



Шибецький В. Ю.,
Поводзинський В. М.

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТАБЛЕТОВОЧНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТРИТУРАЦІЙНИХ ТАБЛЕТОК

Проектування обладнання і інженерного забезпечення фармацевтичних виробництв у відповідності з вимогами Належної виробничої практики на етапі формування технічного завдання повинно враховувати специфічність готової продукції. Розроблена сучасна конструкція таблетувальної машини по виробництву тритураційних таблеток дозволяє вирішити комплекс вимог стосовно специфічних особливостей даного типу таблеток, таких як рівномірність розподілу діючих та допоміжних речовин, стерильність та ліофільність.

Ключові слова: лікарський засіб, тритураційні таблетки, таблетувальна машина, ліофільність, вологе гранулювання.

1. Вступ

Забезпечення якості, безпечності та ефективності лікарських засобів (ЛЗ), як результату діяльності фармацевтичного виробництва, адекватно орієнтоване на виконання вимог системи якості, щодо учасників технологічного процесу та контролю продукції. У відповідності з принципами Належної виробничої практики НВП (GMP) учасниками технологічного процесу визнається персонал, виробничі приміщення, обладнання та комунікації.

Базовою, відправною точкою вимог НВП (GMP) стосовно обладнання є те, що воно повинно задовольняти вимогам функціональної відповідності, при цьому обладнання необхідно розміщати й обслуговувати таким чином, щоб воно відповідало своєму призначенню. Виробниче обладнання повинно бути спроектоване таким чином, щоб його можна було легко і ретельно очищати. Очищення повинне проводитися відповідно до методик, докладно викладених в письмовому вигляді. Устаткування (інвентар), що застосовують для миття й очищення, слід вибирати і використовувати так, щоб воно не стало джерелом контамінації. Обладнання повинно бути встановлене таким чином, щоб не допустити ризику помилок або контамінації [1, 2].

Для виконання умов функціональної відповідності при проектуванні, експлуатації та ремонті обладнання і устаткування, а також при проектуванні для будівництва нових, реконструкції та переоснащенні діючих підприємств потрібне коректне формулювання вихідних даних та завдання на проектування.

Потрібно прийняти до уваги, що будь-яке обладнання і устаткування має свій життєвий цикл, який розпочинається з формулювання технічного завдання і його проектування і завершується виведенням обладнання з експлуатації [3].

Умовно етапи життєвого циклу обладнання можна представити як послідовність таких дій:

- проектування;
- виготовлення і введення в експлуатацію;
- експлуатація;
- виведення з експлуатації.

Фармацевтична система якості (PQS — Pharmaceutical Quality System), яка була регламентована Міжнародною конференцією по гармонізації вимог до реєстраційної документації на лікарські засоби, сформувала комплекс вимог до якості упродовж терміну життєвого циклу лікарського засобу.

Обладнання, устаткування та інжинірингові системи є одним з ключових елементів, що мають прямий вплив на забезпечення якості як у виробництві, так і при фармацевтичній розробці. Можливість належного функціонування устаткування закладається на етапах його проектування і конструювання в такій же мірі, як і якість серійно вироблюваного готового лікарського засобу закладається (проектуються) на етапах його фармацевтичної розробки. Тому елементи фармацевтичної системи якості, що застосовуються до відповідних етапів життєвого циклу лікарських засобів, в такій же мірі можуть бути інтерпретовані відносно життєвого циклу обладнання та інжинірингових систем. Оцінка відповідності устаткування вимогам GMP повинна розпочинатися з формулювання технічного завдання (ТЗ) для проектування фармацевтичного обладнання (URS — User Requirement Specifications) і з оцінки (кваліфікації) самого технічного завдання (SQ — Specification Qualification) [4]. Технічне завдання на проектування обладнання та інжинірингових систем повинно враховувати вимоги до якості лікарського засобу, технологічного процесу, вимоги до матеріалів тощо.

У даній роботі нами розглядаються принципи, що включені у технічне завдання при постановці на виробництво обладнання для виготовлення тритураційних таблеток.

2. Постановка проблеми і огляд існуючих способів таблетування

Метою розробки є створення концепції проектування у вигляді завдання на проектування таблетувальної машини, що базується на виявленні специфічних ознак тритураційних таблеток і на підставі цього розробки конструкції сучасної таблетувальної машини.

