

**О.С. Воденнікова**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц., доц., e-mail: oksana\_vodennikova@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-0496-5435>

**С.А. Воденніков**<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф., проф., e-mail: s\_vodennikov@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5563-5244>

**Я.В. Бондаренко**<sup>1</sup>, здобувач, e-mail: yaha119988@gmail.com

<sup>1</sup>Запорізький національний університет (Запоріжжя, Україна)

<sup>2</sup>Національний університет «Запорізька політехніка» (Запоріжжя, Україна)

## Модернізація агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»: організаційні, технологічні, екологічні та техніко-економічні аспекти

Запропоновано короткостроковий промисловий проєкт модернізації агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» (Україна, м. Кам'янське). Реалізація проєкту здійснюється в трьох напрямках — удосконалення технології спікання агломерату, капітальний ремонт агломераційної машини № 7 та удосконалення процесу газоочищення технологічних газів та аспірації основних вузлів пиловидалення. Виконання проєкту передбачає наступні етапи: інжинірингові роботи; постачання устаткування та виготовлення технологічних металоконструкцій; будівельно-монтажні роботи та введення модернізованої агломераційної машини в експлуатацію. Для капітального ремонту агломераційної машини № 7 пропонується виконати: ремонт поздовжніх та поперечних ущільнень агломераційної машини; ремонт газового колектора, вакуум-камер, пилових мішків, компенсаторів в зоні спікання, вакуум-камер в зоні охолодження; відновлення термічної ізоляції на газовому колекторі, вакуум-камерах, пилових мішках. Для очищення технологічних газів на агломераційній фабриці ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» пропонується: заміна ексгаустера; установка нового газоочищення; удосконалення аспіраційних систем; демонтаж барабанів гасіння і охолодження повернення. Показано можливість шляхом удосконалення процесу газоочищення технологічних газів та аспірації основних вузлів пиловидалення досягти вмісту пилу на викиді в атмосферу не більше 30 мг/м<sup>3</sup>, вмісту СО — до 6500 мг/м<sup>3</sup>, вмісту SO<sub>x</sub> — не більше 500 мг/м<sup>3</sup> та знизити загальну запиленість на агломераційній фабриці на 20 %. Наведено техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». Встановлено, що впровадження технології спікання агломерату за рахунок використання енергозберігаючих заходів призведе до зниження на 1,08 % собівартості 1 тонни агломерату, що в свою чергу вплине на зниження собівартості 1 тонни чавуну.

**Ключові слова:** модернізація виробництва, екологічна модернізація, агломераційне виробництво, агломераційна машина, проєкт, реалізація проєкту.

**Вступ.** На сьогодні розвитку металургійної галузі перешкоджають наступні чинники: залежність від військово-політичних рішень; істотна технологічна відсталість; слабкий розвиток інфраструктури інноваційної діяльності; відсутність фундаментальних досліджень у створенні і функціонуванні інноваційних структур. Подальше ефективне функціонування підприємств металургійної галузі в умовах глобальної конкуренції вимагає тотального впровадження інноваційних проєктів реконструкції та модернізації металургійного виробництва [1]. Безпосередньо підвищення якості продукції та зниження її собівартості є одним із найважливіших питань, які стоять перед металургійною галуззю України [2].

Серед основних завдань модернізації металургійного виробництва є зменшення його ресур-

со- та енергоємності, скорочення викидів шкідливих речовин, покращення умов праці (підвищення соціальної захищеності робітників і зниження рівня виробничого травматизму), переорієнтація на індивідуальні потреби й вимоги споживачів для зайняття нових ринкових ніш і закріплення на традиційних позиціях. Досягненню результатів сприятиме як технічне переозброєння виробництва у рамках вже існуючих технологій, так і їх поєднання з найсучаснішими «розумними» технологіями (смарт-виробництво, смарт-пристрої, адитивне виробництво, роботизація, інтелектуальне моделювання, цифровізація продукції та послуг, створення єдиного інформаційного управлінського середовища та інші) [3]. Застосування старт-технологій забезпечить майбутній поступальний розвиток металургійної

промисловості за рахунок підвищення її гнучкості та адаптивності до динамічних змін зовнішнього та внутрішнього середовища і дозволить повніше використовувати ефект синергії від впровадження «розумних» рішень у взаємопов'язаних і суміжних галузях [4].

Відомо, що екологічна модернізація промисловості — сучасний економічний тренд у провідних країнах світу. В Україні шлях до екологічної модернізації виробництва лише починається, але поступово охоплює і металургійну галузь [5]. Екологічна модернізація направлена на модернізацію виробництва для зменшення викидів, економії ресурсів та підвищення енергоефективності [6]. Технологічні стратегії захисту навколишнього середовища від забруднень передбачають розроблення безвідхідних і маловідхідних методів комплексного використання сировини, а також утилізацію відходів виробництва, організацію технологічних промислових комплексів із замкнутою системою матеріального балансу речовин [7].

**Постановка задачі.** На сьогодні модернізація агломераційного виробництва на провідних металургійних підприємствах України згідно з роботами [8—15] спрямована на: капітальний ремонт «застарілих» агломераційних машин, застосування енергозберігаючих технологій спікання агломерату, модернізацію та будівництво нових аспіраційних систем в агломераційних цехах, модернізацію газоочисних систем та інших. Саме тому у роботі пропонуються заходи з модернізації агломераційної фабрики № 2 ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», що зосереджені в трьох напрямках — удосконалення технології спікання агломерату, проведення капітального ремонту агломераційної машини № 7 та удосконалення процесу газоочищення технологічних газів й аспірації основних вузлів пиловидалення.

**Мета роботи.** Метою роботи є оцінити вплив модернізації агломераційної фабрики № 2 ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» на підвищення продуктивності агломераційного цеху, зниження собівартості агломерату та в подальшому й чавуну, зниження впливу шкідливих речовин на навколишнє середовище та поліпшення умов праці на робочих місцях.

