

Балера М.Д., Гордієнко А.Т., Касай С.О.*Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: balera_mikola@ukr.net)***АНАЛІЗ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ РУСІ
ПО РОЗГІННІЙ ТРУБЦІ СТРУМИННОГО МЛИНА**

Цілю дослідження є проведення аналізу залежності швидкості в розгінній трубці струминного млина від тиску. Методом проведення цього аналізу - створено математичну модель руху двокомпонентної суміші в розгінному вузлі. На основі математичної моделі були побудовані графіки залежності, які наочніше зображують процес зміни аеродинамічних характеристик потоку в розгінній трубці, ніж аналітичні. Як результат отримані рівняння руху двокомпонентної і однокомпонентної суміші, що дозволило порівняти вплив твердої фази на параметри потоку енергоносія.

Ключові слова: струминний протитечійний млин, аеродинамічні характеристики, конфузор, розгінна трубка.

Вступ. Найбільш перспективним методом тонкого і надтонкого помелу, що знайшов промислове застосування, є струминний метод подрібнення.

Принцип дії струминних млинів заснований на використанні енергії стислого газу. Газ при розширенні придбаває високу швидкість, використовувану для розгону часток подрібнюваного матеріалу. Руйнування часток відбувається внаслідок їх лобового зіткнення один з одним або об переполю. Одночасно з руйнуванням відбувається і класифікація подрібнюваного матеріалу.

На наш погляд, одним з найперспективніших типів таких млинів є протитечійні струминні млини. На додаток до вищеперелічених достоїнств вони мають наступні переваги: простота конструкції, відносно невисока витрата енергоносія через малу кількість робітників сопел (два сопла), а так само екологічність таких млинів. Проте при усіх цих позитивних рисах є присутніми і недоліки, які обмежують застосування цих млинів. Це, передусім, відносно висока енергонапруженість процесу подрібнення [1-8], а так само недосконалість конструктивних елементів, які потребують доопрацювань [1-6, 13-14].

Аналіз основних досліджень і публікацій. У створення млинів струминної енергії почалися в п'ятдесятих роках минулого століття. Розробником вітчизняних стру-

минних млинів є радянський учений Акунов В. І. [2, 3,]. У наступному вдосконалення млинів цього типу здійснювалося ученими Шуваловим С. І., Ивановим А. А., Горобцом В. І., Горобцом Л. Ж., а також ученими БелГТАСМ під керівництвом професора Богданова В. С. [7,8].

Роботами учених, особливо роботами Ребиндера П. А. і Акунова В. І., доведено виключно велике значення надтонкого подрібнення часток в справі інтенсифікації і корінної зміни технологічних процесів виробництва в різних галузях промисловості (будматеріалів, хімічної та ін.).

Визначення мети та задачі дослідження. З метою отримання достовірної інформації про робочий процес, що проходить в струминному протитечійному млині, була створена математична модель руху двокомпонентної суміші в розгінному вузлі, що описує закономірності зміни тиску і швидкості при розгоні часток. Знання цих закономірностей дозволяє зв'язати конструктивні і аеродинамічні параметри пропонованої конструкції млина.

Основна частина дослідження. Для детального з'ясування повної картини динаміки двокомпонентної суміші в розгінній трубці нами були побудовані графічні залежності, які наочніше зображують процес зміни аеродинамічних характеристик потоку, ніж аналітичні.

Рівняння збереження масової витрати енергоносія [4-6]:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\vartheta}{dx} &= -\frac{1}{B\vartheta^{-k-1} + \rho_0 \vartheta_0} \left[\lambda \frac{1}{D} \frac{\rho \vartheta^2}{2} + n\psi \frac{F}{2} (9-U)(9-U|_p) \right] \\ \frac{dU}{dx} &= \frac{6}{\pi d^3 \rho_m U} \psi F_m \frac{(9-U)(9-U|_p)}{2} \rho \end{aligned} \right. \quad (1)$$

Швидкість повітря визначаємо з формули витікання газу як з отвору в тонкій стінці:

$$\vartheta_0 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho_0}} \quad (2)$$

де φ – так званий коефіцієнт швидкості рівний $\varphi=0.668$; P_1 – тиск в соплі, Па; P_0 – зовнішній тиск, Па; ρ_0 – щільність газу, кг/м^3 , визначувана із закону розподілу тиску і температури, при протіканні ізотермічного закону ($T=\text{const}$):

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (3)$$

де R – питома газова постійна (для повітря $R=287,14$ Дж/(кг·К)); T – температура за шкалою Кельвіна, до ($T=273+t^\circ\text{C}$).

