

УДК 622.78

Ю.С. РУДЬ, д-р техн. наук, проф., В.Ю. БІЛОНОЖКО, А.О. БОНДАРЕЦЬ, ст. викладачі  
Криворізький національний університет

## ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ АГЛОМЕРАЦІЙНИХ ФАБРИК ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

Технологічні процеси гірничо-збагачувальних комбінатів, особливо агломераційних фабрик, зв'язані з великими енергетичними витратами, які необхідні для фізико-механічного перетворення залізорудної сировини в кінцевий продукт – агломерат. При цьому мають місце значні енергетичні втрати. Тепло спаленого в технологічних машинах газу, коксу, а також газів, нагрітих в процесі виробництва продукції, викидається в атмосферу або використовується частково та неефективно. Це призводить до колосальних енергетичних втрат в обсягах гірничо-металургійного промислового комплексу, а також створює серйозні проблеми екологічного характеру.

**Метою** даної роботи є аналіз проблеми енергозбереження в гірничо-металургійному промисловому комплексі і розробка конструктивних рішень, які забезпечують використання технологічного тепла для підвищення його техніко-економічних характеристик. Рішення проблеми показано на прикладі агломераційних фабрик гірничо-збагачувальних комбінатів.

**Методи досліджень.** Аналітичний аналіз процесів рекуперації технологічного тепла агломераційних фабрик і розробка нових технологій спікання шихти.

**Наукова новизна.** Проведений аналіз проблеми енергозбереження в гірничо-металургійному промисловому комплексі показав, що для рекуперації тепла можливо використовувати два джерела агломераційного виробництва: 1) тепло газів, які засмоктуються екстаустером через вакуум-камери при спіканні шихти; 2) тепло газів, які перекачуються димососом через шар агломерату при його охолодженні.

**Практичне значення.** При нормальних умовах експлуатації тепло, одержане при рекуперації, може бути використане для підвищення техніко-економічних характеристик технологічного обладнання агломераційних фабрик гірничо-збагачувальних комбінатів шляхом використання тепла газів і пари, що відходять від вакуум-камер, що разом складає 64,9% від загального значення витратної частини теплового балансу або 1050-1730 кДж/кг (250-412 ккал/кг).

**В результаті** використання рекомендацій авторів забезпечується зростання продуктивності агломераційних конвеєрних машин за рахунок інтенсифікація процесу спікання при підігрівання вихідної шихти до температури 300-350° С перед її запалюванням. За рахунок рекуперації технологічного тепла, яке створюється в процесі спікання шихти, росте коефіцієнт корисної дії. При цьому досягається значна економія газу за рахунок використання технологічного тепла, одержаного в процесі рекуперації тепла відхідних газів.

**Ключові слова:** агломераційна конвеєрна машина, рекуперації технологічного тепла відхідних газів, техніко-економічні характеристики.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-127-132

**Проблема і її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Проблема енергозбереження є особливо важливою для гірничо-металургійного промислового комплексу, де вона досягає рівня державного масштабу. Технологічні процеси гірничо-збагачувальних комбінатів, особливо агломераційних фабрик, зв'язані з великими енергетичними витратами, які необхідні для фізико-механічного перетворення залізорудної сировини в кінцевий продукт – агломерат [1-4]. При цьому на гірничо-збагачувальних комбінатах мають місце значні енергетичні втрати із-за недостатньо повного використання тепла в технологічному обладнанні. Причиною цього можуть бути особливості технологічних процесів агломерації або недоліки конструкції спеціального обладнання. Таким чином, тепло спаленого в технологічних машинах газу, коксу, а також газів, нагрітих в процесі виробництва продукції, викидається в атмосферу або використовується частково та неефективно. Це призводить до колосальних енергетичних втрат в обсягах гірничо-металургійного промислового комплексу, а також створює серйозні проблеми екологічного характеру.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Ще в середині 70-х років ХХ ст. фахівцями-агломератниками були висловлені пропозиції зменшити кількість шкідливих теплових та інших викидів шляхом застосування технології повернення в агломераційний процес частини відпрацьованих газів, тобто спосіб агломерації з рециркуляцією відпрацьованого газу. Простим і ефективним методом є варіант відбору деякої кількості агломераційного газу (20-30% від загальної кількості) з газопроводу між екстаустером і трубою, яка викидає відпрацьований газ в атмосферу. Відібраний газ за допомогою додаткового димососа спеціальним газопроводом подається в

