

АНОТАЦІЯ

***Коротинський А. П.* Автоматизація процесу керування багатоканальними печами випалювання вуглеграфітових виробів. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». - Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2020.

Виробництво вуглецевих виробів відіграє важливу роль для розвитку народного господарства країни, оскільки саме продукція даного виробництва широко застосовується в різних галузях промисловості. До таких виробництв можна віднести підприємства чорної та кольорової металургії, машинобудування, хімічної промисловості та інші.

Сучасні світові тенденції розвитку галузей промисловості, що є споживачами виробництва вуглецевих виробів, обумовлюють постійне нарощування обсягів виробництва графітованих та вуглецевих виробів.

Виробництво вуглецевих виробів є надзвичайно ресурсо- та енергозатратним через значний вихід браку в кінцевій продукції та значної тривалості енергозатратного виробництва. Підвищення ефективності даного виробництва навіть на незначний рівень призводить до значних фінансових заощаджень, а тому є актуальною науково-практичною проблемою, особливо в сучасних умовах постійного зростання вартості енергоносіїв.

В роботі проведений аналіз технологічних особливостей процесу виробництва вуглецевих виробів, а також конструктивних особливостей технологічних апаратів даного виробництва показав, що одним із визначальних з токи зору кінцевої продукції та енергозатратних технологічних процесів у виробництві вуглецевих виробів є процес випалювання. Проаналізовано основні технологічні етапи процесу випалювання вуглецевих виробів у багатоканальних печах та досліджено особливості проходження кампанії на цих етапах. Проведено

параметричний аналіз всіх технологічних етапів випалювання, у результаті якого сформовано основні вхідні та вихідні параметри, визначено збурювальні та керувальні впливи.

На основі проведеного аналізу процесу випалювання встановлено ключову роль етапу «камера під вогнем як основної стадії з точки зору формування параметрів якості готової продукції і потенціалу для підвищення ефективності ресурсо- та енергозбереження процесу виробництва вуглеграфітових виробів в цілому.

Підвищення ефективності процесу випалювання вуглецевих виробів базується на визначенні та реалізації у реальному часі оптимальних режимів роботи печі випалювання. Поставлена задача може бути розв'язана шляхом впровадження ефективних систем керування даним технологічним об'єктом на основі його математичної моделі. Проте відомі на сьогоднішній день системи керування процесом випалювання вуглецевих виробів не відповідають сучасним вимогам до їх ефективності, а тому потребують або їх удосконалення або розроблення нових.

У зв'язку з цим, потребує розв'язання актуальне науково-практичне завдання розроблення системи оптимального керування процесом випалювання вуглецевих виробів, яка б відповідала сучасним вимогам ресурсо- та енергозбереження.

Обґрунтовано застосування методу математичного моделювання, як фактично безальтернативного методу дослідження процесу випалювання, вуглеграфітового виробництва та сформульовані задачі даного дослідження.

У результаті проведеного аналізу відомих на сьогоднішній день математичних моделей процесу випалювання та аналогічних йому процесів визначена модель, на основі якої ґрунтується подальше дослідження режимів роботи багатоканальної печі випалювання.

Для математичного моделювання кампанії випалювання вуглецевих виробів реалізована математична модель в розподілених параметрах на основі усереднених по Рейнольдсу рівняння нерозривності, збереження кількості руху,

транспорту хімічних компонентів реакції горіння, енергії в ентальпійному вигляді, турбулентної кінетичної енергії і швидкості її дисипації.