Графічні залежності, отримані при рішенні виразів (1, 2) представлені на рис. 1–5. Вважалося, що в розгінному вузлі струминного протитечійного млина рухається двофазний потік, де твердою фазою виступають частки, середній розмір яких дорівнює 1 мм, а щільність прийняли рівній щільності щебня.

Після виходу з сопла щільність енергоносія знижується, внаслідок чого відбувається збільшення швидкості повітря і відповідно до його динамічного тиску. Статичний тиск знижується у міру його просування по розгінній трубці в результаті падіння щільності і просування з області більшого тиску в область меншого.

Так при тиску (статичному), що подається в два протилежні сопла, рівним 0,1 МПа спостерігається підвищення швидкості часток матеріалу при русі по розгінній трубці до 65 м/хв., швидкість енергоносія підвищується плавно від 174 до 183 м/хв.

При тиску рівному 0,2 МПа йде збільшення швидкості часток до 90 м/хв. Підвищення швидкості енергоносія відбувається від 200 до 215 м/хв. (рис. 2).

Тиск (статичне) рівний 0,3 МПа дозволяє розігнати частки до 110 м/хв.

Швидкість енергоносія на виходу із розгінної трубки складає 255 м/хв. (рис. 3).

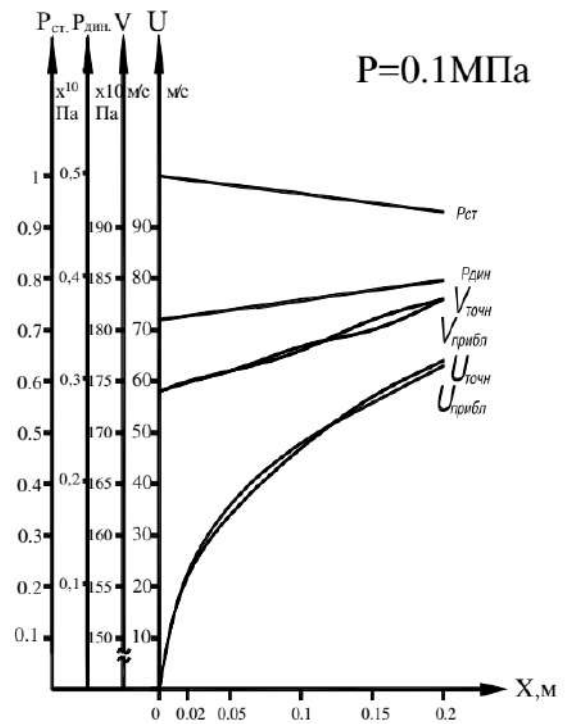


Рис. 1. Графік зміни аеродинамічних характеристик по довжині розгінної трубки при тиску 0,1 МПа

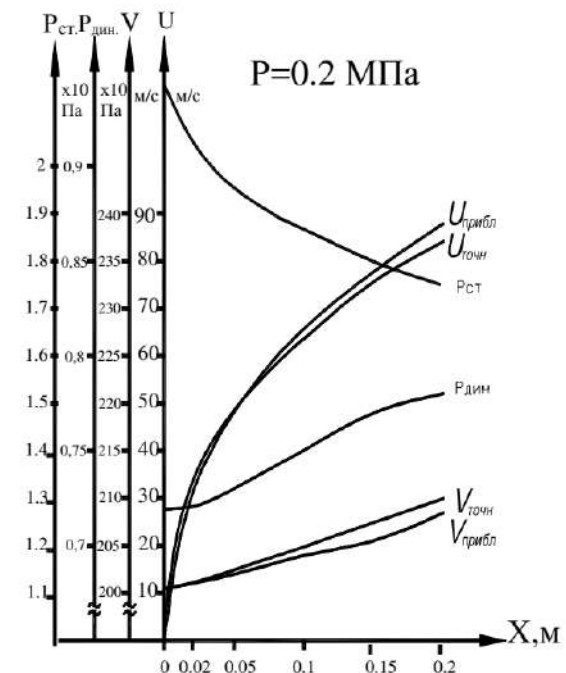


Рис. 2. Графік зміни аеродинамічних характеристик по довжині розгінної трубки при тиску 0,2 МПа

