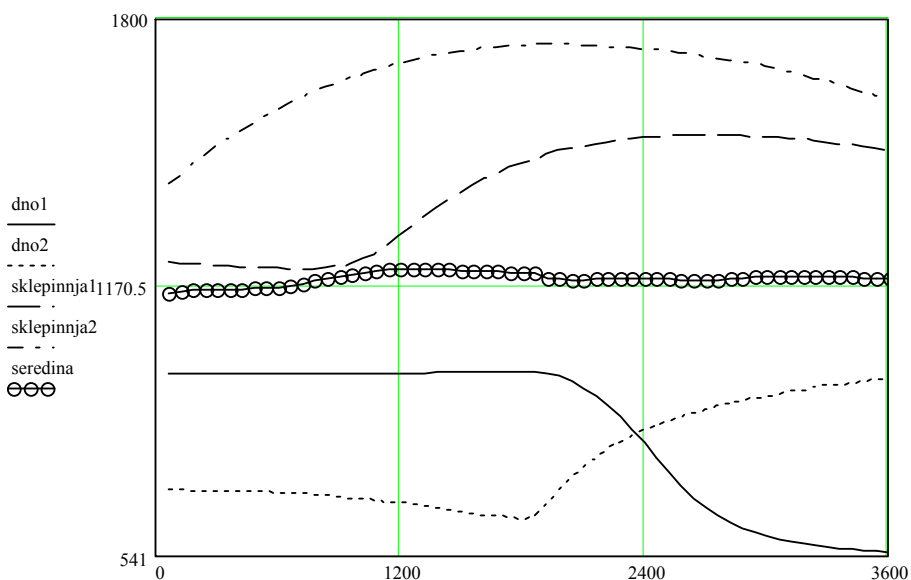


Рис. 2 – графік зміни температур у точках Дно 1, Дно 2, Склепіння 1, Склепіння 2 і Середина під час роботи скловарної печі із періодом переключення пальників 30 хвилин

У табл. 1 наведено діапазон змін температур у кожній точці в залежності від періоду переключення пальників у печі.

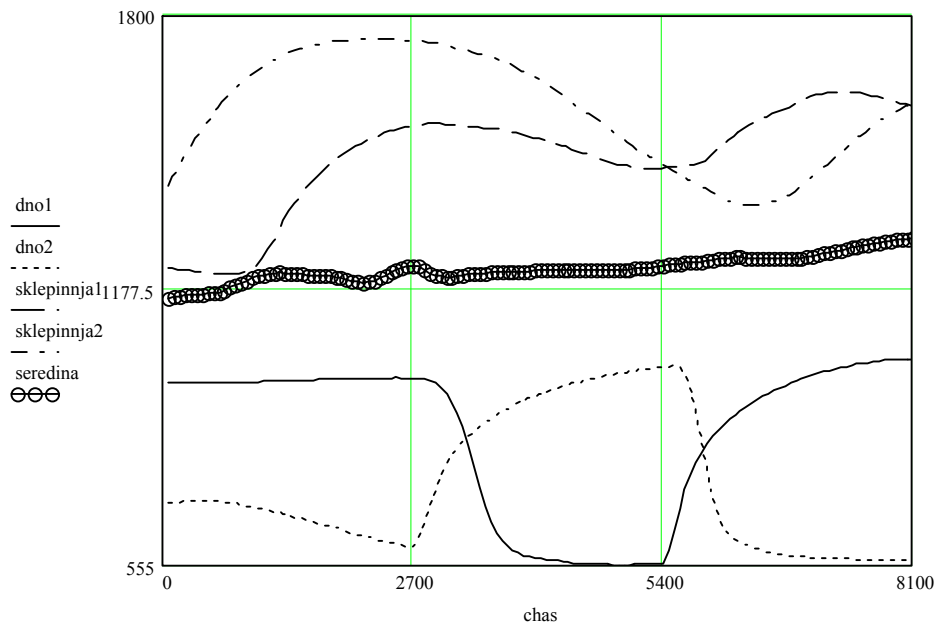


Рис. 3 – графік зміни температур у точках Дно 1, Дно 2, Склепіння 1, Склепіння 2 і Середина під час роботи скловарної печі із періодом переключення пальників 45 хвилин

Таблиця 1 – Діапазон зміни температур у точках Дно 1, Дно 2, Склепіння 1, Склепіння 2 і Середина за різних періодів переключення пальників

Період переключення	Діапазон зміни температури (градуси, К) при відповідному періоді переключення у точці:				
	Дно1	Дно2	Склепіння1	Склепіння2	Середина
20 хвилин	333	353	308	315	55
30 хвилин	423	418	315	326	59
45 хвилин	466	440	413	373	70