Сформовано методику та порядок проведення досліджень впливу основних технологічних параметрів процесу випалювання вуглецевих виробів на проходження кампанії. Основну увагу при дослідженнях процесу випалювання «зелених» заготовок у багатокамерних печах приділяється визначенню: рівня температур різних типів заготовок протягом всього процесу випалювання; оптимального відповідно до даної конструкції печі завантаження заготовок; рівня температур заготовок при нагріванні димовими газами, при згоранні природного газу, при охолодженні повітрям, що йде на спалювання; швидкості росту мінімальної та максимальної температур у заготовках; перепаду температур у заготовках і по камері печі в цілому; зіставлення рівня температур під склепінням печі з температурами, які досягаються у пересипці і заготовках; впливу розрідження на перепад температур по заготовкам; впливу процесу горіння на температурні поля камери печі; залежності процесів горіння палива та охолодження заготовок від коефіцієнта надлишку повітря і, як результат, його впливу на температурні поля камери.

Результати досліджень показали значну розподіленість температур по робочому об'єму багатокамерної печі випалювання, дозволили визначити зони з мінімальною та максимальною температурами, з максимальним перепадом температур, а також фактори, які впливають на тепловий режим, що надає можливість врахувати ці обставини при побудові систем керування технологічним процесом.

Показано, що математична модель процесу випалювання вуглецевих виробів, яка була використана для дослідження режимів роботи даного технологічного об'єкту, потребує значного часу розрахунку – від декількох годин до декількох десятків годин – і тому не може бути використана у системах керування реального часу. Обґрунтована необхідність побудови спрощені математичної моделі, яка не потребує тривалого часу розрахунку або значних розрахункових

потужностей, а тому може бути використана у системах керування технологічним процесом.

Проведено аналіз відомих методів спрощення математичних моделей, наведено їх переваги та недоліки. На основі аналізу обгрунтовано доцільність використання методу, що базується на наближеному поданні точних розв'язків. Для побудови спрощеної математичної моделі процесу випалювання використовувався метод розділення змінних Фур'є. Розроблені спрощені математичні моделі для трьох режимів роботи камери випалювання – охолодження, нагрівання димовими газами та «камера під вогнем».

Проведене дослідження точності та адекватності розроблених моделей показало їх високу ефективність. Для перевірки розроблених математичних моделей на адекватність реальному технологічному процесу було отримано експериментальні дані температур заготовок протягом кампанії випалювання та при моделюванні спрощеними математичними моделями. Перевірка на адекватність математичних моделей була проведена з використанням статистичних критеріїв Стюдента та Фішера.

Аналіз існуючих на сьогоднішній день критеріїв якості готової продукції показав неможливість їх застосування як критеріїв готовності кінцевої продукції. У даній роботі запропоновано розглядати ентропію як критерій готовності продукції, базуючись на тому, що зміна стану вуглецевих матеріалів, які піддаються термічній обробці, супроводжується зміною їх термодинамічних властивостей.

Проведений аналіз існуючих на сьогоднішній день систем керування процесом випалювання висвітлив переваги та недоліки запропонованих систем керування, а також показав, що основними складнощами при розробленні системи керування даним процесом є неврахування підсосу повітря, температури повітря, що йде на спалювання, інерційність процесу та його перерегулювання.

Запропоновано шляхи для вирішення описаних складнощів, а саме: представлення об'єкта управління як послідовності зв'язаних між собою основних етапів кампанії випалювання, та доцільність використання МРС-керування.

Проведено дослідження впливу горизонтів прогнозування та керування при розробці MPC-регуляторів.

Для дослідження ефективності розробленої системи керування з MPC-регулятором проведено порівняння останньої з класичним ПІД-регулятором, налаштованим методом Циглера – Ніколса, та селективним ПІД-регулятором. Отримані результати свідчать, що ПІД-регулятор використовує найбільшу витрату палива протягом всього етапу керування, середні значення витрати палива складають 54.8 м³/год для системи керування з класичним ПІД-регулятором, 49.1 м³/год з селективним ПІД-регулятором, 44.1 м³/год - для запропонованої системи з MPC-регулятором. Очевидно, що найбільш економічно вигідною системою є MPC-регулятор, яка забезпечує витрату палива менше на 24 % та 11 % відповідно у порівнянні з іншими досліджуваними системами.

