

Митрофанов О.В.

Криворізький національний університет

АВТОМАТИЗОВАНЕ КЕРУВАННЯ ГАЗОТЕПЛОНОСІЙНИМИ ПОТОКАМИ НА КОНВЕЄРНІЙ ВИПАЛЮВАЛЬНІЙ МАШИНИ

Створено автоматизовану систему управління димососами конвеєрної випалювальної машини, що використовує температури відпрацьованих газотеплоносійних потоків у технологічних зонах випалу і рекуперації. Ці потоки направляються, відповідно, до зон сушіння і попереднього нагрівання. Представлені результати комп'ютерного моделювання для визначення впливу газотеплоносійних потоків на термічний процес виготовлення залізорудних обкотишів у технологічних зонах машини.

Ключові слова: конвеєрна випалювальна машина, обкотиші, технологічна зона, термічний процес, газотеплоносійний потік.

Постановка проблеми. Термічний процес виготовлення обкотишів відбувається на конвеєрних випалювальних машинах (КВМ) із продуктивністю від 90 – 110 т/ч для ОК – 108 до 360 т/ч для ОК – 520/536. У процесі виготовлення обкотиші проходять технологічні зони: сушіння, підігрівання, випалювання, рекуперації та охолодження. У кожній технологічній зоні підтримується певний температурний і газотеплоносійний режим. Основна мета виготовлення обкотишів полягає в їх отриманні з оптимальними металургійними властивостями: максимальне видалення сірки і надання їм міцності, що забезпечує їх транспортування, перевантаження і плавку в доменних печах.

КВМ має тракт для транспортування потоків газо-теплоносіїв, який з'єднує технологічні зони КВМ із повітрорудними машинами (димососами) – витяжними і дуттьовими. Атмосферне повітря просмоктується знизу вгору через розташовані на випалювальних візках обкотиші в процесі їх охолодження. Просмоктування в технологічних зонах випалу і рекуперації здійснюється шляхом створення розрідження у вакуум-камерах за допомогою витяжних димососів. У тому випадку, коли для охолодження обкотишів атмосферне повітря подають знизу вгору через дуттьові камери, використовують дуттьові повітрорудні машини.

Нарешті, при вторинному використанні потоки газо-теплоносіїв відсмоктуються з камер і подаються до випалювальних візків знизу через дуттьові камери або зверху – через горн. Це здійснюють повітрорудні машини, що виконують функції витяжних і дуттьових.

Повітрорудні машини, застосовувані для всіх зазначених цілей, за конструкцією практично однакові і є відцентровими машинами з двосто-

роннім всмоктуванням. Різниця їх полягає в тому, що одні з них – вентилятори – призначені для роботи на чистому повітрі (газі) з температурою навколишнього середовища, а інші – димососи і екстаустери (або, в термінології заводу-випалювача, нагнітачі) – пристосовані для роботи на забрудненому гарячому газоповітряному потоку.

Досвід експлуатації існуючих фізично застарілих КВМ переконливо показує, що дотримання газодинамічних характеристик на КВМ під час виготовлення обкотишів не в повній мірі контролюється в зонах КВМ. Тому управляти термічним процесом виготовлення обкотишів з урахуванням газотеплоносійних потоків приходиться на основі непрямого визначення температур у кожній технологічній зоні КВМ [1]. У цьому напрямку фахівцями проводиться дослідження, в результаті яких з'явилися нові розробки. Це вказує на необхідність проведення додаткові дослідження для уточнення розподілу параметрів потоку газо-теплоносіїв у зонах КВМ і становити методи керування цими потоками. Такий підхід свідчить також про те, що тематика досліджень, присвячених процесу термічного процесу виготовлення обкотишів із раціональним управлінням із розподілу газотеплоносійних потоків упродовж усіх зон КВМ, є актуальною науковою та практичною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Автоматизації виробництва залізорудних обкотишів на КВМ присвячена велика кількість видань [2–5]. У цих роботах значну увагу приділено автоматизованим системам керування термічних процесів під час виготовлення залізорудних обкотишів у лабораторних і промислових умовах. Проте термічні процеси не розглядаються з урахуванням впливів потоків газотеплоносіїв, і їх регулювання не забезпечується впродовж технологічних зон