Як можна бачити із рисунків та даних наведених у табл. 1, існує значна залежність між температурами у відповідних точках та часом роботи лівих і правих пальників. У точках Дно1 та Дно2 спостерігаються значні коливання температури, аж до 460 градусів. Ці коливання пояснюються тим, що разом із переключенням пальників, переключається і сторона загрузки шихти. Наприклад, при включених правих пальниках загрузка відбувається із правої сторони і навпаки. При переключенні пальників, холодна шихта, котра подається в піч, буде витіснати уже нагріту, що саме і призводить до таких значних коливань. У точках Склепіння1 та Склепіння2 коливання вимірюваних температур також залишаються значними і досягають 413 градусів. Пояснюється це тим, що переключення пальників призводить до зміни потоків газового середовища печі. Якщо, наприклад, спочатку горіння відбувається в лівій частині, то після переключення пальників, воно буде відбуватись в правій. Все це призводить до того, що виникають вищенаведені неоднорідності. У точці Середина коливання температур значно менші, в межах 70 градусів. Це пояснюється розташуванням точки Середина, адже в даній точці зміна роботи пальників не призводить до значних коливань, оскільки вона знаходиться поза зоною значного впливу горіння.

Для дослідження температурної однорідності скломаси було отримано експоненціальне усереднення температури у точках Дно2 та Середина. Відповідні графіки наведені на рис. 4–9.

На рис. 4–5 наведено експоненціальне усереднення температури у точках Дно2 та Середина на протязі роботи пальників із циклом переключення 20 хвилин.

На рис. 6–7 наведено експоненціальне усереднення температури у точках Дно2 та Середина на протязі роботи пальників із циклом переключення 30 хвилин.

На рис. 8–9 наведено експоненціальне усереднення температури у точках Дно2 та Середина на протязі роботи пальників із циклом переключення 45 хвилин.

Як можна бачити із наведених рисунків, задача визначення оптимального періоду переключення пальників достатньо неоднозначна. Це також підтверджують роботи [7, 8]. Характер зміни усереднених значень температури при досліджених режимах переключення фактично однаковий, у точці Дно2 середня температура залишається практично сталою, у точці Середина – незначно зростає з часом.

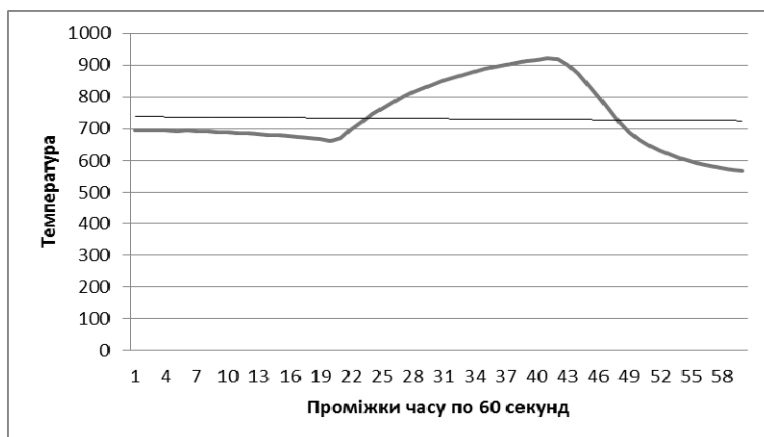


Рис. 4 – експоненціальне усереднення температури у точці Дно 2 на протязі роботи пальників із циклом переключення 20 хвилин

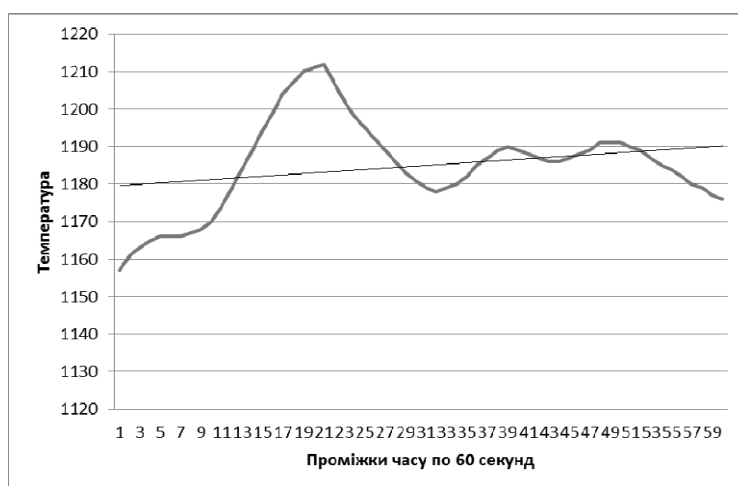


Рис. 5 – експоненціальне усереднення температури у точці Середина на протязі роботи пальників із циклом переключення 20 хвилин