Порівнявши результати роботи наведених систем отримано, що класичний ПІД-регулятор програє по всім розглянутим характеристикам окрім, перепаду температури при переходу від одного режиму роботи до іншого. Найближчим конкуруючим аналогом був селективний ПІД-регулятор, що має хороші показники перепаду та приростів температур по всьому процесі випалювання. Відтак, перевагу отримує MPC-регулятор з досить хорошим показником перепаду та приростів температур протягом всього процесу випалювання, досить простою реалізацією керування та можливістю доопрацювання необхідних особливостей зміною наведених горизонтів.

Обґрунтовано доцільність синтезу системи керування на базі штучних нейронних мереж для вирішення задачі визначення ймовірності дефектів у заготовках. Вирішена задача обмеженості необхідних для навчання нейронної мережі даних шляхом застосування особливої структури – автоенкодера.

В порівнянні з системою керування з класичним ПІД-регулятором, розроблена система забезпечує меншу витрату палива для досягнення продукції необхідної якості. Запропонований регулятор забезпечує менші перепади та прирости температур протягом всього процесу випалювання.

Можливість вибору кроку спуску визначає точність траєкторії оптимального спуску, а тому і точність керування процесом випалювання в цілому системою керування на базі штучних нейронних мереж.

Вибір критерію оптимального спуску робить розроблений регулятор гнучким при використанні в різних умовах та зручним для досягнення різних цілей керування.

Застосування даного алгоритму в будь-який момент часу наприклад, після аварійної ситуації, дає змогу спрогнозувати доцільність та ефективність продовження кампанії випалювання.

Розроблений підхід, що лежить в основі даної системи керування, дозволяє спрогнозувати час ведення кампанії випалювання та значення витрат палива, а тому спрогнозувати економічну ефективність виробництва.

Ефективність усіх розроблених систем керування підтверджена результатами проведених імітаційних моделювань.

Ключові слова: багатоканальна піч випалювання, вуглецеві вироби, математичне моделювання, спрощена математична модель, критерій якості керування, система керування з прогнозуючою моделлю, система керування на базі штучних нейронних мереж.

ABSTRACT

Korotynskyi A. Automation of the control process of multi-chamber furnaces for baking carbon products. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining a scientific degree of a Ph.D. degree in specialty 151 "Automation and Computer-Integrated Technologies." - National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2020.

The production of carbon products plays an important role in the development of the national economy of the country, since the production of this production is widely

used in various industries. These industries include ferrous and non-ferrous metallurgy, mechanical engineering, chemical industry and others.

Current global trends in the industries that are consumers of carbon products cause a steady increase in the production of graphite and carbon products.

Carbon production is extremely resource- and energy-intensive because of the significant shortage of output and the long duration of energy-consuming production. Increasing the efficiency of this production even to a small level leads to significant financial savings, and therefore is an urgent scientific and practical problem, especially in the current conditions of constant increase in the cost of energy.

The analysis of the technological features of the process of production of carbon products, as well as the design features of technological devices of this production, showed that one of the determinants of the current production of bones and energy-consuming technological processes in the production of carbon products is the baking process. The main technological stages of the process of baking of carbon products in multi-chamber furnaces are analyzed and the peculiarities of the campaign's progress at these stages are investigated. Parametric analysis of all technological stages of baking is carried out, as a result of which the main input and output parameters are formed, the perturbations and control effects are determined.

Based on the analysis of the baking process, the main role of the stage "camera under fire" as the main stage in terms of the formation of parameters of the quality of finished products and the potential for increasing the efficiency of the resource and energy saving of the process of production of carbon graphite products as a whole was determined.

Increasing the efficiency of the carbon product baking process is based on identifying and implementing in real time the optimum operating modes of the furnace. This task can be solved by implementing effective control systems for this technological object based on its mathematical model. However, control systems of the carbon product baking process known to date do not meet the current requirements for their efficiency, and therefore need to be either improved or developed.

In this regard, the urgent scientific and practical task of developing a system of optimal control of the process of baking carbon products that meets the modern requirements of resource and energy conservation needs to be solved.