КВМ. У наукових роботах [6–9] відмічається, що така технологія містять шихтові матеріали, які надають ряд труднощів і особливостей при автоматизації цих процесів. До них відносяться значні енерговитрати, оскільки нераціонально використовуються потоки газо-теплоносіїв. При переміщенні випалювальних візків упродовж технологічних зон КВМ відсутня можливість контролю параметрів технологічного процесу в реальному часі. Усе це приводить до неякісного виготовлення обкотишів. У той же час дослідники не домагаються вирішити інтенсифікацію теплообміну в шарі обкотишів за рахунок управління швидкістю руху високотемпературних потоків газо-теплоносіїв, параметри яких залежать від висоти шару і потужності димососів [10; 11].

У деяких наукових роботах надано рекомендації щодо використання оптимальних режимів термічного процесу в окремих технологічних зонах, при яких дозволяють отримувати залізорудні обкотиші з високими металургійними властивостями. Для цього дослідники пропонують ідею використання в автоматизованих системах управління нечіткого контролера для поліпшення процесу термічної обробки залізорудних обкотишів [12] або використовують математичне моделювання, яке знаходить широке застосування при аналізі та вдосконаленні процесів виготовлення залізорудних обкотишів на КВМ [13–17]. У моделях враховуються: швидкість руху стрічки, висота шару, витрати газу, швидкість продуву, вологість, середній діаметр обкотишів, основність та склад заліза в обкотишах. Як вказують автори, це дає збільшення продуктивності КВМ на 2,5%. Проте виникають проблеми з виміром у реальному часі в потоці таких технологічних параметрів, наприклад, як температура всередині та на поверхні шару обкотишів на випалювальних візках. При цьому невирішені питання розподілу потоків газо-теплоносіїв по зонах КВМ. Моделі не враховують вплив параметрів потоку газо-теплоносія, що відходить із зон випалу і рекуперації та впливає на зони сушіння та попереднього нагрівання, тобто на процес попередньої обробки сирих обкотишів. Результат протікання такого технологічного процесу приводить до отримання неякісних обкотишів і надмірного використання природного газу.

Постановка завдання. Завданням дослідження є раціональне використання за рахунок перерозподілу потоків газо-теплоносіїв упродовж усіх зон КВМ за допомогою автоматизованої системи управління димососами. Завданням цієї системи є забезпечити ефективний термічний процес

виготовлення обкотишів. Для цього потоки регулюються і направляються з технологічних зон випалювання і рекуперації в зони сушки і попереднього нагрівання обкотишів. При цьому одночасно забезпечується рівномірність випалювання обкотишів за висотою шару в технологічній зоні їх випалювання за рахунок керування процесом подачі атмосферного повітря в зону випалювання через зону охолодження.

Для реалізації поставленої мети поставлено такі задачі:

- розробити структурну схему управління димососами для керування термічним процесом виготовлення залізорудних обкотишів на КВМ;
- визначити розподіл температур потоків газо-теплоносіїв по технологічним зонам КВМ при управлінні димососами у функції температури потоків газо-теплоносіїв, що відходять із технологічних зон випалювання і рекуперації.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для автоматичного керування розподілом потоків газо-теплоносіїв по технологічним зонам КВМ у функції зміни температур потоків газо-теплоносіїв, що відходить із зон випалювання і рекуперації, розроблено автоматизовану систему управління (АСУ) димососами. Структурна теплотехнічна схема КВМ і АСУ надана на рис. 1. На схемі позначені технологічні зони: 1 – сушіння 1, 2 – сушіння 2, 3 – попереднього нагрівання, 4 – випалювання, 5 – рекуперації, 6 – зона охолодження 1 і 7 – охолодження 2. Схема складається з таких структурних елементів: Д1, ... Д5 – димососи, ГО – установка газоочищення, БУ1, ... БУ3 – блоки управління, ДТ1 і ДТ2 – датчики температури, Д_{вшо} – датчик висоти шару обкотишів, Д_{швв} – датчик швидкості переміщення випалювальних візків.

