

UDC 666.1.031.1/ .2

Tsapar V., Ph.D. in Engineering,
Zhuchenko O., Ph.D. in Engineering

National Technical University of Ukraine "Kyiv
Polytechnic Institute"

USING MAGNETIC STIRRING IN THE CONTROL SYSTEM OF QUALITY IN GLASS PRODUCTION

ВИКОРИСТАННЯ МАГНІТНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ У СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ СКЛОВАРНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Abstract: Possibility of using magnetic stirring as a controlling influence of automatic control systems of glass melting furnace thermal conditions. The effectiveness of the proposed control system was established by simulation which showed a decrease of the temperature gradient in the furnace. The latest leads to reducing defective products on the output.

Keywords: Glassmaking furnace, magnetic stirring, Lorentz force, control system, simulation

INTRODUCTION

Due to the constant rise in prices for energy and raw materials at the present stage of glass industry development, search for solutions that would lead to even minimal savings or reduce the output of defective products became an important scientific and technical project.

The development of the control system which would ensure the highest quality of finished productions is one of the directions of the improvement. A lot of national and foreign scientists are trying to solve this problem.[1,2]. Various structures of control systems were developed via using a large number of different regulators, from classic to modern PID neural networks [3]. However, all the above approaches are based on management of the temperature via changing the expense of the gas at the burner.

This paper offers use of the magnet system for stirring molten glass in the furnace, as the defectiveness of products is often the result of insufficient homogenization of liquid glass that occurs due to its bad mixing. The using of mechanical mixing in the furnace causes significant difficulties in its exploitation [4].The using of magnetic fields is justified because of sufficiency of iron oxide in glass fusion.

PROBLEM STATEMENT

Most of the researches devoted to this subject are focused on the use of magnetoelectric effects that occurs when electric heat in gas type of glass furnaces or the electric glass furnaces are used.[5,6]. More seldom magnetoelectric mixing is considered to be a separate aspect, able to improve the homogenization of glass mass and to provide additional glass motion [7,8]. The

Анотація: Досліджена можливість використання магнітного перемішування як керувального впливу автоматичної системи керування тепловим режимом роботи скловарної піччю. Встановлено ефективність запропонованої системи керування шляхом імітаційного моделювання, котре показало зменшення градієнту температур у печі, що в свою чергу призводить до зниження на виході бракованої продукції.

Ключові слова: скловарна піч, магнітне перемішування, сила Лоренца, система керування, імітаційне моделювання

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку скляної промисловості, зважаючи на постійне зростання цін на енергоресурси та сировину, пошук рішень котрі призвели б до навіть мінімальної економії або зменшення браку на виході став актуальною науково-технічною задачею.

Один із напрямків такого покращення - розробка системи керування котра б забезпечувала максимальну якість готової продукції. Розв'язку даної задачі присвячені дослідження багатьох вітчизняних та закордонних дослідників [1-2]. Розроблені різноманітні структури систем керування із використанням великої кількості різних регуляторів починаючи від класичних ПІД і закінчуючи сучасними нейромережами[3]. Проте, як правило, всі вище наведені підходи ґрунтуються на керуванні температурою шляхом зміни витрати газу на пальники.

У даній роботі пропонується в якості додаткового керувального впливу використовувати магнітоелектричну систему для перемішування скломаси у печі, адже брак продукції найчастіше є наслідком недостатньої гомогенізації рідкої скломаси, що виникає внаслідок її поганого перемішування. Використання механічного перемішування у скловарній печі вносить значні труднощі її експлуатації [4]. Зважаючи на достатню кількість оксиду заліза в розплаві скломаси використання магнітних полів є цілком виправданим.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Дослідження присвячені даній тематиці в основному направлені на використання магнітоелектричних ефектів котрі виникають при використанні у газових скловарних печах електричного підігріву або безпосередньо у електричних скловарних печах [5,6]. Значно рідше магнітоелектричне перемішування розглядається як окремий аспект котрий здатен покращити гомогенізацію скломаси та забез-

researches of the influence of magnetoelectric systems on the forming of the glass flow meets even more seldom [9]. In fact, the creation of this kind of automatic control systems of glass melting furnace, which could have a control of the magnetic field to control the mixing glass on the one of the circuits, has not been enlightened yet. That's why the problem of development and research of this kind of control system is important.