**Об'єкт та методика дослідження.** *Об'єктом дослідження* є технологія спікання агломерату; процес капітального ремонту агломераційної машини; процес газоочищення технологічних газів й аспірації основних вузлів пиловидалення. *Предметом дослідження* є закономірності процесу організації та реалізації заходів з модернізації агломераційної фабрики; технологічні показники роботи агломераційної машини; економічне обґрунтування модернізації агломераційної фабрики. *Методологічною основою роботи* є сукупність методів наукового пізнання, системне і комплексне використання яких дозволило обґрунтувати теоретико-методологічні засади та розробити науково-практичні рекомендації щодо заходів з модернізації металургійного виробництва, зокрема агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». Теоретичні дослідження побудовані на фундаментальних положеннях теорії та технології

аглодоменного виробництва. У роботі застосовувалися загальні (емпіричні, комплексні та теоретичні) та спеціальні (графічні та кореляційні) методи наукових пізнань. Використовуються стандартні методи статистичного дослідження — систематизація, обробка, підсумовування даних, подання отриманих результатів у формі таблиць та інші.

**Результати дослідження.** На сьогодні ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» (раніше ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат») є металургійним підприємством повного циклу та спеціалізується на виробництві безперервнолитої заготовки, фасонного і сортового прокату, в тому числі арматури, катанки, шарів та профілів, а також є єдиним у світі виробником катаної осьової заготовки. З метою розробки заходів щодо підвищення рентабельності виробництва та конкурентоспроможності на світовому ринку ТОВ «ТС АІК-ЕКО» було проведено технічний аудит агломераційної фабрики № 2. Аналіз результатів проведення технічного аудиту підприємства показав, що:

1. Відсутність обладнання з первинного змішування та гранулювання шихти призводить до зниження ступеня змішування та окомкування, і як наслідок, до погіршення якості шихти та втрати продуктивності агломераційних машин.

2. Вимушене використання частини площі охолодження на спікання призвело до незадовільної роботи зони охолодження та підвищення температури спеку перед сортуванням до 700 °С, що викликало заміну віброгукотів на стаціонарні ґрати. Сортування агломерату на стаціонарних решітках, через розмір щілин, що перевищують 5 мм, призводить до потрапляння у повернення придатного агломерату, знижуючи тим самим його вихід, і вимагає додаткової витрати палива на його повторне спікання. Застосування даного обладнання, що також не забезпечує ефективне виділення дрібниці, при цьому фракція менше 5 мм у готовому агломераті перевищує 14 %.

3. Реалізація проєкту з будівництва кільцевого охолоджувача та ділянок дроблення та сортування агломерату, без реконструкції існуючого агломераційного виробництва з метою підвищення якості агломерату та продуктивності виробництва, призведе до значної втрати виробництва, у зв'язку з підвищенням у разі виходом відсіву, а також до додаткових витрат твердого палива на його повторне спікання. Підвищення кількості повернення у шихті більше 30 % не дасть приросту виробництва, у зв'язку з цим загальні втрати не будуть компенсовані.

4. Щодо газоочищення технологічних газів агломераційних машин, існуюче обладнання не забезпечує виконання чинних норм щодо викидів та призводить до забруднення атмосферного повітря, зниження виробництва на час аварійних простоїв машин, а також додаткових фінансових витрат на ремонт п'яти роторів ексгаустерів на місяць.

Ґрунтуючись на наведених вище результатах технічного аудиту, у роботі пропонується розглянути короткостроковий промисловий проєкт з модернізації агломераційної фабрики № 2 ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», яка передбачає наступні етапи:

- перший етап — інжинірингові роботи;
- другий етап — постачання устаткування та виготовлення технологічних металоконструкцій;
- третій етап — будівельно-монтажні роботи та введення після капітального ремонту агрегаційної машини № 7.

Інжинірингові роботи включають в себе: складення технічних завдань, проєктних пропозицій, техніко-економічне обстеження, виконання інженерно-розвідувальних робіт з будівництва об'єктів, розроблення технічної документації, проєктування та конструкторське опрацювання об'єктів техніки й технології та інше.

Роботи з реконструкції та будівництво нових об'єктів здійснюється з урахуванням сформованої забудови промислового майданчика ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». Серед особливостей умов будівництва слід зазначити, що район будівництва підтоплюється, будівництво здійснюється в умовах діючого виробництва, рельєф території рівний, сейсмічність до 5 балів (що відповідає нормам ДБН В.1.1-12:2014).

Передбачається, що для прискорення виконання робіт зазначені етапи будуть частково перетинатися, а безпосередньо будівельно-монтажні роботи після зупинки агрегаційної машини будуть виконуватися одночасно на усіх ділянках у три зміни. Оплата праці всіх задіяних у проєкті виконавців (робітників) здійснюється згідно з Законом України «Про оплату праці» [16]. Розмір заробітної плати залежить від складності та умов роботи, що виконується, професійно-ділових якостей працівника, результатів його праці та господарської діяльності підприємства [16].

Кордонами проєктування модернізації агрегаційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» є:

1. З підготовки сировини — точки вивантаження шихти з бункерів на вагові дозатори; установка пневмокамерного насоса в корпусі шихтових бункерів; система подачі в корпус агрегації твердого палива на піддозування в шихту.

2. За готовим агрегатом — точка вивантаження агрегату з електровібраційного гуркоти.

3. За системою очищення технологічних газів:  
— на вході — фланець компенсатора газового колектора;

— на виході — вихідний фланець засувки, встановлений після екстаустера.

Очікується, що строк реалізації проєкту модернізації агрегаційної машини № 7 буде складати п'ятнадцять місяців (табл. 1).

При реалізації проєкту модернізації агрегаційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» пропонується використовувати технологічне обладнання, вантажопідйомне обладнання, газоочисне обладнання, обладнання аспірацій, електротехнічне обладнання, обладнання компресорне, вентиляційне обладнання приміщення перетворювача частоти екстаустера, обладнання системи автоматики. Розташування обладнання, що знову встановлюється (за винятком вентиляторів-нагнітачів), передбачається в місцях розташування існуючого або демонтованого

обладнання. Так, змішувач інтенсивного змішування розташовується на місці демонтованого змішувача; вагові дозатори — на місці існуючих дозаторів; бункер — на місці існуючих бункерів; рукавні фільтри — на місці існуючих батарейних циклонів. Ваги устаткування, що знову встановлюється, приблизно відповідають вагам існуючого або демонтованого обладнання, що дозволяє зробити висновок про можливість розміщення обладнання, що знову встановлюється, без значних витрат на посилення несучих конструкцій спікального відділення агрегації № 2.