ковпак, встановлений за запальним горном над робочою частиною агломераційної машини. В цей газ попередньо вводиться строго розраховану кількість атмосферного повітря [5]. Аналогічне рішення для зниження технологічних енергетичних втрат описане в роботі [6]. На металургійному заводі в Уїртоні (США) пропонується схема рециркуляції частини гарячих газів агломераційних машин. Схема передбачає подачу газів з температурою близько 200° С під укриття агломераційної машини. В результаті цього знижуються викиди пилу в атмосферу, на 7% скорочується витрати дрібного коксу і на 3% загальне споживання енергії, зменшився вміст кисню в газах з 16 до 14%. Одним із рішень проблеми енергозбереження в гірничо-металургійному промисловому комплексі є рекуперація тепла або зворотне отримання тепла при використанні процесів теплообміну, при якому тепло забирається від повітря, що викидається в атмосферу, і передається свіжому повітря, яке нагрівається. Відома конструкція агломераційної конвеєрної машини К1-200/300, у якій передбачено підігрівання шихти, укладеної на колосникові ґрати, шляхом продування гарячої газоповітряної суміші через її шар до моменту запалення. Для реалізації цього процесу перед запальною горном передбачено установа двох додаткових окремих вакуум-камер, відокремлених від загального вакуум-колектора. У першу вакуум-камеру нагнітаються гарячі колошникові гази від останньої вакуум-камери агломераційної машини, а у другій вакуум-камері – вони відсмоктуються до загального колектору. Обидві камери площею 24 м<sup>2</sup> закриті загальним кожухом, який виключає попадання гарячої газоповітряної суміші у промислове приміщення [1].

В роботі [6] відзначається, що для забезпечення оптимальних умов для спікання шихти необхідно удосконалити процеси її запалення. Ця стадія спікання характеризується тривалістю та температурою запалення. При спаленні в горні холодного повітря в суміші з коксовим, природним газом або мазутом досягається достатньо високий вміст кисню навіть при високій температурі. Отже ці гази можуть бути використані для запалення суміші при додатковому підігріві шихти. Для додаткового підігріву шихти можна використовувати частину тепла газів, відсмоктаних через шар агломерату при його охолодженні. Це дозволяє при заданій температурі газів підняти вміст кисню при одночасній економії палива. Так як температура газів, відсмоктаних через шар агломерату при його охолодженні на стрічці агломераційної машини вища, ніж при охолодженні в окремому охолоджувачі, то утилізація тепла відпрацьованих галів на машині більш ефективна [6].

Додаткове підігрівання шихти дозволяє її запалити і додатково підвищити температуру верхньої третини шару шихти, тобто створити максимальний прибуток тепла та температуру в шарі, достатній час перебування сировини в зоні спікання [7]. При цьому створюється оптимальна інтенсивність подавання тепла в шар шихти, досягається максимальна температури шару і необхідний час перебування сировини в зоні спікання. Температура запалення шихти, при її знаходженні в зоні горна, повинна складати 1250-1350° С в залежності від температури її плавлення, тривалість запалення – 1 хв. Додаткове нагрівання верхнього третину шару шихти здійснюють на протязі 3-4 хв. при температурі 800° С у разі використання повітряного дуття, при 1000° С у випадку використання газоподібного палива і при 1200° С коли спалюється мазут. Найбільш ефективним варіантом комбінованого способу спікання шихти є використання гарячого дуття при температурі 800-1250° С для запалення шихти і додаткового нагрівання верхньої третини шару шихти. Для нагрівання до 300° С повітря, яке подається в запальною горн, раціонально використовувати обезпилене повітря, яке відходить від охолоджувача або зони охолодження агломераційної машини.