MAIN ARTICLE

As we can see from numerous of researches, chemical and thermal homogeneity of glass plays a significant role in the formation of high-quality glass products [10]. Mechanical stirring and bubbling are used in glass furnaces to ensure homogeneity of the glass. Important aspect in this regard is stirring with the use of magnetic fields. However, this type of stirring is not learned enough and is rarely used. The use of magnetic stirring is additional way for glass homogenizing process and works in stationary mode, in spite of the parameters of the furnace.

Additional stirring with the use of magnetic fields is possible in the production of glass with sufficient volume of iron oxide. Current passes molten glass by direction of its movement. High-frequency magnets are based on both sides. The Lorentz force affects on the moving charge in a magnet. The direction of Lorentz force is determined by the rule of the left hand.

The physical aspect is schematically described on the Fig. 1.

печити додатковий рух скломаси [7,8]. Ще рідше зустрічаються дослідження впливу магнітоелектричних систем на формування потоків скломаси [9]. Фактично не розглядається можливість створення автоматичної системи керування скловарною піччю, котра б одним із контурів мала керування магнітним полем для перемішування скломаси. Таким чином постає задача розробки та дослідження такої системи керування.

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

Як показують численні дослідження значну роль у формуванні якісних скловиробів відіграє хімічна та термічна однорідність скломаси [10]. Для забезпечення однорідності скломаси у скловарних печах використовують механічне перемішування та барботаж. Важливим аспектом у цьому напрямі є перемішування за допомогою магнітних полів, проте даний вид перемішування недостатньо вивчений і дуже рідко використовується. Використання магнітного перемішування зводиться до того, що воно використовується в якості додаткового засобу для гомогенізації скломаси і працює у стаціонарному режимі не зважаючи на параметри роботи печі.

Додаткове перемішування за допомогою магнітних полів можливе при виробництві скла із достатньою кількістю оксиду заліза. Струм пропускається через скломасу у напрямку її руху. З обох боків розташовані високочастотні магніти. На рухомий заряд у магнітному полі діє сила Лоренца, напрямком якої визначається за правилом лівої руки. Схематично даний фізичний аспект описаний на рис. 1.

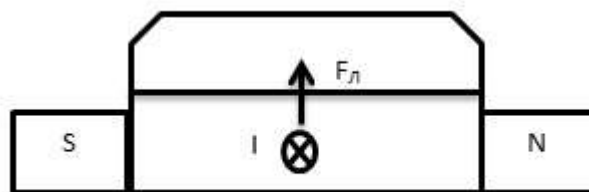


Fig. 1 - Schematic representation of the magnets location and direction of the Lorentz force in a glass furnace / Схематичне зображення розташування магнітів та напрямку сили Лоренца у скловарній печі

The Lorentz force changes the movement of the glass and rises less coked molten glass from the bottom, thus intensifying its mixing. The density of the Lorentz force plays a great role and can be determined from the formula:

$$F_L = \sigma(E + E_i + (v \times B)) \times B$$

де, $\sigma = \frac{J}{E + v \times B}$ - електрична провідність котра визначається із закону Ома, E – напруженість електричного поля, v - швидкість руху скломаси, B – густина магнітного потоку, J – густина електричного струму. Складова σE - описує електричний струм за рахунок електричного потенціалу ($E = -\text{grad}\phi$), σE_i - індукційний струм котрий виникає через змінне магнітне поле, складова $\sigma(v \times B)$ виникає внаслідок конвекції у скломасі.

where $\sigma = \frac{J}{E + v \times B}$ – electrical conductivity which is determined from Ohm's Law, E -intensity of the electric field; v – speed of glass movement; B – density of the magnetic flow; J – density of electric current. Component σE – describes an electric current through the electric potential ($E = \text{grad}\phi$), σE_i – induction current which arises from the alternating magnetic field; component $\sigma(v \times B)$ is caused by convection in the glass.