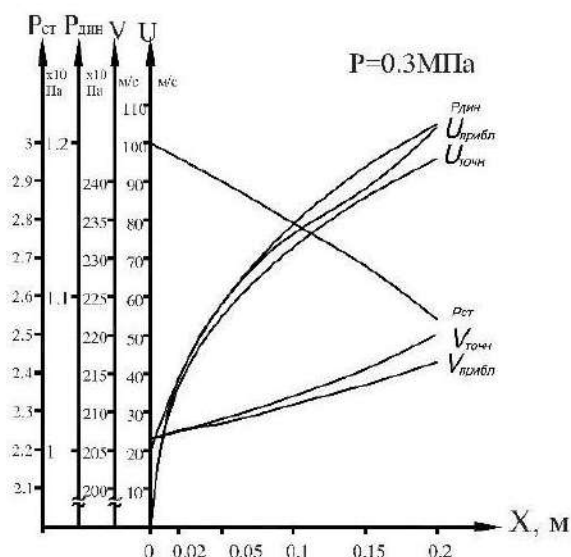


Рис. 3. Графік зміни аеродинамічних характеристик по довжині розгінній трубі при тиску 0,3 МПа

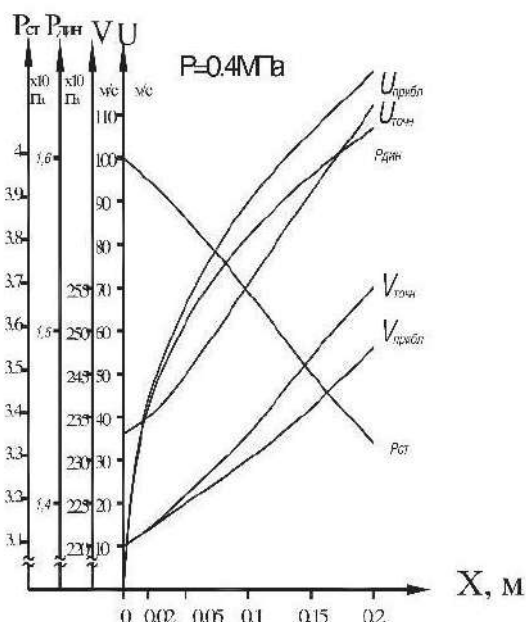


Рис. 4. Графік зміни аеродинамічних характеристик по довжині розгінній трубі при тиску 0,4 МПа

Незначне збільшення швидкості повітря по довжині розгінній трубі (рис. 1–5) в порівнянні з приростом швидкості частки говорить про повідомлення частки значної кінетичної енергії від енергоносія.

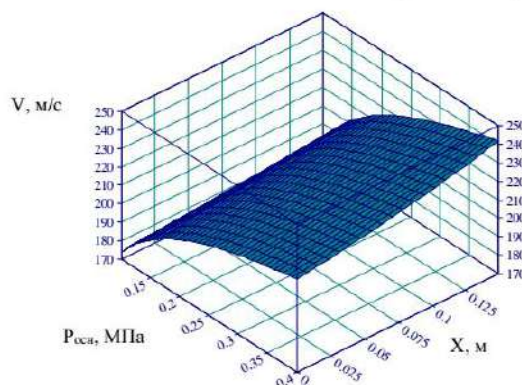


Рис. 5. Зміна швидкості енергоносія по довжині розгінній трубі

Розбіжність між даними, отриманими по точній формулі і даними з наближеної трохи стосовно тисків 0,1...0,3 МПа. Далі розбіжність не перевищує 10%. Розрахунок аеродинамічних параметрів при тиску понад 0,4 МПа дає можливість судити про характер поведінку параметрів, проте з декілька більшої погрешністю.

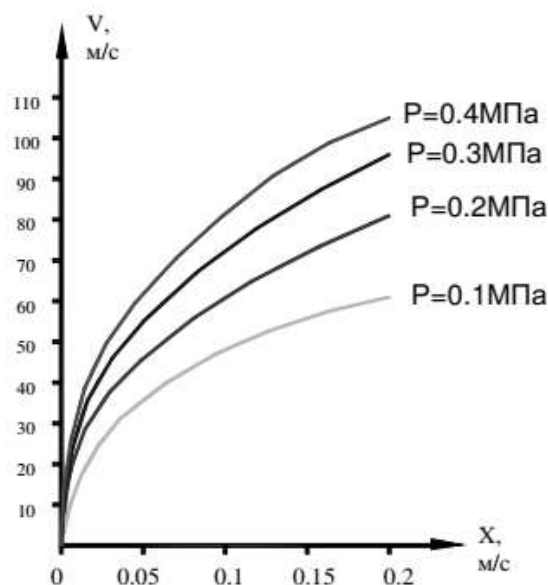


Рис. 6. Характер зміни швидкості частки по довжині розгінній трубі при тисках 0,1,0,4 МПа

З графіку, зображеного на рис. 6 видно, що при підвищенні тиску (від 0,1 МПа до 0,4 МПа), що подається з сопла, зростає і швидкість часток, що розганяються, до 110 м/хв. Слід враховувати, що при русі одного енергоносія (без часток) швидкість повітря наростає повільніше.