Недоліків відомої конструкції агломераційної конвеєрної машини [1-4] є те, що гарячі колошникові гази останньої вакуум-камери, які продуваються через шар шихти, завантаженою на колосникові ґрати рухомих візків, розміщених над першою вакуум-камерою, насичені дрібними пилоподібними частинками агломерату. Пилоподібні частинками агломерату затримуються в пустотах між гранулами грудкованої шихти і тим самим знижують газову проникливість шихти. Різниця температури завантаженої на колосникові ґрати шихти та гарячої газоповітряної суміші останньої вакуум-камери може досягати до 350° С, що приводить до порушення умов стабільності технологічного процесу та погіршення якості верхнього шару агломерату. В той же час кількості тепла, яку має газоповітряна суміш останньої вакуум-камери, не достатньо для підігрівання всієї маси завантаженої на колосникові ґрати шихти. Викиди із-під загального

кожуха відхідних газів, насичених дрібними пилоподібними частинками агломерату і знаходяться під тиском, приводять до погіршення умов праці обслуговуючого персоналу.

Агломераційна конвеєрна машини за [8] додатково забезпечена камерою для подавання підігрітого повітря в шар завантаженої на колосникові грати шихти, яка установлена над відкритою частиною першої вакуум-камери; вентилятором атмосферного повітря та повітропроводом, причому останні вакуум-камери зони спікання шихти виконуються з подвійними стінками, що утворюють герметичні ємності, які за допомогою повітропроводу з'єднані між собою, вентилятором атмосферного повітря та камерою для подавання підігрітого повітря в шар завантаженої на колосникові грати шихти. Камера для подавання підігрітого повітря в шар завантаженої на колосникові грати шихти виконана у вигляді чотиригранної зрізаної піраміди із відкритими верхньою та нижньою основами, причому верхня відкрита основа чотиригранної зрізаної піраміди з'єднана повітропроводом із герметичними ємностями останніх вакуум-камер зони спікання шихти, нижня відкрита основа, ширина якої не перевищує ширини колосникових грат візків, а довжина дорівнює ширині відкритої частини першої вакуум-камери, розміщена над шаром завантаженої на колосникові грати шихти на відстані 0,05-0,2 від висоти шару шихти. Необхідно відзначити, що кількості тепла, яку має газоповітряна суміш останньої вакуум-камери, не достатньо для підігрівання всієї маси шихти, завантаженої на колосникові грати візків, що знаходяться над першою та другою вакуум-камерами. Із-за розсіювання в атмосферу значної кількості технологічного тепла, яке створюється в процесі спікання шихти, конструкція агломераційної конвеєрної машини має низький коефіцієнт корисної дії. Виконання останніх вакуум-камер, що знаходяться в зоні спікання шихти, з подвійними стінками, ускладнюють їх конструкцію і вимагають використання дорогих кислотостійких сталей.

Згідно з [6] в Німеччині використовується дві схеми утилізації тепла технологічних газів і повітря від охолоджувачів для агломераційних машин площею спікання 400 м<sup>2</sup>. За першою схемою відсмоктаний через вакуум-камери газ частково поступає в запалювальний горн, частково використовується для додаткового підігрівання, а частково – подається без додаткового підігрівання. При цьому 57,8% площі агломераційної машини закрито зонтами, 7,5% яких передбачено для запалювання, а 15% - для додаткового підігрівання з нагріванням газу до 1200° С. Об'єми газів, що викидаються в атмосферу знижується на 61%, економія твердого палива складає 25,2%, загальні витрати тепла знижуються на 10,2·10<sup>7</sup> кДж/год. порівняно із звичайним запаленням. Питанням утилізації тепла технологічних газів і повітря від охолоджувачів в запалювальному горні присвячена робота [9]. При подачі в пальники горна нагрітого при охолодженні агломерату повітря економія газоподібного палива еквівалентна кількості надійшов фізичного тепла. Збільшення концентрації кисню в продуктах згорання, особливо на низькокалорійному газі, супроводжується зростанням вертикальної швидкості спікання і продуктивності агломераційної машини. Подача нагрітого повітря в шар за гірському призводить до збільшення часу перебування матеріалу при високих температурах і, як наслідок, до зниження витрати твердого палива в шихту і поліпшенню якості агломерату. На аглофабриках Карагандинського металургійного комбінату економія газоподібного і твердого палива склала 5,4 - 6,5 кг/т агломерату, продуктивність агломераційної машин збільшилася на 1,6 - 2,7%. Рециркуляція відпрацьованих газів агломераційної машини дозволяє скоротити викиди в атмосферу технологічного газу і пилу на 26 - 28%. За рахунок використання фізичного тепла рециркуляції, допалення оксиду вуглецю в шарі і збільшення ефективної теплоти згорання твердого палива (зменшення недопалення) слід очікувати зниження витрати палива в шихту на 3,6 - 3,8 кг/т агломерату та масової частки дріб'язку в агломераті на 2,0 - 2,5% (абс.) [10].