This equation describes internal and external components of the Lorentz force. The internal component of the Lorentz force is explained by the process occurring in glass, and according to the researches [6], has a little impact on the movement of glass. The main part of the Lorentz force, which makes glass move vertically, is created by the influence of external magnetic field: [1].

$$F_L = J \times B_{\text{зовн}} \quad (1)$$

Distributing temperature fields equally and providing chemical homogeneity can be granted by this mixing. Sketch 2 shows the structure of a control system which allows taking into account the above mentioned effect.

Дане рівняння описує дві складові сили Лоренца, внутрішню і зовнішню. Внутрішня складова сили Лоренца пояснюється процесами що відбувають в скломасі і як показують дослідження [6] мають незначний вплив на рух скломаси. Основна частина сили Лоренца котра призводить до переміщення скломаси у вертикальному напрямку виникає за рахунок впливу зовнішнього магнітного поля :

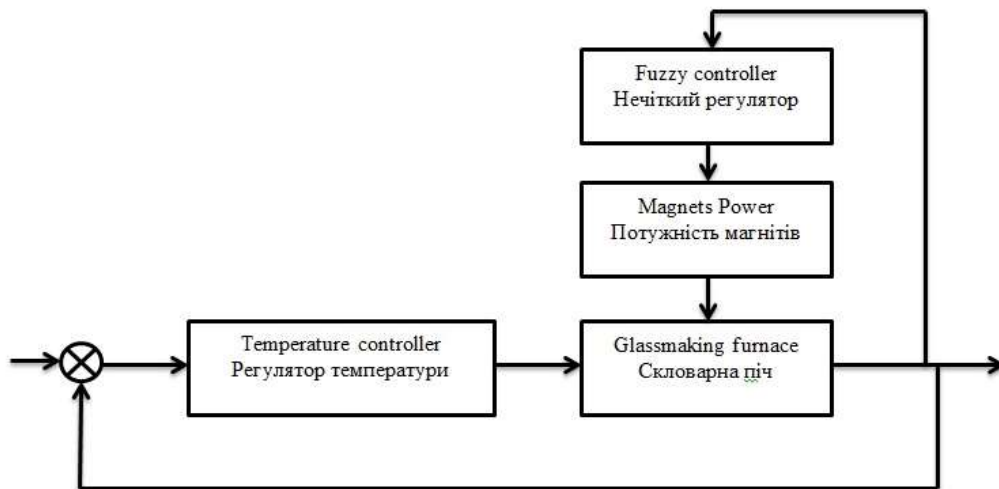


Fig 2. - The structure of a control system which allows taking into account the above mentioned effect / Структурна схема системи керування скловарною піччю із магнітним перемішуванням.

This dual-circuit control system consists of a primary circuit which is described in one of the researches [3]. The second circuit consists of power and frequency of magnets control system which is based on fuzzy controller. To ensure the operation of the fuzzy controller, there was a survey for the experts in the sphere of glass production which allowed to form basic rules of fuzzy controller. Despite the presence of a number of bubbles and other glass defects (glass threads), fuzzy controller is responsible for power and frequency of magnets (for example, if there are many bubbles, it means that convective motion of the glass is not enough. Glass mass has no time to get free from gas inclusions and then fuzzy controller increases power of electromagnets and intensifies the glass convection. It is then better mixed and gets free from gas inclusions, and provides less defective products on the output.)

The researching of developed control system via simulation

Simulation was conducted to investigate the developed control system. During the research, the input signal system was the information about glass products quality – namely, the number of bubbles and other glass defects (glass threads). This information was received by a fuzzy controller. The task was formed to a fuzzy controller as power and frequency of the magnets, according to the expert rules base. The results of this research are presented in graphs on Fig. 3-5.