З метою розміщення вентиляторів-нагрівачів передбачається демонтувати збірні залізобетонні плити та виконати монолітне перекриття по металевих балках з використанням профільованого листа як незнімного опалубку. Для встановлення гуркоти передбачається виконати перекриття по металевих балках та посилення залізобетонних колон.

Основні технічні рішення модернізації агрегаційної фабрики розробляються відповідно до вимог наступних нормативних документів: ДБН А.3.1-5:2016, ДБН В.2.6-198:2014, ДБН В.2.1-10:2018, ДБН В.2.6-98:2009, ДБН В.1.2-2:2006, ДСТУ Б В.2.7-176:2008, ДСТУ 3760:2019, ДСТУ 8855:2019, ДСТУ Б В.2.6-193:2013, ДСТУ-Н Б А.3.1-27:2014, ДСТУ prEN 12937-2002, ДБН А.3.2-2-2009, ДСТУ 7095:2009, ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, ДСТУ Б В.1.1-36:2016, ДБН В.2.5-28:2018, ДСН 3.3.6.037-99, ДСН 239-96, ДСанПіи 3.3.6.096-2002, ПУЕ:2017, НАПБ А.01.001-2014, ДСТУ 2456-94, ДСТУ Б А.3.2-13:2011, ДБН В.1.1-7:2016, ДСТУ Б А.2.4-16:2008, ДСТУ Б А.2.4-1:2009 та інші.

Одним з напрямів модернізації агрегаційної фабрики № 2 ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» є модернізація спікального відділення [17, 18]. Зокрема увага зосереджується на удосконаленні технології спікання агрегату за рахунок використання енергозберігаючих заходів, що дозволить підвищити продуктивність агрегаційного цеху з 3,95 млн т/рік агрегату до 5,6 млн т/рік агрегату. Запропонована технологія спікання агрегату припускає використовувати той самий склад компонентів шихти (залізна руда (ПрАТ «Суха балка»), залізорудний концентрат (ПАТ «Північний ГЗК» (66 % Fe) та Лебединський ГЗК (68,5–70,0 % Fe)), оксидний марганцевий концентрат II-го сорту (Нікопольський басейн), окалина ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), вапно та вапняк, доломіт, колошниковий пил (власна продукція підприємства), коксова дрібниця, сухий зворот агрегату агрегаційного цеху (власна продукція), шлам, відсів вапняку, вугілля марки АШ, шлак киснево-конвертерного цеху та інші матеріали), що був за існуючої (поточної) технології на підприємстві, але зменшити його питому витрату на 0,8 %. Проведення капітального ремонту агрегаційної машини № 7 (рис.) шляхом ремонту поздовжніх та поперечних ущільнень агрегаційної машини, ремонту газового колектора, вакуум-камер, пилових мішків, компенсаторів в зоні спікання, вакуум-камер в зоні охолодження, відновлення термічної ізоляції на газовому колекторі, вакуум-камерах, пило-

Основні етапи реалізації проєкту модернізації агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

| № п/п | Найменування типу роботи реалізації проєкту модернізації агломераційної фабрики                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Термін виконання, місяць |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1                        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1     | Технічний аудит агломераційної фабрики № 2: інструментальне обстеження технічного стану будівель і споруд агломераційної фабрики; виявлення та аналіз слабких, потенційно проблемних ділянок обладнання; підбір, складання пропозицій щодо вирішення виявлених проблем; розробка заходів для покращення характеристик обладнання та інше. Надання технічного звіту за підсумками проведення нормативно-технічного аудиту |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 2     | Управління проєктом модернізації агломераційної фабрики: визначення цілі проєкту; виявлення структури проєкту (підділі, основні етапи роботи, що мають бути виконані); визначення необхідних обсягів та джерел фінансування; підбір виконавців (робітників); визначення строків виконання проєкту, складання графіку його реалізації; розрахунок кошторису і бюджету проєкту та інше                                     |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 3     | Укладання договорів (контрактів) на постачання обладнання, монтаж та налагодження елементів конструкцій і машин та інше                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 4     | Узгодження проєкту модернізації агломераційної фабрики в державних органах                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 5     | Робота з проєктною (робочою) документацією                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 6     | Виготовлення технологічних металоконструкцій                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 7     | Постачання технологічних металоконструкцій                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 8     | Виготовлення та постачання основного та додаткового обладнання                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 9     | Укладання договору на послуги з шеф-монтажу та пусконаладження                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 10    | Підготовка території складу обладнання                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 11    | Підготовка майданчика для монтажу вузлів технологічних металоконструкцій                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 12    | Реконструкція агломераційної машини № 7, роботи перед зупинкою агломераційної машини № 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 13    | Демонтаж та монтаж конструкцій та машин                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 14    | Пусконаладження, введення в експлуатацію агломераційної машини № 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |

вих мішках, а також удосконалення технології подачі нагрітого повітря в зону спікання дозволить:

— використовувати тепло від охолодження агломерату;

— підвищити вертикальну швидкість спікання за рахунок подачі гарячого повітря на всьому протязі зони спікання;

— знизити кількість дрібниці, утвореної у верхньому шарі агломерату у зоні спікання;

— зняти напругу в шарі агломерату при повторному пропуску тепла знизу вгору на ділянці охолодження, що також сприятиме зниженню утворення дрібниці в агломераті.

В підсумку можна стверджувати, що модернізація спікального відділення агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» дозволяє знизити витрати електроенергії на агломераційній фабриці, знизити вміст дрібниці в агломераті до 8 %, знизити витрату



Рис.

3D-модель модернізованої агломераційної машини № 7 в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

твердого палива до 20 % та підвищити продуктивність агломераційної машини № 7 до 933,372 тис. т/рік агломерату за рахунок збільшення вертикальної швидкості спікання та підвищення питомого знімання (табл. 2).