The application of the mathematical modeling method as a virtually non-alternative method of investigation of the process of baking graphite production and the objectives of this study are substantiated.

As a result of the analysis of the mathematical models of the baking process known to date, and similar processes, the model was used, on the basis of which further study of the modes of operation of the multi-chamber baking furnace is based.

For mathematical modeling of the campaign of baking carbon products, a mathematical model in distributed parameters is implemented based on the Reynolds-averaged equation of continuity, conservation of the amount of motion, transport of chemical components of the combustion reaction, energy in enthalpy, turbulent kinetic energy and velocity of its energy.

The methodology and procedure for conducting research into the influence of the main technological parameters of the carbon baking process on the campaign progress have been established. The main focus of research on the baking process of "green" blanks in multi-chamber furnaces is to determine: the temperature level of different types of blanks throughout the baking process; optimum in accordance with this design furnace loading blanks; the temperature level of the blanks when heated with flue gases, during combustion of natural gas, when cooled by combustion air; the rate of growth of the minimum and maximum temperatures in the blanks; temperature differences in the blanks and the furnace chamber as a whole; comparison of the temperature level under the arch of the furnace with the temperatures reached in the filling and blanks; the effect of the dilution on the temperature drop across the blanks; the effect of the combustion process on the temperature fields of the furnace chamber; dependence of the processes of combustion of fuel and cooling of the blanks on the coefficient of excess air and, as a result, its effect on the temperature fields of the chamber.

The results of the studies showed a significant distribution of temperatures over the working volume of the multi-chamber baking furnace, allowed to determine the zones

with minimum and maximum temperatures, with maximum temperature difference, as well as factors that affect the thermal mode, which makes it possible to take into account these circumstances when building control systems of process.

It has been shown that a mathematical model of the carbon-baking process used to investigate the modes of operation of a given technological object requires a considerable calculation time - from several hours to several tens of hours - and therefore cannot be used in real-time control systems. The necessity to build a simplified mathematical model, which does not require a long calculation time or significant calculation capacities, and therefore can be used in process control systems, is justified.

The known methods of simplification of mathematical models are analyzed, their advantages and disadvantages are given. Based on the analysis, it is reasonable to use a method based on the approximate representation of exact solutions. A Fourier variable method was used to construct a simplified mathematical model of the baking process. Simplified mathematical models have been developed for the three modes of operation of the chamber - cooling, heating with flue gases and "chamber under fire".

The conducted study of the accuracy and adequacy of the developed models showed their high efficiency. To test the mathematical models developed for the adequacy of the real technological process, experimental data were obtained of the blanks temperatures during the baking campaign and in the simulation of simplified mathematical models. The adequacy of mathematical models was tested using the statistical criteria of Student and Fisher.

An analysis of the existing quality criteria for finished products has shown that it is impossible to use them as the criteria for the finished product readiness. In this paper, it is proposed to consider entropy as a product readiness criterion, on the basis that the change in the state of carbonaceous materials undergoing heat treatment is accompanied by a change in their thermodynamic properties.

The analysis of existing control systems of the baking process has revealed the advantages and disadvantages of the proposed control systems, and also showed that the main difficulties in the development of the control system of this process is the failure

to take into account the air intake, combustion air temperature, inertia of the process and its overregulation.

Ways to solve these difficulties are presented: presenting the control object as a sequence of related stages of the baking campaign, and the expediency of using MPC control. The influence of the horizons of forecasting and control during the development of MPC-controller is investigated.

To study the effectiveness of the developed control system with the MPC controller, a comparison of the latter with a classical PID-controller, tuned by the Ziegler - Nichols method, and a selective PID-controller was performed. The results show that the PID-controller uses the highest fuel consumption during the entire control phase, the average fuel consumption is 54.8 m³ / h for the control system with the classic PID-controller, 49.1 m³ / h with the selective PID-controller, 44.1 m³ / h - for the proposed system with MPC-controller. Obviously, the most cost-effective system is the MPC-controller, which provides fuel consumption of less than 24% and 11%, respectively, compared to other systems under study.