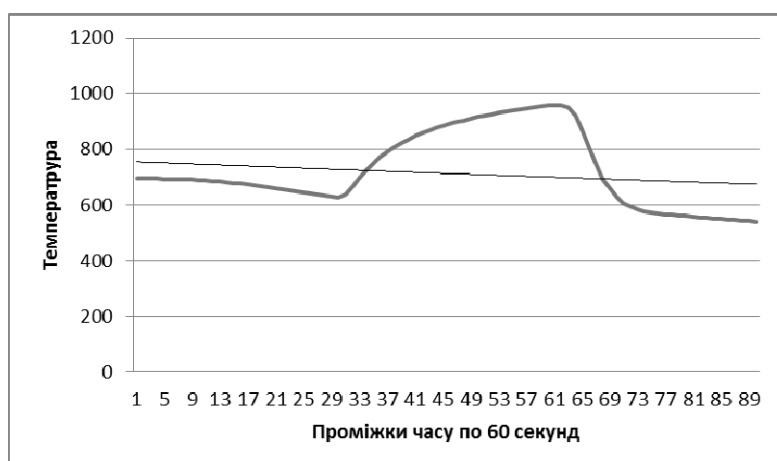


Рис. 6 – експоненціальне усереднення температури у точці Дно 2 на протязі роботи пальників із циклом переключення 30 хвилин

Проте, відрізняється значення середньої температури, при режимі переключення пальників тривалістю 20 хвилин вона найнижча, при 45 хвилинах – найвища. Можна зробити висновок, що збільшення періоду переключення пальників призводить до збільшення середньої температури у відповідних точках. Проте, з іншого боку, збільшення періодів переключення пальників призводить до зниження ефективності використання регенераторів [9].

Оскільки визначення оптимального часу переключення пальників є багатофакторною задачею [10], котра повинна враховувати, як вимоги до температурної однорідності скломаси, так і вимоги до ефективного використання регенераторів, перспективним напрямком подальших досліджень є формування певного критерію оптимальності переключення пальників, котрий визначатиме час переключення в залежності від значень поточних параметрів у печі та навколишнього впливу.

**Висновки.** Проведено дослідження впливу періодів переключення пальників на однорідність температурного поля скловарної печі. Отримано графіки зміни температури в характерних точках печі при роботі із періодами переключення пальників 20, 30 та 45 хвилин. Визначено необхідність формування критерію оптимальності переключення пальників, котрий визначатиме час переключення в залежності від значень поточних параметрів у печі та навколишнього впливу.



Рис. 7 – експоненціальне усереднення температури у точці Середина на протязі роботи пальників із циклом переключення 30 хвилин

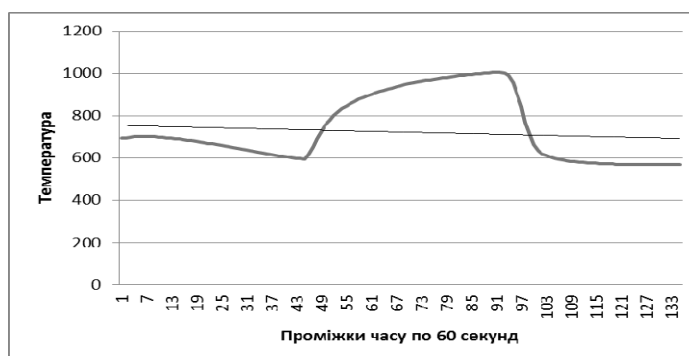


Рис. 8 – експоненціальне усереднення температури у точці Дно 2 на протязі роботи пальників із циклом переключення 45 хвилин

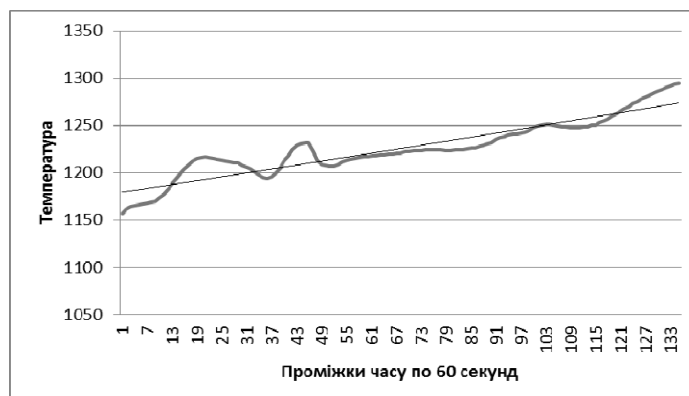


Рис. 9 – експоненціальне усереднення температури у точці Середина на протязі роботи пальників із циклом переключення 45 хвилин