Відомо, що при виробництві агломерату утворюється велика кількість запиленних газів. Вихід технологічних газів на 1 т агломерату становить в середньому 2,5 тис. м<sup>3</sup>/год., а кількість газів, що відсмоктуються від однієї агломераційної машини, — від 300 тис. до 2 млн м<sup>3</sup>/год. Технологічні гази містять від 4,0 до 8,0 г/м<sup>3</sup> пилу [19]. Очищення

агломераційних газів викликано як технологічною потребою — необхідністю збільшення терміну служби екстаустерів, який зараз становить від 1,5 до 10 місяців, так і необхідністю зниження викидів в атмосферу. Для контролю екологічної обстановки місць проживання людей поблизу агломераційних фабрик у світі встановлено норму викидів пилу з технологічними газами [20, 21], що закріплено законодавчими актами. Виробники зобов'язані виконувати відповідні закони. Для очищення агломераційних газів використовують батарейні мультициклони і електроциклони, рукавні фільтри, електрофільтри [22].

Таблиця 2

Порівняльні показники виробництва агломерату [17]

| № п/п | Найменування показників роботи агломераційної машини № 7                                      | Поточне виробництво | Після модернізації агломераційної машини № 7 |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------|
| 1     | Продуктивність виробництва агломерату, т/рік                                                  | 83,253              | 117,850*                                     |
| 2     | Крупність агломерату, мм                                                                      | 5—120               | 5—120                                        |
| 3     | Кількість повернення, т/т агломерату                                                          | 0,214               | 0,200                                        |
| 4     | Кількість дрібниці (-5 мм) агломерату при вивантаженні на бункерну естакаду доменного цеху, % | 14,100              | ≤ 8,000                                      |
| 5     | Температура готового агломерату, °C                                                           | ~ 700               | ~ 200                                        |
| 6     | Питома витрата твердого палива, кг/т агломерату                                               | 48,320              | 38,660                                       |
| 7     | Збільшення терміну служби колосників, %                                                       | 0                   | + 10,000                                     |
| 8     | Залишкові викиди пилу технологічного газоочищення (з димової труби), мг/м <sup>3</sup>        | 381,000             | ≤ 30,000                                     |
| 9     | Залишкові викиди СО після технологічного газоочищення (з димової труби), мг/м <sup>3</sup>    | < 6500,000          | < 6500,000                                   |

Примітка: \*При роботі агломераційної машини 24 год./добу в період 330 діб продуктивність машини складає: 117,85·24·330 = 933,372 т/рік агломерату.

Безпосередньо в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» технологічні гази від агломераційної машини № 7 надходять на очистку від пилу в батарейний циклон та екстаустером направляються в борів димаря на викид в атмосферу. Тому в роботі і розглядається питання удосконалення технологічного газоочищення та пиловидалення на агломераційній фабриці № 2 ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

Слід зазначити, що гази, що надходять від однієї агломераційної машини, мають наступні параметри:

1. Обсяг газів фізичний — 6500 м<sup>3</sup>/хв (390000 м<sup>3</sup>/год).

2. Обсяг газів за нормальних умов — 4100 м<sup>3</sup>/хв (246000 м<sup>3</sup>/год).

3. Температура газів: середня — 100 °C, максимальна — 160 °C.

4. Запилення газу на виході з колектора — 0,320—0,395 г/м<sup>3</sup>.

5. Хімічний склад газів, що відходять: 4,495—5,207 г/м<sup>3</sup> CO; 0,525—0,572 г/м<sup>3</sup> SO<sub>2</sub>; 0,068—0,085 г/м<sup>3</sup> NO<sub>x</sub>.

6. Хімічний склад пилу: 55,8 % Fe; 11,6 % FeO; 8,9 % SiO<sub>2</sub>; 10,2 % CaO; 0,12 % MnO; 0,87 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1,23 % MgO та 11,28 % інші домішки.

7. Гранулометричний склад пилу, що виходить із колектора, — менше 10 мм.

Проектоване газоочисне обладнання

розміщуватиметься на місці демонтованого старого газоочисного устаткування. Для очищення технологічних газів агломераційної машини від пилу в якості першого ступеня пропонується паралельно встановити два циклони-іскрогасника, які призначені для уловлювання великих частинок і гасіння іскор. Циклони-іскрогасники будуть встановлені між газовим колектором і рукавним фільтром. Пил, вловлений в циклонах-іскрогасниках, буде надходити на конвеєр просипу агломераційної машини. Потім технологічні гази надходять на очищення від пилу в рукавний фільтр з вертикальним розташуванням рукавів з системою регенерації за допомогою імпульсної продувки стисненим повітрям. Ефективність очищення від пилу в даних апаратах становить не менше 99,9 %, що дозволить досягти в димових газах на викиді в атмосферу вмісту пилу не більше 30 мг/м<sup>3</sup>.

З метою безпечного ведення процесу очищення димових газів передбачено наступні заходи:

— на газоході перед рукавним фільтром встановлений відсічний клапан, який закривається при температурі 250 °C (при температурі газу 230 °C передбачена сигналізація);

— при показаннях датчиків температури підшипників екстаустера вище 80 °C та при підвищеній вібрації 7 мм/м виконується аварійна зупинка екстаустера, при цьому засувка на газоході перед входом у

борів закривається;

— при аварійному досягненні рівня пилу в бункерах рукавного фільтра передбачено сигналізацію;

— передбачено контроль параметрів стисненого повітря.

Газоочисне обладнання та газоходи теплоізолюються для дотримання вимог охорони праці та з метою запобігання конденсації вологи з димових газів.

Для регенерації фільтрувальних рукавів та системи пневмотранспорту необхідне стиснене повітря, класом очищення 6 (згідно з ДСТУ 4169:2003) та тиском 0,4—0,6 МПа. У проєкті передбачена компресорна станція, яка розміщується в окремій будівлі. До складу компресорної станції входять: гвинтовий повітряний компресор, адсорбційний осушувач, олія-вогновідділювачі, ресивер (встановлюється на відкритому майданчику). У трансформаторному приміщенні для видалення теплових виділень передбачаються вентиляційні ґрати: припливні та витяжні. У приміщенні частотного перетворювача передбачається видалення з приміщення теплого повітря, яке утворюється при охолодженні перетворювача частоти, і приплив зовнішнього повітря за допомогою осьового вентилятора. Для опалення приміщення перетворювача частоти передбачається тепловентилятор.

Проєктом передбачається встановлення точкового рукавного фільтра на бункері піддозування палива. У бункер надходить паливо (вугільний пил) системою пневмотранспорту. На виході з фільтра встановлюється зворотний клапан. Регенерація фільтра проводиться стислим азотом.