З рівняння (3) видно, що на приріст швидкості повітря $d\vartheta$ впливає тертя об стінки розгінної трубки і сили міжкомпонентної взаємодії. При русі однієї фази (повітря) розгін декілька менше ніж при русі з матеріалом, що і відбите на рисунку 7.

Згідно з рівнянням

$$-P_0 \left[\left(\frac{\vartheta_0}{\vartheta} \right)^k - 1 \right] = \frac{G_m}{S_{тр}} (U - U_0) \quad (4)$$

повний тиск падає, приріст динамічного тиску менший, ніж падіння статичного. Це відбиває рис. 7, що ілюструє падіння повних тисків при тисках, що подаються в розгінний вузол, 0,1...0,4 МПа. Характерно, що ніж тиск, що вище подається, тим швидше воно падає.

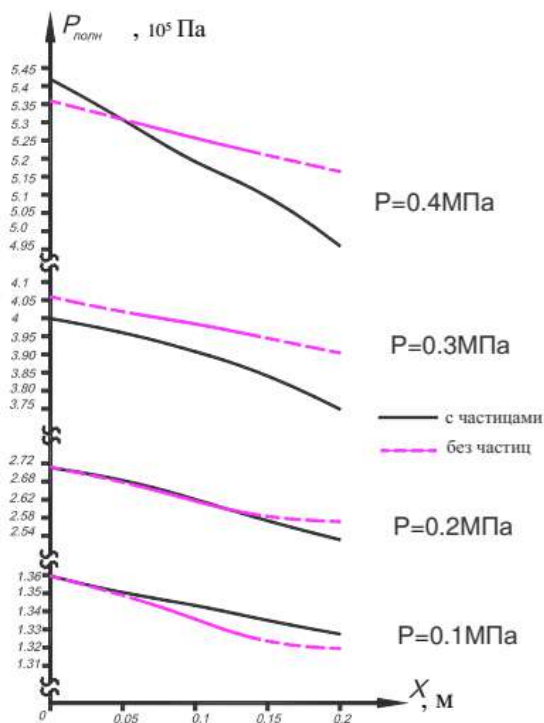


Рис. 7. Падіння повних тисків по довжині розгінної трубки.

Система рівнянь визначає зміну швидкостей енергоносія і частки по довжині конфузора. Поеднання результатів, отриманих для розгінної трубки і для конфузора, дозволило побудувати графічні залежності, що описують динаміку руху двокомпонентної суміші по розгінному вузлу струминного протитечійного млина, оснащеного пристроєм ДКПЭ. Рисунок 8 визначає характер зміни швидкості повітря по довжині розгінного вузла.

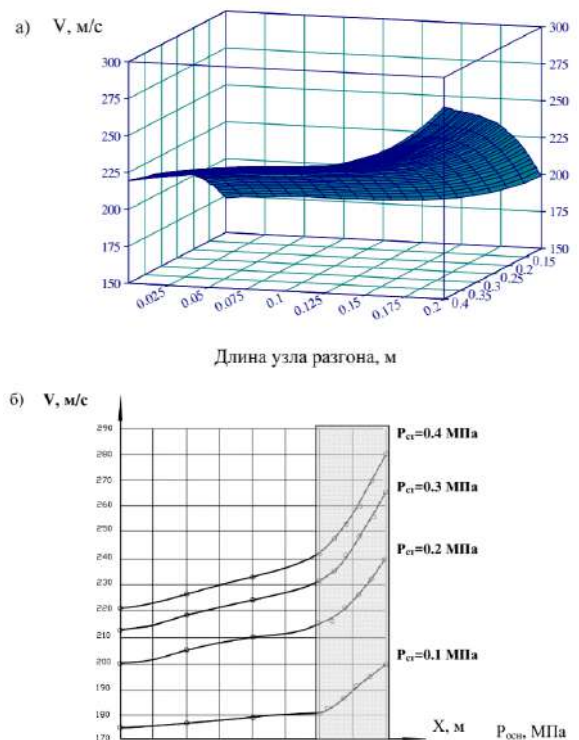


Рис. 8. Зміна швидкості енергоносія по довжині вузла розгону : а) в об'ємному виді; б) в площині.