АСУ працює за певним алгоритмом. На вхід контролера задаються потрібні діапазони температур для технологічних зон КВМ, висота шару на випалювальних візках, швидкість їх переміщення тощо. Контролер керує через блоки управління БУ2 і БУ3 роботою димососів Д4 і Д6, забезпечуючи подачу газотеплоносійного потоку, відповідно, в зони сушіння 1 і попереднього підігрівання 2. Контролюють температуру газотеплоносійного потоку, що надходить із зон випалювання 4 і рекуперації 5 КМ. Відповідно до їх значення за допомогою димососів Д4 і Д6 регулюють тиск газотеплоносійних потоків, який по трубопроводах нагнітається в зони сушіння і попереднього нагрівання. При цьому контролер враховує задані значення температурного режиму в техно-

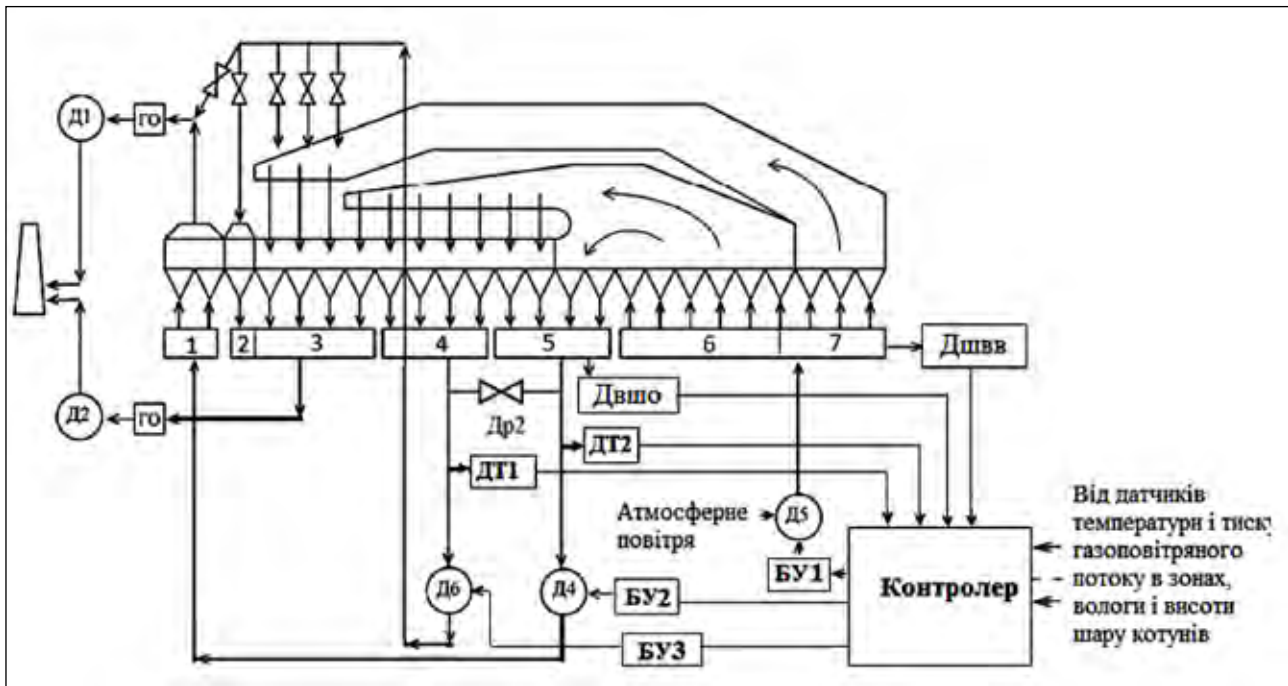


Рис. 1. Структурна схема АСУ димососами

логічних зонах КВМ, висоту шару обкотишів на випалювальних візках, що визначається датчиком $D_{шво}$, і швидкість переміщення випалювальних візків упродовж зон КМ, що контролюється датчиком $D_{швв}$. Таким чином забезпечується регулювання газотеплоносійного потоку між зонами сушіння 1 і попереднього нагрівання 2, підтримується заданий температурний режим у цих зонах. Контролюючи датчиками ДТ1 і ДТ2 температури газотеплоносійних потоків, що надходить із зон випалювання 4 і рекуперації 5, одночасно керують подачею атмосферного повітря в зону випалювання 4 через зону охолодження 7, регулюючи тиск атмосферного повітря димососом Д5. Це дає можливість отримувати рівномірність спікання обкотишів у зоні випалювання 5 за висотою шару обкотишів.