Таким чином, очищення технологічних газів до європейських норм досягається шляхом:

1. Заміни екстаустера (підвищується розрідження та виникає можливість підвищення висоти шару шихти).

2. Установки нового газоочищення, що призведе до зниження викидів твердих речовин,  $SO_x$  та CO в атмосферу до нормативних показників.

3. Удосконалення аспіраційних систем, що призведе до зниження викидів твердих речовин в атмосферу до нормативних показників та призведе до нормативних умов праці на робочих місцях.

4. Демонтажу барабанів гасіння і охолодження повернення, що призведе до зниження викидів паропилової суміші на території аглодоменого виробництва.

Розглядаючи техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», слід провести розрахунок економічної ефективності від впровадження запропонованих рішень. Враховуючи, що у традиційній технології виробництва агломерату 40 % тепла, отриманого від спалювання твердого палива (вугілля марки АШ (антрацитовий штиб)) в шарі шихти, втрачається при охолодженні агломерату, запропонована у роботі технологія спікання агломерату дозволяє використовувати це тепло, нагріваючи повітря і подаючи його в зону спікання, тим самим економлячи значну кількість твердого палива і охолоджуючи агломерат до температури  $\sim 200^\circ\text{C}$ . Зниження витрати вугілля марки АШ в шихту на 20 % (до 0,03862 т/т чавуну) призведе до зниження грошових витрат на 30,92 грн/т чавуну, що в свою чергу призводить до зниження собівартості агломерату на 93,78 грн/т чавуну (табл. 3).

Відомо, що зменшення кількості дрібниці в агломераті на 1 % призводить до зменшення витрати доменного коксу на 0,55 % та збільшення продуктивності чавуну на 0,55 %. Завдяки впровадженню технології спікання агломерату за рахунок використання енергозберігаючих заходів [17, 18] кількість дрібниці в агломераті зменшиться на 6,1 % і, відповідно, на 3,355 % ( $6,1 \cdot 0,55 = 3,355\%$ ) зменшиться витрата доменного коксу, що в свою чергу призведе до зниження собівартості чавуну на 174,5 грн/т чавуну (табл. 4).

Таким чином, при збільшенні обсягу виробництва чавуну після модернізації агломераційної фабрики на 3,355 % річний прибуток складає 158151,635 тис. грн/рік або 4140,095 тис. \$/рік (див. табл. 4).

#### Висновки

1. Представлено результати технічного аудиту агломераційної фабрики № 2 ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» з метою виявлення резервів підвищення рентабельності виробництва та конкурентоспроможності на світовому ринку.

2. Пропонується проєкт модернізації

Таблиця 3

Витрати та показники собівартості сировини для виплавки 1 тонни чавуну до та після модернізації агломераційної фабрики

| Найменування сировини | Фактичні витрати на 1 т чавуну (поточне виробництво) |              |           | Витрати, що плануються на 1 т чавуну (після модернізації агломераційної фабрики) |              |           | Зниження грошових витрат |        |
|-----------------------|------------------------------------------------------|--------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|--------------------------|--------|
|                       | Кількість, т                                         | Ціна*, грн/т | Сума, грн | Кількість, т                                                                     | Ціна*, грн/т | Сума, грн | грн                      | \$**** |
| Вугілля марки АШ      | 0,04828                                              | 3200,00      | 154,50    | 0,03862                                                                          | 3200,00      | 123,58    | 30,92                    | 0,81   |
| Кокс                  | 0,41620                                              | 12500,00     | 5202,50   | 0,40224**                                                                        | 12500,00     | 5028,00   | 174,50                   | 4,57   |
| Агломерат             | 1,73960                                              | 2865,00      | 4983,95   | 1,73960                                                                          | 2834,08***   | 4890,17   | 93,78                    | 2,46   |

Примітка: \*ціни на вугілля марки АШ, агломерат та кокс бралися згідно з даними [23];

\*\*зменшення на 3,355 % витрати доменного коксу в натуральних одиницях дорівнює:  $0,41620 \cdot 3,355/100 = 0,01396$  т;  $0,41620 - 0,01396 = 0,40224$  т.;

\*\*\*зниження ціни на агломерат відбувається за рахунок зменшення витрати вугілля марки АШ:  $865,00 - 30,92 = 2834,08$  грн/т;

\*\*\*\*курс \$ по відношенню до гривні приймається рівним 1 USD = 38,2 UAN.

Вплив збільшення обсягу виробництва чавуну після модернізації агломераційної фабрики на річний прибуток

| Найменування виробництва | Обсяг виробництва чавуну, т/рік |                                           | Ціна, грн/т | Річний прибуток |              |
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|-------------|-----------------|--------------|
|                          | поточне виробництво             | після модернізації агломераційної фабрики |             | тис. грн/рік    | тис. \$/рік  |
| Виробництво чавуну       | 536522                          | 554533*                                   | 8786**      | 158151,635***   | 4140,095**** |

Примітка: \*обсяг виробництва чавуну після модернізації агломераційної фабрики збільшився на 3,355 %, що в натуральних одиницях дорівнює:  $536522 \cdot 3,355/100 = 18000,41375$  т/рік;  $536522 + 18000,41375 = 554533,41375$  т/рік.

\*\*ціна на чавун товарний бралася згідно з даними [24];

\*\*\*річний прибуток від збільшення обсягу виробництва складає:  $18000,41375 \cdot 8786 = 158151,635$  тис. грн/рік;

\*\*\*\*курс \$ по відношенню до гривні приймається рівним 1 USD = 38,2 UAN.

агломераційної фабрики № 2 ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», що реалізується шляхом удосконалення технології спікання агломерату, проведення капітального ремонту агломераційної машини № 7 та удосконалення процесу газоочищення технологічних газів та аспірації основних вузлів пиловидалення.

3. Виконання проєкту передбачає наступні етапи: інжинірингові роботи (складення технічних завдань, проєктних пропозицій, техніко-економічне обстеження, виконання інженерно-розвідувальних робіт з будівництва об'єктів, розроблення технічної документації, проєктування та конструкторське опрацювання об'єктів техніки й технології та інше); постачання устаткування та виготовлення технологічних металоконструкцій; будівельно-монтажні роботи та введення модернізованої агломераційної машини в експлуатацію.