З графіку на рис. 8 видно, що приріст швидкості по довжині розгінній трубці незначний в порівнянні зі збільшенням швидкості в конфузурі. Так, при статичному тиску 0,1 МПа швидкість енергоносія зростає від 181 м/с до 200 м/с, а при тиску 0,2 МПа швидкість збільшується з 215 м/с до 239 м/с. Тиски, що подаються, 0,3 МПа і 0,4 МПа дозволяють збільшити швидкість енергоносія з 231 м/с до 255 м/с і з 240 м/с до 275 м/с відповідно.

Падіння повного тиску по довжині розгінної трубки і конфузора представлене на рис. 9. Відмітимо, що чим вище тиск, що подається в сопло, тим інтенсивніше відбувається його падіння по довжині розгінної трубки. Причому в конусній частині спад відбувається швидше. Ця закономірність є наслідком закону збереження енергії і пояснюється зниженням щільності енергоносія, втратою енергії внаслідок подолання сил тертя і міжкомпонентної взаємодії.

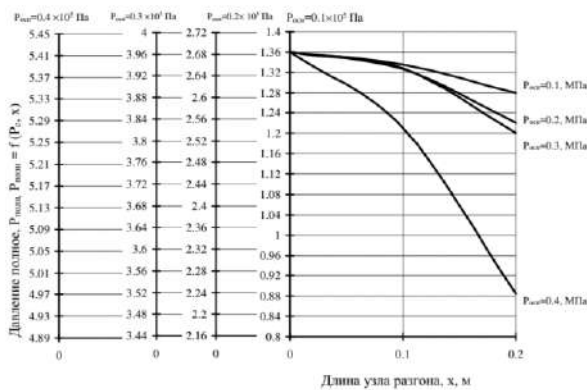


Рис. 9. Падіння повних тисків по довжині розгінного вузла.

Висновки. При підвищенні тиску (від 0,1 МПа до 0,4 МПа), що подається з сопла зростає швидкість частинок які розгортаються до 110 м/с, а при русі одного енергоносія (без частинок) швидкість повітря зростає повільніше. На приріст швидкості повітря dV впливає тертя про стінки розгінної трубки і сили міжкомпонентної взаємодії. Отримані рівняння для випадку, коли в розгінному вузлі протитечійному струминному млину рухається двокомпонентна і однокомпонентна (один енергоносії) суміш, що дозволив порівняти вплив твердої фази на параметри потоку енергоносія.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Strasser S. Современное состояние технологии помола от фирмы KHD Humboldt Wedag AG / S. Strasser // Цемент и его применение, 2002. №1. - С. 27-30.
2. Акунов В.И. Струйные мельницы. - М.: Машиностроение, 1967. - 263 с.
3. Акунов В.И. Экспериментальные исследования установок для тонкого измельчения с противоточными струйными мельницами: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук / В.И. Акунов. - М.: ВНИИНСМ, 1961. - 229с.
4. Балера М.Д., Гордиенко А.Т., Касай С.О., Струминні млини. - Х.: ХНУБА, 2018. - 18 с.
5. Балера М.Д., Касай С.О., Аналіз конструкцій млинів з протитечійною помольною камерою // Матеріали студентської наукової конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тези доповідей. - Харків: ХНУБА, 2017. -130-131с.
6. Балера Н.Д., Гордиенко А.Т., Касай С.А., Комплекс для тонкого измельчения мате-

риалов. - В сб. Научный вестник строительства. Т.89, №3. -Харків: ХНУБА -2017. - 248-252 с.

7. Богданов В.С., Булгаков С.Б., Митич Виденович Я.Н. Противоточная струйная мельница с дополнительным подводом энергоносителя (ДКПЭ). // Международная научно-техническая конференция «Интерстроймех -2001», Санкт-Петербург. С. 111-113.
8. Богданов В.С., Катаев Е.Ф., Воробьев Н.Д., Шаблов А.С. Мельницы сверхтонкого измельчения. Учебное пособие. Белгород.: БТИСМ, 1988. - 86с.
9. Булгаков С.Б. Струйная противоточная мельница с дополнительным подводом энергоносителя: Дисс. ... канд. техн. наук / С.Б. Булгаков. - Белгород: БелГТАСМ, 2002. - 160 с.
10. Булгаков С. Б. Струйная противоточная мельница с дополнительным подводом энергоносителя. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Белгород: БелГТАСМ, 2002. - 40с.
11. Дорендорф К. И., Сидольковский Л. Н. Влияние твердой фазы на сопротивление циклонной камеры. — Труды МЭИ. - М.: Изд-во МЭИ, 1974. - вып. 208. - с. 27-32.
12. Журавлев М.И., Фоломеев А.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, и изделий на их базе. М.: Высшая школа, 1983.
13. Каталог струйных мельниц марки «Микронайзер» фирмы F.W Berk & Co Ltd. Лондон. Англия
14. Уваров В.А. Разработка, исследование, методика расчета конструктивно-технологических параметров противоточных струйных мельниц: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук/ В.А. Уваров. -Белгород: БТИСМ, 1996. - 154 с.