Для визначення розподілу параметрів газотеплоносійних потоків КВМ при керуванні димососами у функції температури газотеплоносійних потоків, що відходять із технологічних зон випалювання і рекуперації, представлено графіками на рис. 1 і рис. 2. Дослідження параметрів газотеплоносійних потоків на виходах із зон випалювання і рекуперації та вплив їх на інші технологічні зони КВМ виконано комп'ютерним моделюванням, використовуючи методику і математичні вирази, які представлено в роботі [18].

Побудовано залежності розподілу температур газотеплоносійного потоку на виході із зон випалювання і рекуперації КВМ з урахуванням: тем-

ператури цього потоку, висоти шару обкотишів на конвеєрних візках, різниці тиску газотеплоносійного потоку до входу в шар обкотишів і після нього. Графіки розподілу в часі температур газотеплоносійних потоків КВМ при керуванні димососом 6 у функції температури газотеплоносійних потоків, що відходять із технологічної зони випалювання, представлено на графіках рис. 1. Графік 1 на цьому рисунку представляє зміну в часі температури газотеплоносійного потоку на виході з технологічної зони випалювання, а графік 2 – тиск цього потоку над шаром обкотишів у технологічній зоні сушки 2, який забезпечується димососом Д6. Температури газотеплоносійних потоків у технологічній зоні сушіння 2 без регулювання і регулюванням тиску димососом 6 представлено відповідними графіками 3 і 4. Зміна у часі температури в технологічній зоні попереднього підігрівання представлено графіком 5.

Графік 1 на рис. 2 представляє розподіл у часі температури газотеплоносійного потоку на виході із технологічної зони рекуперації, а графік 2 – тиск цього потоку над шаром обкотишів у технологічній зоні сушки 1, який забезпечується димососом Д4. Інші графіки 3 і 4 на цьому рисунку представляють зміну температури газотеплоносійних потоків у горні зони сушки 1, відповідно, при керуванні димососом Д4 і отриманих без регулювання. Графік 5 отриманий шляхом проведення експерименту і при керуванні димососом Д4.