4. Показано, що модернізація агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» дозволить:

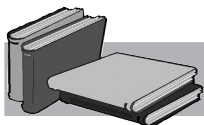
— шляхом впровадження удосконаленої технології спікання агломерату отримати наступні переваги: знизити вміст дрібниці в агломераті з 14,1 % до 8 %; зменшити на 6,5 % кількість повернення; знизити питомі витрати твердого палива на спікання агломерату до 20 %; знизити витрати коксу на 3,355 %; використовувати все гаряче повітря від зони охо-

лодження агломерату для процесу його спікання, тим самим підвищуючи енергоефективність процесу спікання; видавати з агломераційної машини продукт з температурою ~ 200 °С; проводити термічну обробку агломерату (знижуючи його крихкість, підвищуючи пластичність і збільшуючи вихід придатного продукту);

— завдяки капітальному ремонту агломераційної машини № 7 підвищити її продуктивність в 1,34 рази та знизити споживання електроенергії;

— шляхом удосконалення процесу газоочищення технологічних газів та аспірації основних вузлів пиловидалення досягти вмісту пилу на викиді в атмосферу не більше 30 мг/м<sup>3</sup>, вмісту СО — до 6500 мг/м<sup>3</sup>, вмісту SO<sub>x</sub> — не більше 500 мг/м<sup>3</sup> та знизити загальну запиленість на агломераційній фабриці на 20 %.

5. Визначено економічну ефективність модернізації агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»: завдяки впровадженню технології спікання агломерату за рахунок використання енергозберігаючих заходів відбувається зниження на 1,08 % собівартості 1 тонни агломерату, що в свою чергу вплине на зниження собівартості 1 тонни чавуну та при збільшенні на 3,355 % обсягу виробництва чавуну дасть змогу отримати річний прибуток в розмірі 158151,635 тис. грн/рік.

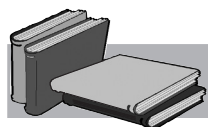


## ЛІТЕРАТУРА

- Гребчук О.М., Пустовий М.Д. Пріоритетні напрями інноваційної діяльності металургійних підприємств. *Економіка і менеджмент* — 2017: перспективи інтеграції та інноваційного розвитку : научно-практична конференція. Секція 10. Стратегічні пріоритети інноваційного розвитку: держава, регіон, галузь, підприємство (Дніпро, 23—24 березня 2017 р.). 2017. URL: [http://www.confcontact.com/2017-ekonomika-i-menedzhment/10\\_grabchuk.htm](http://www.confcontact.com/2017-ekonomika-i-menedzhment/10_grabchuk.htm) (дата звернення: 22.08.2023).
- Томаш М.А., Изотов Б.В., Турбаба А.Е., Абдулін М.З., Дворцин Г.Р., Гребинная М.В. Модернизация горелочного оборудования зажигательных горнов агломерационных машин аглофабрики ЧАО «ММК им. Ильича». *Металл и литейные материалы Украины*. 2017. № 1(284). С. 16—19.
- Економічний огляд металургійної галузі України. URL: <https://rating.zone/ekonomichnyj-ohliad-metallurhijnoi-haluzi-ukrainy/> (дата звернення: 22.08.2023).
- Амоша О.І., Нікіфорова В.А. Розвиток металургійної галузі промисловості: світовий досвід та уроки для України. *Економіка України*. 2019. № 9—10(694—695). С. 3—23.
- Зелена металургія: чому в Україні не працює жоден фінансовий стимул для декарбонізації промисловості. URL: <https://www.epravda.com.ua/projects/ekopromyslovist/2021/04/19/673017/> (дата звернення: 22.08.2023).

6. Екологічна модернізація. URL: [https://metinvestholding.com/ua/upload/sr-2020/assets/pdf/Ukrainian%20download%20centre/5.%D0%97%D0%90%D0%A5%D0%98%D0%A1%D0%A2%20%D0%94%D0%9E%D0%92%D0%9A%D0%86%D0%9B%D0%9B%D0%AF/Metinvest\\_2020\\_SR-Ukr-Web-%D0%95%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B0-%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F.pdf](https://metinvestholding.com/ua/upload/sr-2020/assets/pdf/Ukrainian%20download%20centre/5.%D0%97%D0%90%D0%A5%D0%98%D0%A1%D0%A2%20%D0%94%D0%9E%D0%92%D0%9A%D0%86%D0%9B%D0%9B%D0%AF/Metinvest_2020_SR-Ukr-Web-%D0%95%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B0-%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F.pdf) (дата звернення: 22.08.2023).
7. Степаненко А.В., Омельченко А.А. Теоретичні аспекти екологічної модернізації економічного розвитку. *Науковий журнал «Економіка України»*. 2018. № 1(674). С. 40—53.
8. Підсумки 2021: Дніпровський коксохімічний завод. URL: <https://metinvest.media/ua/page/itogi-2021-dneprovskiy-koksohimicheskij-zavod> (дата звернення: 22.08.2023).
9. Капремонт агломашины на МП ДКХЗ. URL: <https://metinvest.media/ru/page/kapremont-aglomashiny-na-dkhz> (дата звернення: 22.08.2023).
10. «Каметсталь» выполняет капитальный ремонт барабанов агломашины № 8. URL: <https://gmk.center/news/kametstal-vypolnyaet-kapitalnyj-remont-barabanov-aglomashiny-8/> (дата звернення: 22.08.2023).
11. «АрселорМиттал Кривой Рог» завершил реконструкцию агломашины № 4. URL: <https://gmk.center/news/arselormittal-krivoj-rog-zavershil-rekonstrukciju-aglomashiny-4/> (дата звернення: 22.08.2023).
12. «АрселорМиттал Кривий Ріг» проводить гарячі випробування агломашины № 2 після реконструкції. URL: <https://eba.com.ua/arselormittal-kryvyj-rig-provodyt-garyachi-vyprobuvannya-aglomashyny-2-pislya-rekonstruktsiyi/> (дата звернення: 22.08.2023).
13. Метінвест завершив найбільший екологічний проект в історії України. URL: <https://fakty.com.ua/ua/ukraine/20201216-metinvest-zavershyv-najbilshyj-ekologichnyj-proekt-v-istoriyi-ukrayiny/> (дата звернення: 22.08.2023).
14. «Запоріжсталь» інвестує 42 млн грн на рік в екомодернізацію. URL: <https://gmk.center/ua/news/zaporizhstal-investuiye-42-mln-grn-na-rik-v-ekomodernizaciju/> (дата звернення: 22.08.2023).
15. Запорожсталь закончила ремонт агломашины. URL: <https://readmetal.com/?p=253> (дата звернення: 22.08.2023).
16. Закон України «Про оплату праці». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/108/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 22.08.2023).
17. Воденнікова О.С., Воденніков С.А., Бондаренко Я.В. Заходи з модернізації спікального відділення агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». *Метал та лиття України*. 2023. Т. 31. № 1(332). С. 8—18. <https://doi.org/10.15407/steelcast2023.01.008>
18. Воденнікова О.С., Воденніков С.А., Бондаренко Я.В. Аналіз заходів з модернізації спікального відділення агломераційної фабрики ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». *Вісник Криворізького національного університету* : збірник наукових праць. 2022. № 55. С. 49—58. <https://doi.org/10.31721/2306-5451-2022-1-55-49-58>
19. Берштейн Р.С., Станишевский Б.А. Совершенствование технологии спекания агломерата. Днепропетровск: Промінь, 1975. 120 с.
20. Quantification of health effects related to SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and particulated matter exposure: report from the Nordic Expert Meeting / Edited by J. Clench-Aas, NILU and M. Krzyzanowski (Oslo, 15–17 October 1995). Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. 1995. 142 p. <https://nilu.brage.unit.no/nilu-xmlui/handle/11250/2718335?locale-attribute=en> (дата звернення: 22.08.2023).
21. Raquel A Silva, J Jason West, Yuqiang Zhang et al. Global premature mortality due to anthropogenic outdoor air pollution and the contribution of past climate change. *Environmental Research Letters*. 2013. Vol. 8. No. 3. 034005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034005>
22. Кащев М.А., Владі В.О., Руденко М.Р. Підвищення ефективності роботи газоочистного обладнання в агломераційному виробництві. *Метал та лиття України*. 2020. Т. 28. № 1(320). С. 8—15. <https://doi.org/10.15407/steelcast2020.01.008>
23. flagma\*. Объявления. URL: <https://flagma.ua/> (дата звернення: 22.08.2023).
24. uaprom.info. Цены на товарный чугун продолжают падать, ДМЗ еще не вышел на рынок. URL: <https://uaprom.info/news/153012-ceny-tovarnyj-chugun-prodolzhayut-padat-dmz-vyshel-rynok.html> (дата звернення: 22.08.2023).