На заводі в Оіті (Японія) використовується тепло агломераційних газів, що відходять від розвантажувального кінця агломераційної машини. Ці гази з температурою 300-400° С після грубої очистки направляють в спеціальний котел-утилізатор. Продуктивність котла до 27 т/год., тиск пари 1 МПа, температура підігріву 213° С. В результаті впровадження установки ВЕР економиться 88 Дж енергії на 1 т агломерату [5]. На деяких закордонних агломераційних фабриках 20-30% від загального газу, що перекачується ексгаустером, повторно подається в шар шихти на колосникових гратах. В результаті повторного використання хімічного та фізичного тепла агломераційного газу пропорційно ступеню рециркуляції знижуються викиди шкідливих речовин – монооксиду вуглецю та оксидів азоту, знижуються витрати палива. Використання рециркуляції тепла знижуються теплові потреби процесу спікання на 69 Дж на тону аг-

ломерату [11]. Компанія Siemens VAI розробляє та впроваджує інноваційні технології, які дозволяють знизити об'єми викидів агломераційного виробництва до мінімально можливого рівня [12]. Центральну роль в цьому контексті грає система селективної рециркуляції відпрацьованих газів – гази уловлюються в чітко визначених зонах агломераційної машини, змішуються із газами, які перекачуються димососом через шар агломерату при його охолодженні, і повертаються на агломераційну машину. Це дозволяє суттєво підвищити продуктивність технологічного обладнання агломераційних фабрик і знизити питомі значення показників викидів в атмосферу.

В роботі [5] визначена максимальна кількість агломераційного газу, яке може бути використане для рециркуляції. Ця величина визначається із той умови, що агломераційний газ, який викидається в атмосферу, повинен містити ту кількість водяної пари, яка дорівнює кількості води в шихті. При меншій кількості парів води в газі, що викидається, буде відбуватися безперервне накопичення пари в повітрі, яке засмоктується ексгаустером, і агломераційний процес стане неможливим. Розрахунки показали, що для типових умов агломерації максимальна кількість рециркуляційного газу дорівнює 35% від загального об'єму повітря, яке засмоктується ексгаустером.

**Постановка задачі.** Метою даної роботи є аналіз проблеми енергозбереження в гірничо-металургійному промисловому комплексі і розробка конструктивних рішень, які забезпечують використання технологічного тепла, яке створюється в технологічному обладнанні, для підвищення його техніко-економічних характеристик. Рішення проблеми показано на прикладі агломераційних машин фабрик грудкування гірничо-збагачувальних комбінатів.