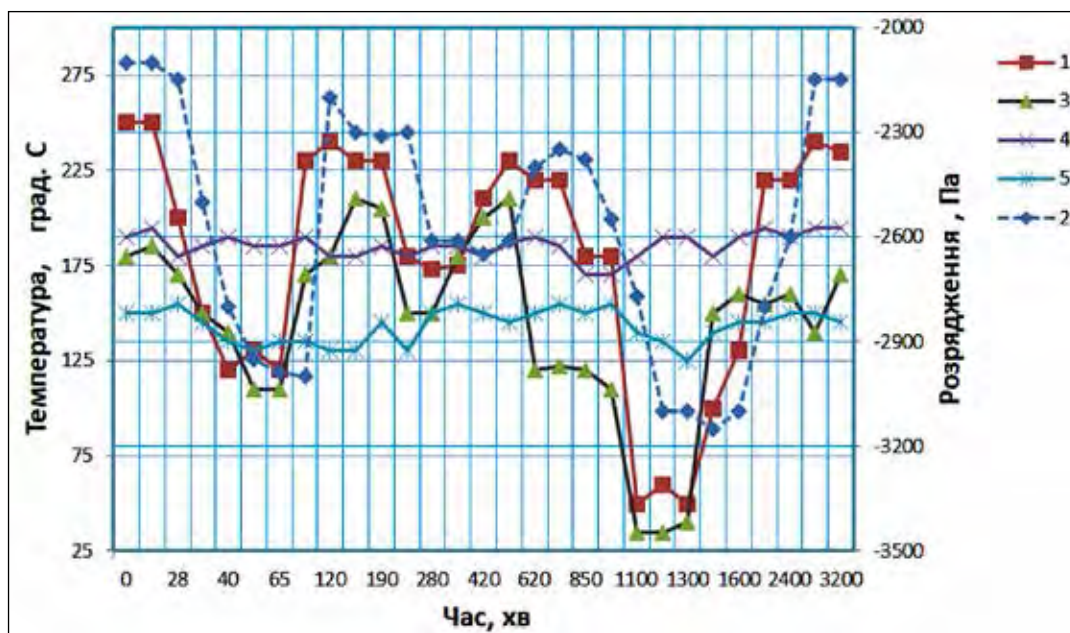


Рис. 2. Графіки розподілу в часі температур і тиску газотеплоносійних потоків КВМ при керуванні димососом Д6 у функції температури газотеплоносійних потоків, що відходять із технологічної зони випалювання

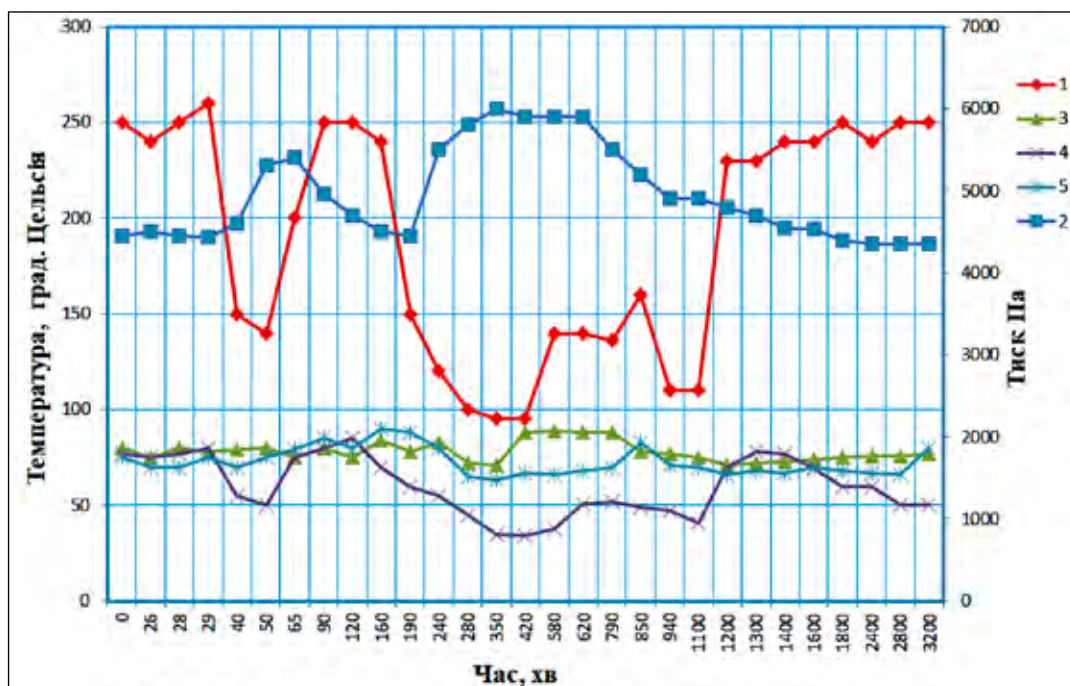


Рис. 3. Графіки розподілу в часі температур і тиску газотеплоносійних потоків КВМ при керуванні димососом Д4 у функції температури газотеплоносійних потоків, що відходять із технологічної зони рекуперації