Comparing the results of the above systems, it is found that the classic PID-controller loses all the considered characteristics except the temperature difference during the transition from one mode of operation to another. The closest competing analogue was the selective PID-controller, which has good differential and temperature gains throughout the baking process. Therefore, the advantage is the MPC controller with a sufficiently good rate of change and temperature increase throughout the firing process, a simple implementation of control and the ability to refine the required features by changing the above horizons.

The feasibility of synthesis of control system based on artificial neural networks to solve the problem of determining the defect probability in the blanks is substantiated. The problem of limited necessity for training of neural network of data by application of special structure - autoencoder is solved.

Compared to the control system with the classic PID-controller, the developed system provides less fuel consumption to achieve the products of the required quality.

The proposed controller provides smaller variations and temperature increases throughout the baking process.

The ability to choose the descent step determines the accuracy of the trajectory of the optimal descent, and therefore the accuracy of control of the baking process in the whole control system based on artificial neural networks.

The choice of the optimum descent criterion makes the designed controller flexible when used in different conditions and convenient for achieving different control objectives.

The application of this algorithm at any time, for example, after an emergency, makes it possible to predict the feasibility and effectiveness of continuing the baking campaign.

The developed approach, which underlies this control system, allows to predict the time of the baking campaign and the value of fuel consumption, and therefore to predict the economic efficiency of production.

The efficiency of all the developed control systems is confirmed by the results of the simulations.

Keywords: multi-chamber baking furnace, carbon products, mathematical modeling, simplified mathematical model, control quality criterion, control system with predictive model, control system based on artificial neural networks.

Список публікацій здобувача:

Монографії

1. Жученко О.А., Коротинський А.П., Хібеба М.Г. Математичне моделювання енергоємних технологічних процесів вуглеграфітового виробництва [текст] : монографія. –К.:КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 344 с.:іл. – 300 прим. ISBN 978-617-7503-56-8. *(проведено системний аналіз основних енергоємних процесів, розроблені оперативні математичні моделі, проведені дослідження теплових режимів технологічних процесів методом математичного моделювання)*

***Статті у періодичних наукових виданнях держав, які входять до
Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського
Союзу***

2. Korotynskiy A. Investigation influence of predict gorizont of mpc-regulator for control of the baking process/ O. Zhuchenko, A. Korotynskiy // Slovak international scientific journal VOL.2, №37, 2020

***Статті у наукових фахових виданнях України, які входять до
міжнародних наукометричних баз даних***

3. Korotynskiy A. Development and investigation of the reduced mathematical model of the process of baking carbon products / O. Zhuchenko, A. Korotynskiy // Международный наукометрический научный журнал "СхідноЄвропейський журнал передових технологій". – 2019/ -№1/8(97). –С. 70-78. *(включено до наукометричної бази даних Scopus, Index Copernicus). (розроблена математична модель та проведено її дослідження).*

4. Коротинський А.П. Дослідження впливу розрідження на температурний режим процесу випалювання вуглецевих виробів на етапі камера «під вогнем» / О.А. Жученко, А.П. Коротинський // Вісник Криворізького національного університету. Збірник наукових праць. – 2018. - №47. – С. 44-49. *(включено до наукометричної бази даних Index Copernicus). (досліджено вплив розрідження на температурний розподіл процесу випалювання).*

5. Коротинський А. П. Дослідження процесу охолодження у багатоканальних печах випалювання вуглецевих виробів / Жученко О. А., Коротинський А. П. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки том 29 (68) часть 1 – 2018. *(включено до наукометричної бази даних Index Copernicus). (досліджено температури вуглецевих заготовок, пересипки та газового середовища при різному надлишку повітря).*

6. A system of automated control for the baking process that minimizes the probability of defects / A. Korotynskiy, O. Zhuchenko // Международный наукометрический научный журнал "СхідноЄвропейський журнал передових технологій". – 2020/ -№1/2(103). –С. 58-67. *(включено до наукометричної бази*

даних Scopus, Index Copernicus). (розроблена автоматична система формування оптимальних векторів керування та проведено її дослідження).