Надійшла 05.09.2023



## REFERENCES

1. Hrabchuk, O.M., Pustovy, M.D. (2017). Priority areas of innovative activity of metallurgical enterprises. *Economy and management — 2017: prospects of integration and innovative development*: scientific and practical conference. Section 10. Strategic priorities of innovative development: state, region, industry, enterprise (Dnipro, March 23–24, 2017). URL: [http://www.confcontact.com/2017-ekonomika-i-menedzhment/10\\_grabchuk.htm](http://www.confcontact.com/2017-ekonomika-i-menedzhment/10_grabchuk.htm) (last accessed: 22.08.2023) [in Ukrainian].
2. Tomash, M., Izotov, B., Turbaba, A., Abdulin, M., Dvorcyn, G., Grebinna, M. (2017). Modernization of fiery furnace sinter machines of agglfactory PJSC «Ilyich Iron and Steel Works». *Metal and Casting of Ukraine*, 1(284), 16–19 [in Russian].
3. Economic review of the metallurgical industry of Ukraine. URL: <https://rating.zone/ekonomichnyj-ohliad-metallurhijnoi-haluzi-ukrainy/> (last accessed: 22.08.2023) [in Ukrainian].
4. Amosha, O.I., Nikiforova, V.A. (2019). Development of smart steel industry: world experience and lessons for Ukraine. *Economy of Ukraine*, 9–10(694–695), 3–23 [in Ukrainian].