**Викладення матеріалу та результати.** Для розуміння джерел енергетичних втрат на фабриках грудкування гірничо-збагачувальних комбінатів, а також для розробки обґрунтованих заходів з їх скорочення розглянемо основи технологічного процесу отримання агломерату [13]. Агломераційна руда, дрібний кокс, вапняк зважується на конвеєрних стрічках, і завантажується в барабанний змішувач з додаванням води. Тут досягається повне перемішування суміші та формування мікрогранул, які покращують газову проникність шихти. На колосникові грати укладають шар агломерату розміром 30-50 мм, який виділяється з готового агломерату («постіль»), який захищає грати від високої температури і зменшує втрати сировини. Шихта шаром 400-600 мм завантажується на «постіль», а під колосниковими гратами створюється розрядження близько 70-100 кПа. За допомогою пальників, розміщених у горні агломераційної машини, підпалюють дрібний кокс, що знаходиться в шихті. Через шар шихти ексгаустером через вакуум-камери, які розташовані під на колосниковими гратами, просмоктується повітря. Це забезпечує горіння палива шихти та відсмоктування газів, які створюються при спіканні. Горіння, розпочавшись у верхньому шарі шихти, поступово поширюється на всю товщину шару і закінчується у колосникових грат. Кількість газів, що відходять становить 333-1600 тис. м<sup>3</sup>/год., залежно від розмірів фабрики і умов роботи. Зазвичай на тонну агломерату доводиться від 1500 до 2500 м<sup>3</sup>/т відпрацьованих газів. Агломераційні машини з площею всмоктування більше 250 м<sup>2</sup> і / або гратами шириною більше 3 м мають дві системи перекачування відпрацьованих газів з окремими ексгаустерами і пиловловлюючими пристроями для виділення викидів. При згорянні палива температура досягає 1300 - 1480 °С; цього достатньо для часткового сплаву шматочків шихти і спікання їх між собою. Після закінчення процесу горіння весь шар шихти являє собою пористий, ніздрюватий кусковий продукт.

Теплові потреби процесу спікання забезпечуються на 94% за рахунок спалення твердого палива, а 6% - за рахунок спалення газу. Прибуткова частина теплового балансу процесів агломерації включає тепло горнових газів при запаленні і додатковому нагріванні (6,2% від загального значення прибуткової частини теплового балансу), тепло від згорання палива (80,9%) і сірки шихти (1,4%), окислення двовалентного заліза в тривалентне, процесів шлакоутворення (11,5%) [7]. Такого ж порядку значення теплового балансу процесів агломерації наводить автор роботи [6]. Витратна частина теплового балансу процесів агломерації враховує тепло шару агломерату (16,8% від загального значення витратної частини теплового балансу) або матеріалів, що повертаються в процес (3,8%), газів, що видаляються через вакуум-камери (46,7%), і пари (18,2%), прямого відновлення оксидів заліза. Крім того, витратна частина теплового балансу враховує втрати тепла агломераційною установкою і поверхнею шару агломерату в докільці [7]. За джерелом [6] 46% сумарної кількості тепла витрачається на забезпечення ендотермічних

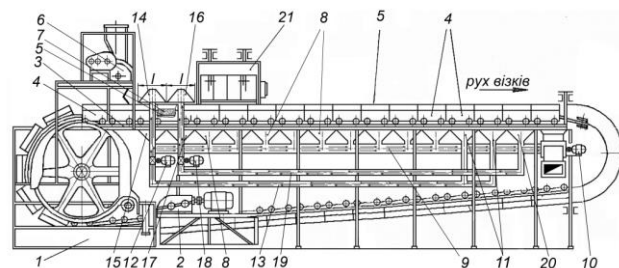
реакцій агломераційного процесу і охолодження агломерату. Залишкові 54% можуть бути утилізованими у вигляді тепла технологічних газів та повітря охолодження.

Потенційно для рекуперації тепла можливо використовувати два джерела агломераційного виробництва: 1) тепло газів які засмоктуються експаустером через вакуум-камери при спіканні шихти; 2) тепло газів, які перекачуються димососом через шар агломерату при його охолодженні. При нормальних умовах експлуатації тепло, одержане при рекуперації, може бути використане для підігрівання повітря, яке використовується в горні для запалення шихти, підігрівання шихти в системі рециркуляції відпрацьованих газів, в котлі-утилізаторі для нагрівання води для центрального опалення. Для вирішення проблеми енергозбереження в гірничо-металургійному промисловому комплексі і підвищення техніко-економічних характеристик технологічного обладнання агломераційних фабрик гірничо-збагачувальних комбінатів шляхом використання технологічного тепла, яке створюється в технологічному обладнанні цікавим є рекуперація газів, що відходять від вакуум-камер і пари, що разом складають 64,9% від загального значення витратної частини теплового балансу або 1050...1730 кДж/кг (250...412 ккал/кг).