Дана двоконтурна система керування складається із першого контуру котрий описаний у [3]. Другий контур складається із системи керування потужністю та частотою магнітів на базі нечіткого регулятора. Для забезпечення роботи нечіткого регулятора було проведено опитування експертів скловарного виробництва котре в свою чергу дозволило сформуванати базу правил нечіткого регулятора. Нечіткий регулятор зважаючи на наявність тієї чи іншої кількості бульбашок та свиль керує потужністю та частотою магнітів (наприклад багато бульбашок, це свідчить про недостатній конвективний рух скломаси, котра не встигає звільнитись від газових включень, тоді нечіткий регулятор підвищує потужність електромагнітів тим самим інтенсифікуючи конвекцію скломаси, вона краще перемішується тим самим звільняючись від газових включень забезпечуючи на виході менше браку.)

Дослідження розробленої системи керування шляхом імітаційного моделювання.

З метою дослідження розробленої системи керування було проведено імітаційне моделювання. Під час дослідження вхідним сигналом системи слугувала інформація про якість виробів скляної продукції, а саме – кількість бульбашок та свиль. Дані інформація поступала на нечіткий регулятор. У нечіткому регуляторі згідно експертної бази правил формувалось завдання у вигляді потужності та частоти роботи магнітів. Результати даного дослідження представлені у вигляді графіків на рис. 3-5.

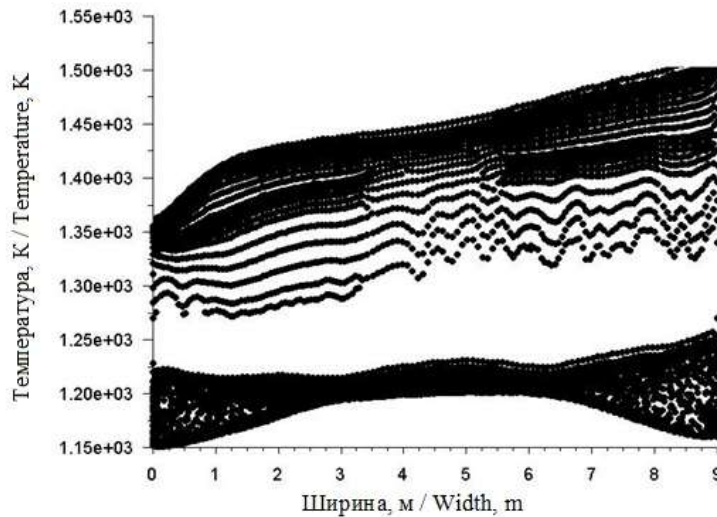


Fig. 3. - The temperature values in the cross section of the furnace at the place where magnets are based. / *Значення температур у поперечному перерізі печі без включення електромагнітної системи*

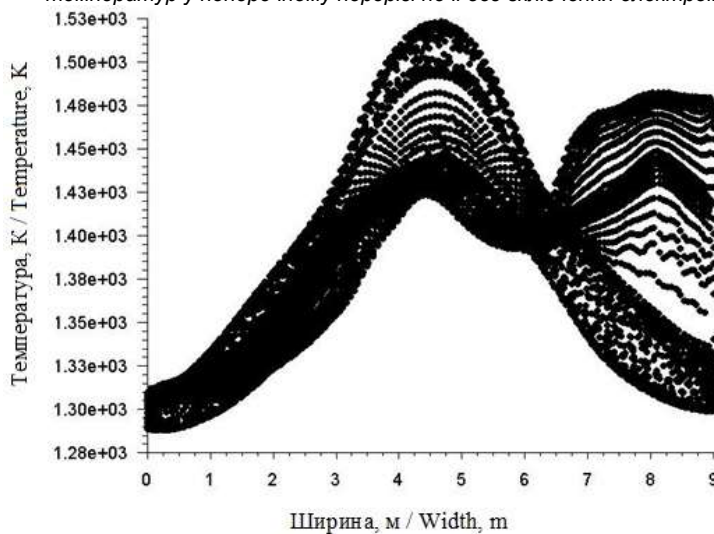


Fig. 4. - The temperature change values in the same section of the furnace in 15 minutes after magnetoelectric system is turned on. / *Значення температур у поперечному перерізі печі через 15 хвилин після включення електромагнітної системи*