Як видно з графіків, що надані на рис. 1 і рис. 2, температура газотеплоносійних потоків на виходах із технологічної зони випалювання КВМ змінюється від 250°C до 50°C, а із зони рекуперації – від 250°C до 95°C. При цьому швидкість переміщення випалювальних візків дорівнювала величині 0,049 м/с, а постійна температура газо-

теплоносійного потоку, що подається із технологічної зони охолодження в зони випалювання і рекуперації, складала 440°C.

Результати комп'ютерного моделювання показують, що під час зміни температури газотеплоносійних потоків на виходах технологічних зон випалювання і рекуперації за допомогою димососів

Д4 і Д6 змінюється тиск у зонах сушіння і попереднього нагрівання. Це дозволяє більш інтенсивно продувати шар обкотишів у цих зонах.

Сушка обкотишів виробляється комбінованим способом: у першій частині зони газотеплоносій, що подається димососом Д4 із ковпака зони охолодження, продувається через шар обкотишів знизу вгору з температурою від 83°C до 63°C, у другій частині газотеплоносій з температурою від 170°C до 140°C прокачується через шар зверху вниз. У технологічній зоні підігрівання відбувається окислення магнетиту в гематит. Для цього в даній зоні підтримується температурний режим, який становить 700-1100 °С. На третій стадії обкотиші надходять у технологічну зону випалювання, температурний режим в якій встановлюється в межах 1250-1350°С. Випал обкотишів у цій зоні є однією з найважливіших і складніших стадій із виробництва обкотишів. Тут триває процес окислення обкотишів нижніх шарів, йдуть процеси десульфурації і зміцнення. В якості палива на КВМ застосовується природний газ з теплотворною здатністю до 8000 ккал/Н м³, а наявність вапняку в складі обкотишів призводить до їх спікання вже при температурі 1300°C. Температурний режим у технологічній зоні випалювання підтримується регулюванням додачі природного газу в співвідношенні з подачею атмосферного повітря, стабілізуючи тут потік.

Наступною є зона рекуперація, максимальна температура в газоповітряній камері становить 500-550°C. У зоні рекуперації магнетит остаточно окислюється, і сірка вигорає в нижніх горизонтах шару. У зоні охолодження обкотиші охолоджуються до температури нижче 150 °С для більшості працюючих КВМ. Це досягається подачею атмосферного повітря при керуванні димососом Д5.

Висновки.

1. Розроблена структурна схема автоматизованого управління димососами, яка забезпечує перерозподіл газотеплоносійних потоків упродовж усіх зон КВМ. Такі потоки направляються з технологічних зон випалювання і рекуперації, відповідно, в зони сушіння і попереднього нагрівання обкотишів. Схема має такі елементи: димососи, роботою яких управляє мікропроцесор із блоками управління, використовуючи інформацію датчиків: температури, висоти шару обкотишів, швидкості переміщення випалювальних візків.

2. Визначено розподіл температури газотеплоносійних потоків по технологічним зонам КВМ при управлінні димососами у функції температури газотеплоносійних потоків, що відходять із технологічних зон випалювання і рекуперації. Як показали дослідження, АСУ при зниженні температур газотеплоносійних потоків на виході із цих зон управляють димососами, збільшуючи тиск цих потоків у зонах сушки і попереднього нагріву,

Список літератури:

1. Кривоносов В.А. Контроль температуры окатышей по зонам обжиговой машины. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2011. № 8. С. 189–194.
2. Буткарев А.А. Исследование и совершенствование процесса управления термообработкой окатышей на обжиговых конвейерных машинах. *Сталь*. 2011. № 5. С. 4–8.
3. Ксендзовский В.Р. Автоматизация процессов производства окатышей. *Металлургия*, 1971. 216 с.
4. Кривоносов В.А. Оптимизация режима термообработки окатышей в АСУ ТП конвейерной обжиговой машины. *Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона»*. 2013. № 3.
5. Pomerleau D. Optimization of a simulated iron-oxide pellets induration furnace. *11th Mediterranean Conference on Control and Automation*. 2003. Т7 – 047.
6. Юрьев Б.П. Основы теории процессов при обжиге железорудных окатышей : научная монография / М-во образования и науки РФ; ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2018. 310 с.
7. Марков А.В. Применение UML-диаграмм и сетей Петри для проектирования ПО технологического процесса обжига окатышей. *Сб. науч. тр. НГТУ*. 2014. № 3(77). С. 99–118.
8. Мных А.С. К вопросу синтеза тепловой модели термообработки железорудных окатышей. *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. 2015. № 7. С. 14–20.
9. Kopot N.N. Comparison of Heating Systems in Conveyer Roasting Machines. *Stal*. 2010. № 3. Р. 8–13.
10. Lobov V. Investigation of temperature distribution along the height of the layer of pellets on conveyor roasting machine. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 4. Р. 34–38.
11. Мных А.С. Исследование сегрегации гранул по высоте слоя обеспечивающей исключение неравномерной тепловой обработки окатышей. *Збірник наукових праць ДДТУ*. 2015. № 2(27). С. 148–153.
12. Лобов В.Й. Нечітке управління режимом термічної обробки залізорудних обкотишів на конвеєрній машині. *Вісник Приазовського державного технічного університету*. 2017. № 34. С. 182–191.

13. Майзель Г.М. Опыт разработки и промышленного применения математических моделей для управления процессом производства окатышей на конвейерной машине. *Горная Промышленность*. № 5. 2000. С. 45–47.

14. Боковиков Б.А., Брагин В.В., Малкин В.М. и др. Математическая модель обжиговой конвейерной машины как инструмент для оптимизации тепловой схемы агрегата. *Сталь*. 2010. № 9. С. 84–87.

15. Спирин Н.А. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП. Екатеринбург : ООО «УИПЦ», 2014. 558 с.

16. Пирматов Д.С. Математическая модель тепловой обработки окатышей в обжиговой машине. *Сборник трудов всероссийской конференции: Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве НТ*. Воронеж. 2010. С. 88–89.

17. Lobov V.I. Temperature distribution model of the iron ore pellets layer inside the combustion chamber of the belt kiln burning zone. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2015. № 2. Р. 109–117.

18. Кривонос В.А. Математическая модель процесса обжига окатышей по зонам обжиговой машины для оптимизации режима. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2010. № 5. С. 128–132.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГАЗОВОЗДУШНЫМИ ПОТОКАМИ НА КОНВЕЙЕРНОЙ ОБЖИГОВОЙ МАШИНЕ

Создана автоматизированная система управления дымососами конвейерной обжиговой машины по температурам газозвудушных потоков из технологических зон обжига и рекуперации. Эти потоки направляются, соответственно, в зоны сушки и предварительного нагрева. Представлены результаты компьютерного моделирования для определения влияния температур газозвудушных потоков на термический процесс изготовления железорудных окатышей в технологических зонах машины.

Ключевые слова: конвейерная обжиговая машина, технологические зоны, термический процесс, газозвудушный поток.

AUTOMATED CONTROL OF GAS AIR FLOWS ON A CONVEYOR BURNING MACHINE

An automated control system has been created for the conveyor-burning machine's smoke exhausters in terms of the gas-air flow temperatures from the burning and recovery process zones. These flows are directed to the drying and preheating zones, respectively. The results of computer simulation for determining the effect of gas-air flow temperatures on the thermal process of manufacturing iron ore pellets in the process zones of the machine are presented.

Key words: conveyor roasting machine, technological zones, thermal process, gas-air flow.