Балера Н.Д., Гордиенко А.Т., Касай С.А. АНАЛИЗ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ РУСИ ПО РАЗГОННОЙ ТРУБКЕ СТРУЙНОЙ МЕЛЬНИЦЫ.

Целью исследования является проведение анализа зависимости скорости в разгонной трубке струйного мельницы от давления. Методом проведения этого анализа - создана математическая модель движения двухкомпонентной смеси в разгонном узле. На основе математической модели были построены графики зависимости, нагляднее изображают процесс изменения аэродинамических характеристик потока в

разгонной трубке, чем аналитические. В результате получены уравнения движения двух-компонентной и однокомпонентной смеси, что позволило сравнить влияние твердой фазы на параметры потока энергоносителя.

Ключевые слова: струйная противоточная мельница, аэродинамические характеристики, конфузор, разгонная трубка.

Balera N.D., Gordienko A.T., Kasai S.A. ANALYSIS OF AERODYNAMIC DESCRIPTIONS AT TO RUS ON STARTING TUBE OF STREAM MILL. The purpose of the study is to analyze the velocity dependence of the jet mill in the accelerator tube from the pressure. The method

of conducting this analysis - a mathematical model of the movement of a two-component mixture in the accelerator node was created. Based on the mathematical model, dependency graphs were constructed that more clearly depict the process of changing the aerodynamic characteristics of the flow in the accelerator tube rather than the analytical ones. As a result, the equation of motion of a two-component and one-component mixture was obtained, which allowed to compare the influence of the solid phase on the parameters of the energy flux.

Keywords: stream counterfeit mill, aerodynamic descriptions, contractor, starting tube.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-92-2-231-235

УДК 621.926.5

Іванов А.М., Дорофєєв Д.О.

*Харківський національний університет будівництва та архітектури,
(вул. Сумська, 40. м. Харків, 61002. Україна; e-mail: mbp.khnuba@ukr.net)*

УДОСКОНАЛЕННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ПИЛОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА

Показана доцільність застосування на металургійних заводах України технології підготовки (ПВП) вдування пиловугільного палива. Надано порівняльний аналіз технології і обладнання для виробництва ПВП за кордоном і в Україні.

Запропоновані рішення щодо підвищення ефективності роботи установки для помелу і сушки вугілля, що мають ряд істотних переваг перед закордонною.

Ключові слова: помел, сушка, вугілля, барабанно-валковий млин, паливо.

Вступ. Зниження витрат природного газу в різних промислових підприємствах будівельної, енергетичної та металургійної галузі є не тільки елементом енергозбереження природних ресурсів, а також і підвищує нашу державну незалежність від інших країн.

В умовах України цю проблему можна вирішити за рахунок заміни газу підготовленим пиловугільним паливом (ПВП).

Аналіз стану питання. Так, для металургійних підприємств це одна з першочергових задач. Тому основні металургійні заводи Європи і України переведені на технологію вдування пиловугільного палива [1]. Укр НТЦ «Енергосталь» (місто Харків) розробив установки по вдуванню пиловугільного палива (ПВП) в яких використовую-

ються як вітчизняні, так і зарубіжні технології та обладнання. По якості підготовленого ПВП – всі установки приблизно однакові. ПВП має тинину помелу 80-90 мкм і вологість 10-13%. Щодо тинини помелу вугілля для повного його згоряння то були і інші параметри. [2].

Слід підкреслити, що ПВП можна застосовувати на цементних заводах в обортових печах випалу клінкеру, а також і для згоряння на теплових електростанціях.

Актуальність. В наш час технологія доменної плавки чавуну з використанням пиловугільного палива (ПВП) показала високу ефективність і впроваджена більше ніж в 30 розвинених країнах світу, а використання природного газу в доменному виробництві закінчено в ряді країн.