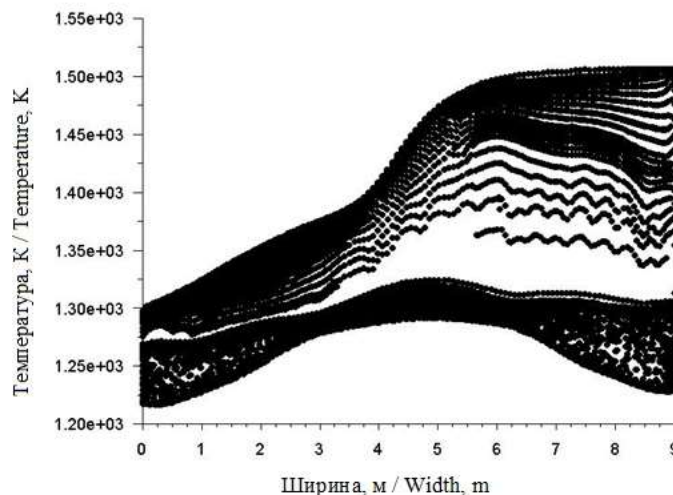


Fig. 5. - The change in temperature values in the same section of the furnace in 1 hour after magnetoelectric system is turned on. / *Значення температур у поперечному перерізі печі через 1 годину після включення електромагнітної системи*

Figure 3 shows the temperature values in the cross section of the furnace at the place where magnets are based. Magnets are not working. As it can be seen from the figure, there is a significant temperature gradient by the height of glass mass. That leads to poor penetration of the glass and as a result, the defects may occur.

На рис. 3 представлено значення температур у поперечному перерізі печі у місці встановлення магнітів. Магніти не працюють. Як видно з рисунку спостерігається значний градієнт температури по висоті скломаси, що призводить до поганого провару скломаси і, як результат, виникнення браку.

Figure 4 shows the temperature change values in the same section of the furnace in 15 minutes after magnetoelectric system is turned on. The figure shows that the magnet system intensifies the convection streams and lifts cold glass from the bottom of the furnace, thus increasing the average temperature of glass.

Figure 5 shows the change in temperature values in the same section of the furnace in 1 hour after magnetoelectric system is turned on. As it can be seen from this figure, temperature gradient has been decreased. It reduces the number of defective products. The irregularity by the furnace width is explained by the working of appropriate pair of burners.

CONCLUSIONS

According to the investigations, the use of magnetoelectric system for additional mixing is an effective way in the process of intensifying thermal and chemical homogenization of molten glass. Reducing temperature gradient in a furnace decreases the output of defective products.