Статті у наукових фахових виданнях України

7. Коротинський А.П. Постановка задачі керування процесом випалювання у виробництві вуглецевих виробів / О.А. Жученко, А.П. Коротинський // Гірничий вісник. Науково-технічний збірник. ДВНЗ «Криворізький національний університет». – 2017. - №102. – С. 174-179. (математично сформульована задача оптимального керування процесом випалювання).

8. Коротинський А.П. Дослідження впливу надлишку повітря на процес випалювання вуглецевих виробів у камері "під вогнем" / О. А. Жученко, А. П. Коротинський // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. - 2018. - № 1. - С. 119-128. (досліджено вплив надлишку витрати повітря на температурні поля процесу випалювання)

9. Коротинський А.П. Дослідження впливу розрідження на процес нагріву багатокамерної печі випалювання димовими газами / О. А. Жученко, А. П. Коротинський // Наукоємні технології. - 2018. - № 2. - С. 255-264. (досліджено вплив розрідження на температурні поля процесу випалювання на стадії нагрівання димовими газами).

10. Коротинський А.П. Дослідження впливу початкової температури повітря на температурний режим процесу випалювання вуглецевих виробів у камері "під вогнем" / О. А. Жученко, А. П. Коротинський // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія : Технічні науки. - 2018. - Вип. 36. - С. 201-209. (досліджено вплив початкової температури повітря на температурні поля процесу випалювання на стадії "камера під вогнем").

11. Коротинський А.П. Дослідження впливу надлишку повітря на процес нагрівання багатокамерної печі випалювання димовими газами / О. А. Жученко, А. П. Коротинський // Енергетика: економіка, технології, екологія. - 2018. - № 1. - С. 71-80. (досліджено вплив надлишку витрати повітря на температурні поля процесу випалювання на стадії нагрівання димовими газами).

12. Коротинський А.П. Дослідження впливу витрати палива на температурні поля печі випалювання вуглецевих виробів / О.А. Жученко, А.П. Коротинський // Збірник наукових праць національного університету кораблебудування імені Адмірала Макарова Наукове видання №4 (478) 2019, С. 3-10.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

13. Коротинський А.П. Аналіз впливу надлишку повітря на температурні поля процесу випалювання вуглецевих виробів / О.А. Жученко, А.П. Коротинський // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – 2018 [текст]: Матеріали П'ятої Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів (АКІТ-2017), Київ, 11-12 квітня 2018р. КПІ ім. Ігоря Сікорського, Політехніка.-168 с. С. 77-79

14. Коротинський А.П. Дослідження процесу охолодження в багатокамерних печах випалювання / О.А. Жученко, А.П. Коротинський // «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки». Праці VI-ї Міжнародної науковопрактичної конференції. Чернівці: Видавничий дім «Родовід», 2017.– 177с.. 5-8 жовтня 2017р.

15. Коротинський А.П. Дослідження впливу витрати природнього газу на температурні поля печі випалювання вуглецевих виробів / О.А. Жученко, А.П. Коротинський// Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології [текст]: Матеріали Шостої Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів (АКІТ-2019), Київ, 23-24 квітня 2019р. – КПІ ім. Ігоря Сікорського, «Політехніка». С. 127-128.

16. Коротинський А.П. Сучасний стан питання розробки систем керування процесом випалювання вуглецевих виробів / О.А. Жученко, А.П. Коротинський// Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології [текст]: Матеріали Шостої Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів (АКІТ-2019), Київ, 23-24 квітня 2019р. – КПІ ім. Ігоря Сікорського, «Політехніка». С. 107-108.