**Список літератури:** 1. *Синявський, Ю. В.* Совершенствование энергосберегающих систем в промышленном производстве стекломассы [Текст] / : дис. ... канд. техн. наук / Ю. В. Синявський. – 2001. – 159 с. 2. *Кошельник, А. В.* Расчет оптимального времени цикла работы регенераторов плавильных печей [Текст] / А. В. Кошельник, Е. В. Хавин, Е. П. Гордиенко // Хімія, хімічна технологія та екологія. – 2009. – № 22. – С. 121–126. 3. *Глущик, Н. В.* Підвищення ефективності роботи регенераторів скловарних печей [Текст] / Н. В. Глущик, І. Л. Шилович, А. Я. Карвацький, Г. М. Васильченко, І. В. Пулінець // Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2009. – № 1. 4. *Елин, Н. Н.* Экспериментальная проверка математической модели регенератора с неподвижной кирпичной насадкой [Текст] / Н. Н. Елин, М. Ю. Ометова, Г. В. Рыбкина // Вестник «ИГЭУ». – 2011. – № 1. – с. 1–3. 5. *Yang, Q. Y.* Study of Burny-Changing Disturbance Suppression Based on Fuzzy Control for Large Glass Furnace [Text] / Q. Y. Yang, R. Shi // Control and Instruments in Chemical Industry. – 2001. – № 28(02). – P. 13–17. 6. *Guo, Y. C.* Numerical Simulation of Gas Combustion and Heat Transfer in a Glass Melting Furnace [Text] / Y. C. Guo, W. Q. Lin // Journal of Combustion Science and Technology. – 2000. – № 6(03). – P. 244–248. 7. *Жученко, А. І.* Study of the glass furnace temperature field effect on glass product quality factors [Текст] / А. І. Жученко, В. С. Цапар // Вісник НТУУ «КПІ» Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2014. – № 1(12). – С. 7–11. 8. *Jian-ping, O.* Dynamic simulation on effect of flame arrangement on thermal process of regenerative reheating furnace [Text] / O. Jian-ping, M. Ai-chun, Z. Shu-hua, Z. Jie-min, X. Ze-qiang // J. Cent. South Univ. Technol. – 2007. – № 02. – P. 243–247. 9. *Danon, B.* Parametric optimization study of a multi-burner flameless combustion furnace [Text] / B. Danon, E. Cho, W. De Jong, D. Roekaerts // Applied Thermal Engineering, Elsevier. – 2011. – № 31. – P. 1–17. 10. *Алексеєнко, В. В.* Дослідження та розробка систем опалення промислових печей на основі регенеративних пальникових пристроїв [Текст] : автореф. дис. ... кандидата техн. наук : 05.14.06 / В. В. Алексеєнко ; [Ін-т газу НАНУ] . – К., 2004. – 19 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Syniavskiy, Yu. V.* (2001). Improving the energy-efficient systems in the industrial production of glass. (dis. Ph.D.). 2. *Koshelnyk, A. V., Khavyn E. V., Hordyenko E. P.*(2009). The calculation of the optimum cycle time regenerators smelters. Himiya, himichna tehnologiya ta ekologiya, 22, 121–126. 3. *Hlushchyyk, N. V., Shylovyeh I. L., Karvatskyi A. Ia., Vasylchenko H. M., Pulinets I. V.* (2009). Improving the efficiency of regenerators glass furnaces. Chemical engineering, ecology and resource, 1. 4. *Elyn, N. N., Ometova M. Yu., Rybkyna H. V.* (2011). Experimental verification of the mathematical model of the regenerator with a fixed nozzle brick. Herald "ISPU", 1, 1–3. 5. *Yang, Q. Y., Shi, R.* (2001). Study of Burny-Changing Disturbance Suppression Based on Fuzzy Control for Large Glass Furnace. Control and Instruments in Chemical Industry, 28(02), 13–17. 6. *Guo, Y. C., Lin, W. Q.* (2000). Numerical Simulation of Gas Combustion and Heat Transfer in a Glass Melting Furnace. Journal of Combustion Science and Technology, 6(03), 244–248. 7. *Zhuchenko, A. I., Tsapar V. S.* (2014). Study of the glass furnace temperature field effect on glass product quality factors. Journal of NTU "KPI" Chemical engineering, ecology and resource, 1(12), 7–11. 8. *Jian-ping, O., Ai-chun, M., Shu-hua, Z., Jie-min, Z., Ze-qiang X.* (2007). Dynamic simulation on effect of flame arrangement on thermal process of regenerative reheating furnace . J. Cent. South Univ. Technol, 02, 243–247. 9. *Danon, B., Cho, E., De Jong, W., Roekaerts, D.* (2011). Parametric optimization study of a multi-burner flameless combustion furnace. Applied Thermal Engineering, 31, 1–17. 10. *Alekseienko, V. V.* (2004). Research and development of industrial heating furnaces based regenerative burners. (Abstract. Thesis. Candidate of Engineering. of Science).

*Надійшла (received) 17.12.2014*