5. Green metallurgy: why no financial incentive for decarbonization of industry works in Ukraine. URL: <https://www.epravda.com.ua/projects/ekopromyslovist/2021/04/19/673017/> (last accessed 22.08.2023) [in Ukrainian].
6. Ecological modernization. URL: [https://metinvestholding.com/ua/upload/sr-2020/assets/pdf/Ukrainian%20download%20centre/5.%D0%97%D0%90%D0%A5%D0%98%D0%A1%D0%A2%20%D0%94%D0%9E%D0%92%D0%9A%D0%86%D0%9B%D0%9B%D0%AF/Metinvest\\_2020\\_SR-Ukr-Web-%D0%95%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B0-%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F.pdf](https://metinvestholding.com/ua/upload/sr-2020/assets/pdf/Ukrainian%20download%20centre/5.%D0%97%D0%90%D0%A5%D0%98%D0%A1%D0%A2%20%D0%94%D0%9E%D0%92%D0%9A%D0%86%D0%9B%D0%9B%D0%AF/Metinvest_2020_SR-Ukr-Web-%D0%95%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B0-%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F.pdf) (last accessed: 22.08.2023) [in Ukrainian].
7. Stepanenko, A.V., Omelchenko, A.A. (2018). Theoretical aspects of ecological modernization of economic development. *Economy of Ukraine*, 1(674), 40-53 [in Ukrainian].
8. Results 2021: Dnipro Coke-chemical Plant. URL: <https://metinvest.media/ua/page/itogi-2021-dneprovskiy-koksohimicheskij-zavod> (last accessed: 22.08.2023) [in Ukrainian].
9. Overhaul of the sintering machine at MP «Dnipro Coke-chemical Plant». URL: <https://metinvest.media/ru/page/kapremont-aglomashiny-na-dkhz> (last accessed: 22.08.2023) [in Russian].
10. «Kametsteel» carries out major repairs of drums of sintering machine No. 8. URL: <https://gmk.center/news/kametstal-vypolnyaet-kapitalnyj-remont-barabanov-aglomashiny-8/> (last accessed: 22.08.2023) [in Russian].
11. «ArcelorMittal Kryvyi Rih» completed the reconstruction of sintering machine No. 4. URL: <https://gmk.center/news/arselormittal-krivoj-rog-zavershil-rekonstrukciju-aglomashiny-4/> (last accessed: 22.08.2023) [in Russian].
12. «ArcelorMittal Kryvyi Rih» conducts hot tests of sinter machine No. 2 after reconstruction. URL: <https://eba.com.ua/arselormittal-kryvyj-rig-provodyt-garyachi-vyprobuvannya-aglomashyny-2-pislya-rekonstruktsiyi/> (last accessed: 22.08.2023) [in Ukrainian].
13. Metinvest completed the largest environmental project in the history of Ukraine. URL: <https://fakty.com.ua/ua/ukraine/20201216-metinvest-zavershyv-najbilshyj-ekologichnyj-proekt-v-istoriyi-ukrayiny/> (last accessed: 22.08.2023) [in Ukrainian].
14. «Zaporizhstal» invests UAH 42 million per year in eco-modernization. URL: <https://gmk.center/ua/news/zaporizhstal-investuiet-42-mln-grn-na-rik-v-ekomodernizaciju/> (last accessed: 22.08.2023) [in Ukrainian].
15. «Zaporozhstal» completed the repair of the sintering machine. URL: <https://readmetal.com/?p=253> (last accessed: 22.08.2023) [in Russian].
16. Law of Ukraine «On wages». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/108/95-%D0%B2%D1%80#Text> (last accessed: 22.08.2023) [in Ukrainian].
17. Vodennikova, O.S., Vodennikov, S.A., Bondarenko, Ya.V. (2023). Measures to modernize the sintering department of the sinter plant of PJSC «KAMET-STEEL». *Metal and Casting of Ukraine*, 31(1(332), 8-18, <https://doi.org/10.15407/steelcast2023.01.008> [in Ukrainian].
18. Vodennikova, O.S., Vodennikov, S.A., Bondarenko, Ya.V. (2022). Analysis of measures for the modernization of the specification department of agglomeration factory PJSC «KAMET-STEEL». *Journal of Kryvyi Rih National University*, 55, 49-58. <https://doi.org/10.31721/2306-5451-2022-1-55-49-58> [in Ukrainian].
19. Bernstein, R.S., Stanyshchysky, B.A. (1975). Improvement of sintering technology. Dnipropetrovsk: Promin, 120 p. [in Russian].
20. Quantification of health effects related to SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and particulated matter exposure: report from the Nordic Expert Meeting (1995) / Edited by J. Clench-Aas, NILU and M. Krzyzanowski (Oslo, 15-17 October 1995). Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 142 p. <https://nilu.brage.unit.no/nilu-xmlui/handle/11250/2718335?locale-attribute=en> (last accessed: 22.08.2023).
21. Raquel A Silva, J Jason West, Yuqiang Zhang et al. (2013). Global premature mortality due to anthropogenic outdoor air pollution and the contribution of past climate change. *Environmental Research Letters*, 8, 3, 034005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034005>
22. Kasheev, M.A., Vladi, V.A., Rudenko, N.R. (2020). Improving the effectiveness of the gas purification equipment in agglomerative production. *Metal and Casting of Ukraine*, 28(1(320), 8-15. <https://doi.org/10.15407/steelcast2020.01.008> [in Ukrainian].
23. flagma\*. Announcements. URL: <https://flagma.ua/> (last accessed: 22.08.2023) [in Russian].
24. uaprom.info. Prices for commercial cast iron continue to fall, Dniprovsky Metallurgical Plant has not yet entered the market. URL: <https://uaprom.info/news/153012-ceny-tovarnyj-chugun-prodolzhayut-padat-dmz-vyshel-rynok.html> (last accessed: 22.08.2023) [in Russian].

Received 05.09.2023

## Summary

**O.S. Vodennikova**<sup>1</sup>, PhD (Engin.), Associate Professor, Associate Professor,  
e-mail: oksana\_vodennikova@ukr.net,  
<https://orcid.org/0000-0003-0496-5435>

**S.A. Vodennikov**<sup>2</sup>, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Professor,  
e-mail: s\_vodennikov@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5563-5244>

**Ya.V. Bondarenko**<sup>1</sup>, student, e-mail: yaha119988@gmail.com

<sup>1</sup>Zaporizhzhia National University (Zaporizhzhia, Ukraine)

<sup>2</sup>National University "Zaporizhzhia Polytechnic" (Zaporizhzhia, Ukraine)

## Modernization of the agglomeration factory of PJSC "KAMET-STEEL": organizational, technological, environmental and technical and economic aspects

A short-term industrial project of modernization of the agglomeration factory of PJSC "KAMET-STEEL" (Ukraine, Kamian-ske) is proposed. The implementation of the project is carried out in three directions — improvement of agglomerate sintering technology, overhaul of agglomeration machine No. 7 and improvement of the gas purification process of process gases and aspiration of the main dust removal units. The implementation of the project involves the following stages: engineering works; supply of equipment and production of technological metal structures; construction and assembly works and putting the modernized agglomeration machine into operation. For the capital repair of agglomeration machine No. 7, it is proposed to carry out: repair of the longitudinal and transverse seals of the agglomeration machine; repair of the gas collector, vacuum chambers, dust bags, compensators in the sintering zone, vacuum chambers in the cooling zone; restoration of thermal insulation on the gas collector, vacuum chambers, dust bags. For the purification of process gases at the sintering plant of PJSC "KAMET-STEEL" it is proposed to: replace the exhaustor; installation of a new gas treatment; improvement of aspiration systems; dismantling of quenching and return cooling drums. An opportunity is shown by improving the process of gas purification of process gases and aspiration of the main dust removal units, to achieve a dust content of no more than 30 mg/m<sup>3</sup>, a CO content — of up to 6500 mg/m<sup>3</sup>, an SO<sub>x</sub> content — of no more than 500 mg/m<sup>3</sup>, and to reduce the overall dustiness at the sintering plant by 20 %. The technical and economic substantiation of the feasibility of modernization of the agglomeration factory of PJSC "KAMET-STEEL" is given. It has been established that the introduction of agglomerate sintering technology due to the use of energy-saving measures will lead to a 1.08 % decrease in the cost of 1 ton of agglomerate, which in turn will affect the decrease in the cost of 1 ton of cast iron.

## Keywords

Production modernization, ecological modernization, agglomeration production, agglomeration machine, project, project implementation.