REFERENCES

- [1]. Dzyuzer V. Ya., Shvyidkiy V. S. (2009) – Designing energy efficient glass furnaces - М.: Teplotekhnik. – 339 p.
- [2]. Tovazhnyanskiy L. L., Koshelnik V.M. (2008) – Integrated energy-saving heat technologies in glass production - Kharkiv: NTU "KPI". - 628 p.
- [3]. Tsapar V.S., Arsenichev A.L. (2015) – Development of hierarchical control glass furnace - Automation of technological and business processes, Vol. 7, Issue 1 - pp 83-86
- [4]. Vlasova S. G. (2013) – Fundamentals of Chemical Technology Glass - Ekaterinburg: Publishing House of the Ural Mountains. Univ. – 108 p.
- [5]. Karcher C., Schreiber H., Kolesnikov Y. (2005) – Magnetohydrodynamische Anwendungen bei der Luminiumherstellung - International Workshop on Electroheat. Ilmenau.
- [6]. Krieger U., Halbedel B., Hülsenberg D., Thess A. (2008) – Electromagnetic effects on glass melt flow in crucibles - Glass Technol.: Eur. J. Glass Sci. Technol. A. №49 (1). – p.33–40.
- [7]. Giessler C, Sievert C., Krieger U., Halbedel B., Hülsenberg D., Luedke U., Thess A. (2005) – A Model for Electromagnetic Control of Buoyancy Driven Convection in Glass Melts - 1,2,3 FDMP.– vol.1, no.3. – pp.247–266.
- [8]. Soubeih S., Luedtke U., Halbedel B. (2015) – Improving Residence Time Distribution in Glass Melting Tanks Using Additionally Generated Lorentz Forces - J. Chem. Chem. Eng. –№9. – p.203–210.
- [9]. Gießler C. (2008) – Theoretical investigations of electromagnetic control of glass melt flow – Universitätsverlag. Ilmenau.
- [10]. Zhuchenko A. I., Tsapar V.S. (2013) – Investigation of temperature fields furnace - Eastern European advanced technology magazine, №2 / 8 (62) - P. 49-52

На рис. 4 представлена зміна температурних величин у тому ж перерізі печі через 15 хвилин після увімкнення магнітоелектричної системи. Із рисунку видно що магнітоелектрична система своєю роботою інтенсифікує конвективні потоки піднімаючи із дна печі холодну скломасу, підвищуючи середню температуру скломаси.

На рис. 5 представлена зміна температурних величин у тому ж перерізі печі через 1 годину після увімкнення магнітоелектричної системи. Як можна бачити із даного рисунка температурний градієнт зменшився, що призводить до зменшення бракованої продукції. Нерівномірність по ширині печі пояснюється роботою в даний час відповідної пари пальників.

ВИСНОВКИ

Як показують проведені дослідження, використання магнітоелектричної системи для додаткового перемішування є ефективним способом інтенсифікації процесів термічної та хімічної гомогенізації у скломасі. Зменшення градієнту температур у печі призводить до зниження на виході бракованої продукції.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

- [1]. Дзюзер В. Я., Швидкий В. С. (2009) – Проектирование энергоэффективных стекловаренных печей - М.: Теплотехник. – 339с.
- [2]. Товажнянський Л. Л., Кошельник В.М. (2008) – Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве - Харьков: НТУ «ХПИ». - 628 с.
- [3]. Цапар В.С., Арсеничев А.Л. (2015) – Разработка иерархической системы управления стекловаренной печью - Автоматизация технологических та бизнес-процесів, Vol. 7, Issue 1 – С. 83-86
- [4]. Власова С. Г. (2013) – Основы химической технологии стекла – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та. – 108 с.
- [5]. Karcher C., Schreiber H., Kolesnikov Y. (2005) – Magnetohydrodynamische Anwendungen bei der Luminiumherstellung - International Workshop on Electroheat. Ilmenau.
- [6]. Krieger U., Halbedel B., Hülsenberg D., Thess A. (2008) – Electromagnetic effects on glass melt flow in crucibles - Glass Technol.: Eur. J. Glass Sci. Technol. A. №49 (1). – p.33–40.
- [7]. Giessler C, Sievert C., Krieger U., Halbedel B., Hülsenberg D., Luedke U., Thess A. (2005) – A Model for Electromagnetic Control of Buoyancy Driven Convection in Glass Melts - 1,2,3 FDMP.– vol.1, no.3. – pp.247–266.
- [8]. Soubeih S., Luedtke U., Halbedel B. (2015) – Improving Residence Time Distribution in Glass Melting Tanks Using Additionally Generated Lorentz Forces - J. Chem. Chem. Eng. –№9. – p.203–210.
- [9]. Gießler C. (2008) – Theoretical investigations of electromagnetic control of glass melt flow – Universitätsverlag. Ilmenau.
- [10]. Жученко А. И., Цапар В.С. (2013) – Дослідження температурних полів скловарної печі - Східно-Європейський журнал передових технологій, №2/8 (62) – С. 49-52