17. Коротинський А.П. Аналіз показників якості випалювання вуглеграфітових електродних виробів / О.А. Жученко, А.П. Коротинський //

Матеріали III Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами», 23 листопада 2016 р. [Електронний ресурс] – К: НУХТ, 2016 р. – 286 с. с. 47

18. Коротинський А. П. Аналіз процесу випалювання вуглеграфітових виробів / Коротинський А.П., Жученко О.А. // Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування (теорія, практика, історія, освіта) [текст]: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування (теорія, практика, історія, освіта)» 14-18 листопада 2016 р. К: НУБіП, 2016 р. – 174 с. С 64-65.

19. Коротинський А. П. Задачі керування процесом випалювання / Жученко О. А., Коротинський А. П. // Автоматика – 2017 [текст]: Матеріали XIV Міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика – 2017»: м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року:.. Київ. 2017. 267 с. С 68-69.

20. Коротинський А. П. Дослідження впливу надлишку повітря на процес нагрівання камери печі випалювання димовими газами / Жученко О. А., Коротинський А. П. // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології [Текст]: Тези доповідей XI-ї науково-практичної конференції студентів. Київ, 06–07 грудня 2017 р. [Електронний ресурс] – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 91 с. С 65-66.

21. Коротинський А. П. Аналіз впливу надлишку повітря на температурні поля процесу випалювання вуглецевих виробів / Жученко О. А., Коротинський А. П. // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – 2018 [текст]: Матеріали V Міжнар. наук.-практ конф. Молодих учених, аспірантів і студ. (АКІТ – 2018), м. Київ, 11-12 квіт. 2018р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – 168 с. С. 77-78.

22. Коротинський А. П. Аналіз впливу розрідження на процес нагріву багатокамерної печі випалювання / Жученко О. А., Коротинський А. П., Катишев Є. В. // Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та

оптимізації [текст]: Тези доповідей 8-ї Міжнародної наукової конференції, присвяченої 100-річчю Національної академії наук України та 100-річчю Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка «Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації». — Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2018. — 160 с. С.-26

23. Коротинський А. П. Дослідження впливу початкової температури повітря на температурний режим камери «під вогнем» / Жученко О. А., Коротинський А. П., Катишев Є. В. // Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування (теорія, практика, історія, освіта) [текст]: Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої 120-річчю НУБіП України «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування» (теорія, практика, історія, освіта) м. Київ, 23-27 травня 2018 р. НУБіП 2018 — 131 с. С.51-53

24. Жученко, О. А. Аналіз впливу способу завантаження заготовок на температурні поля печі випалювання на етапі камера «під вогнем» / Жученко О. А., Коротинський А. П. // Інформаційні технології і автоматизація – 2018 : зб. доп. XI Міжнар. наук.-практ. конф., Одеса, 4–5 жовт. 2018 р. / Одес. нац. акад. харч. технологій ; ред. кол.: С. В. Котлик, В. А. Хобін. – Одеса, 2018. – Ч. I. – С. 43–44 : рис. – Бібліогр.: 2 назв.

25. Коротинський А. П. Дослідження впливу розрідження на етапі камера «під вогнем» процесу випалювання вуглецевих виробів / Жученко О. А., Коротинський А. П. // Автоматизоване управління багатовимірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту [текст]: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «автоматизоване управління багатовимірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту» 17 - 19 жовтня 2018 року Івано-Франківськ – 2018 — 251 с. С.36-38

26. Коротинський А. П. Постановка задачі використання автоенкодера Для визначення ймовірності браку продукції процесу випалювання / Жученко О. А., Коротинський А. П. // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

[Текст]: Тези доповідей Тринадцятої науково-практичної конференції студентів. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 04–05 грудня 2019 р. [Електронний ресурс]. – 84 с.

27. Коротинський А. П. Дослідження впливу горизонту прогнозування МРС-регулятора при синтезі системи керування процесом випалювання / О.А. Жученко, А.П. Коротинський // Матеріали VI Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 20 листопада 2019. [Електронний ресурс] – К: НУХТ, 2019 – 300 с.