З метою підвищення техніко-економічних характеристик агломераційної конвеєрної машини авторами пропонується система рекуперації технологічного тепла, яке створюється в процесі спікання, шляхом підігрівання шихти до 300-350° С до її запалювання пальниками горну (рис. 1). Агломераційна конвеєрна машина порівняно з [14] додатково забезпечена другою камерою 16 для подавання відхідних газів в шар завантаженої на колосникові грати 5 шихти 7. Камера 16 має конструкцію, однакову з першою камерою 14 і розміщена над відкритою частиною другої вакуум-камери 17 на відстані 0,05-0,2 висоти шару шихти 7. Камера 16 виконана у вигляді чотиригранної зрізаної піраміди із відкритими верхньою та нижньою основами. Ширина нижньої відкритої основи камери 14 не перевищує ширини колосникових ґрат 5 візків 4, а довжина  $l$  дорівнює ширині відкритої частини першої вакуум-камери 15. Відкрита верхня основа вакуум-камери 17 забезпечена вентилятором 18 та з'єднана газопроводом 19 з вакуум-камерою 20, відхідні гази якої мають максимальну температуру. Розміри площі нижньої основи додаткової камери 16 для подавання підігрітого повітря в шар шихти 7, такі ж як і камери 14 і обмежені конструктивними можливостями агломераційної конвеєрної машини. Запалювальний горн 21 зміщено по відношенню до першої вакуум-камери 15 в напрямку розвантажувальної частини машини. Відстань нижньої основи камер 15 та 17 від поверхні завантаженої на колосникові ґрати 5 шихти 7 вибрана за умови виконання вимог до виключення несприятливих підсосів атмосферного повітря в камери 15 та 17. Для різних типів агломераційних конвеєрних машин і для різної вихідної сировини висота шару шихти 7 на колосникових ґратах 5 складає 200-450 мм, а отже відстань нижньої основи камер 15 та 17 від шару завантаженої на колосникові ґрати 5 шихти 7 складає  $(200...450 \text{ мм}) \times (0,05...0,15) = 10...67,5 \text{ мм}$  [15].

**Рис. 1.** Схема рекуперації технологічного тепла агломераційної конвеєрної машини

**Висновок та напрямок подальших досліджень.** Проведений аналіз проблеми енергозбереження в гірничо-металургійному промисловому комплексі в т.ч. на агломераційних фабриках показав, що потенційно для рекуперації тепла можливо використовувати два джерела агломераційного виробництва: 1) тепло газів, які засмоктуються експаустером через вакуум-камери при спіканні шихти; 2) тепло газів, які перекачуються димососом через шар агломерату при його охолодженні. При нормальних умовах експлуатації тепло, одержане при рекуперації, може бути використане для підвищення техніко-економічних характеристик технологічного обладнання гірничо-збагачувальних комбінатів шляхом рекуперації газів і пари вакуум-камер, що разом складає 64,9% від загального значення витратної частини теплового балансу або 1050-1730 кДж/кг (250-412 ккал/кг). В результаті використання технологічного тепла, одержаного в процесі рекуперації відхідних газів, забезпечується зростання продуктивності агломераційної конвеєрної машини. При підігріванні шихти до температури 300-350° С до її запалювання спостерігається інтенсифікація



процесу спікання та зростання коефіцієнта корисної дії. Крім того, при цьому досягається значна економія газу за рахунок використання технологічного тепла, одержаного в процесі рекуперації тепла відхідних газів.

### Список літератури

1. Астахов А.Г. Справочник агломератчика / А.Г. Астахов, А.И. Мачковский и др. – Київ: Техніка, 1964. – 448 с.
2. Вегман В.Ф. Окискование руд и концентратов / В.Ф. Вегман. – М.: Metallurgiya, 1976. - 223 с.
3. Губанов В.И. Справочник рабочего агломератчика / В.И. Губанов, А.М. Цейтлин. – Челябинск: Metallurgiya, 1987. - 207 с.
4. Мартыненко В.А. Агломерация / В.А. Мартыненко. – М.: Metallurgiya, 1977. - 60 с.
5. Лисенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование. - В 3-х книгах. Книга 2 / В.Г. Лисенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев / Под ред. В.Г. Лисенко. – М.: Теплотехник, 2004. – 832 с.
6. Савицкая Л.И. Развитие агломерационного производства в странах западной Европы / Л.И. Савицкая. – Черная металлургия. Серия «Подготовка сырых материалов к металлургическому переделу». Обзорная информация. Выпуск 2. – М.: ЦНИ Черметинформации, 1982. – 24 с.
7. Рязанцев А.П. Нагрев агломерационной шихты / А.П. Рязанцев. – М.: Metallurgiya, 1968. - 167 с.
8. Патент №93303 Україна. МПК F27B 21/00 Агломератійна конвеєрна машина / Рудь Ю.С., Кучер В.Г.; Власник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – у 2014 04257; заяв. 22.04.2014; опубл. 25.09.2014. - Бюл. № 18.
9. Ishikawa Y. Latest development of sintering technology / Y. Ishikawa, K. Sugawara, Y. Umez. - In Agglomeration-77, v. 2, p. 503-520.
10. Герасимов Л. К.. Основные теплотехнические направления совершенствования работы агломашин / Л. К. Герасимов, Ю.А. Фролов, Б.С. Расин. - Сталь. - 1990. - № 3. - С. 21 – 23.
11. Ветошкин А.Г. Техника и технология обращения с отходами жизнедеятельности. - Часть 2 Переработка и утилизация промышленных отходов / А.Г. Ветошкин. – Москва-Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 380 с.
12. URL: <http://masters.donntu.org> (дата звернення: 11.11.2019).
13. URL: <http://metalspace.ru/production-science/ecology/813-analiticheskij-obzor-tekhnologii-bref.html> (дата звернення: 11.11.2019).
14. Патент №93303 Україна. МПК F27B 21/00 Агломератійна конвеєрна машина / Рудь Ю.С., Кучер В.Г.; Власник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – у 2014 04257; заяв. 22.04.2014; опубл. 25.09.2014. - Бюл. № 18.
15. Крижевский А.З. Влияние предварительного подогрева шихты на производительность агломерационной установки / А.З. Крижевский, Е.Я. Стольберг, В.Г. Кучер // Автоматизация агломерационного и доменного производства. – К.: Техніка, 1969. – с.с. 68-70.

Рукопис подано до редакції 15.11.2019

УДК 681.5:621.311.1

О.О. ГРАММ, асистент, О.І. САВИЦЬКИЙ, канд. техн. наук., доцент  
Криворізький національний університет

## АВТОМАТИЗОВАНЕ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПОТОКАМИ ГІРНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА З НЕЧІТКИМ ПРОГНОЗУВАННЯМ РІВНЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

**Мета.** Метою даної роботи є моделювання і порівняння нейро-нечітких систем прогнозування рівня споживання електричної енергії для визначення залежності між кількістю вхідних змінних нейро-нечіткої системи і точністю прогнозування та виявлення оптимальних параметрів системи прогнозування, які забезпечать зниження середньої процентної похибки прогнозування, що дозволить здійснити подальшу оптимізацію системи прогнозування шляхом зміни вагових коефіцієнтів нечітких правил для підвищення якості автоматизованого керування енергетичними потоками гірничого підприємства.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставленої задачі у роботі використовуються методи теорії систем автоматичного керування виробництвом, методи оптимізації систем автоматичного керування і методи нечіткої логіки.

**Наукова новизна.** У роботі удосконалено нейро-нечітку систему прогнозування рівня споживання електричної енергії шляхом визначення оптимальної кількості вхідних змінних системи та оптимізації нечітких правил механізму нечіткого вводу-виводу, що дозволило зменшити значення середньої процентної похибки прогнозування на 1,06% у порівнянні з відомими системами.

**Практична значимість.** Практичне значення роботи полягає у розробці нейро-нечіткої системи прогнозування рівня споживання електричної енергії, що при використанні його в умовах впровадження єдиного енергетичного