Таблетка — одна з найпоширеніших і, на перший погляд, добре відомих лікарських форм, проте її потенціал

далеко не вичерпаний. Завдяки досягненням вітчизняної і зарубіжної фармацевтичної науки і промисловості з'являються нові технології отримання таблеток і створюються їх модифікації. Таблетки (Tabletiae) — тверда лікарська форма, яка містить одну дозу однієї або більше діючих речовин і одержана пресуванням певного об'єму часток. Таблетки одержують пресуванням певного об'єму часток або агрегатів часток, одержаних методами грануляції [5].

Нині із загальної кількості готових ЛЗ фармацевтичного виробництва, що реалізуються через аптечну мережу, до 40 % припадає на таблетки.

Метою виробничого процесу виготовлення ЛЗ, крім загально визначених (якість, безпечність, ефективність) є забезпечення специфічних вимог, що формує блок вимог до обладнання і вони присутні у технічному завданні. До таблеток пред'являються 3 основні вимоги і вони визначають особливості технологічних прийомів виготовлення і відповідно вимоги до обладнання та устаткування:

1. *Точність дозування* — однорідність (рівномірність) розподілу діючої речовини в таблетці; а також коректність ваги таблетки.

2. *Механічна міцність*. Твердість, ламкість, крихкість характеризують якість таблеток. Таблетки повинні володіти достатньою міцністю, щоб залишатися непошкодженими при механічних діях в процесі упаковки, транспортування і зберігання.

3. *Розпадаємість* — здатність розпадатися або розчинятися в терміни, що регламентуються НТД.

Таблетки класифікують за самими різними ознаками в тому числі і за способом отримання:

- пресовані (власне таблетки);
- тритураційні (формовані).

Доля тритураційних таблеток по відношенню до всієї кількості твердих ЛЗ незначна і складає 1–2 % від усіх таблетованих препаратів. Формовані таблетки є важливим способом отримання лікарських засобів з специфічними властивостями у тих випадках, коли потрібно забезпечити такі вимоги:

- доля діючої речовини дуже мала, але потрібне її гарантоване рівномірне розподілення у масі речовини, наприклад гомеопатичні препарати;
- є проблеми при використанні традиційних способів ущільнення речовин (пресуванні) — у складі ЛЗ є вибухонебезпечні речовини або присутня термолабільна життєздатна мікрофлора, що не витримує зонального перегріву маси при пресуванні (пробіотики);
- є необхідність отримання ліофільних порошоків при неможливості використання сублімаційного сушіння;
- отримання стерильних порошоків з стерильних інгредієнтів, не застосовуючи традиційні прийоми термінальної стерилізації (робота автоматизованих установок в ізолюючих технологіях — ізоляторах).

3. Аналіз літературних даних

Таблетки тритураційні (таблетки формовані, мікро-таблетки; лат. tablettae friabiles) — таблетки, що отримуються формуванням при здавлюванні пластичної вологої маси (наприклад, маси зволоженої 60 % етанолом) з подальшим висушуванням.

На відміну від пресованих, тритураційні таблетки не піддаються дії високого тиску, зчеплення часток у цих

таблеток здійснюється тільки в результаті аутогезії при висушуванні, тому тритураційні таблетки мають меншу міцність, чим пресовані. Ліофільність тритураційних таблеток обумовлена аутогезією часток монодисперсного порошку, що обумовлює виникнення пористої структури у відповідності з теорією, що розроблена П. А. Ребіндером, Е. Д. Щукініним та Л. Я. Марголісом в 1964 році [6–8]. Такі таблетки є сумішшю невеликих доз подрібненої діючої речовини з лактозою, сахарозою або манітолом (тритурація) і є маленькими циліндриками масою до 0,05 г, діаметром 1–6 мм.

Тритураційний спосіб приготування, а також повна відсутність ковзних речовин і інших нерозчинних допоміжних речовин забезпечують утворення легко-розчинного пористого тіла, тому тритураційні таблетки перспективні для деяких прописів очних крапель, ін'єкційних розчинів, імплантацій під шкіру. У зарубіжній літературі тритураційні таблетки для імплантації іноді називають пеллетами.

Технологічні прийоми отримання таблеток, в тому числі і тритураційних традиційні і їх послідовність визначена на технологічній схемі виробництва твердих лікарських форм (рис. 1) [5, 9]. Для формування тритураційних таблеток створені спеціальні, досить складні машини, в яких завантажувальна воронка заповнюється пластичною масою, яка за допомогою крилатої мішалки втирається у фільтри — перфоровані пластини з наскрізними отворами циліндричної форми, що виготовлені з хімічно стійкого матеріалу, наприклад нержавіюча сталь AISI 316L. В подальшому втерта маса виштовхується з пластинок системою невеликих пуансонів і таблетки, що утворилися, безпосередньо висушуються в матриці, на повітрі [10, 11].

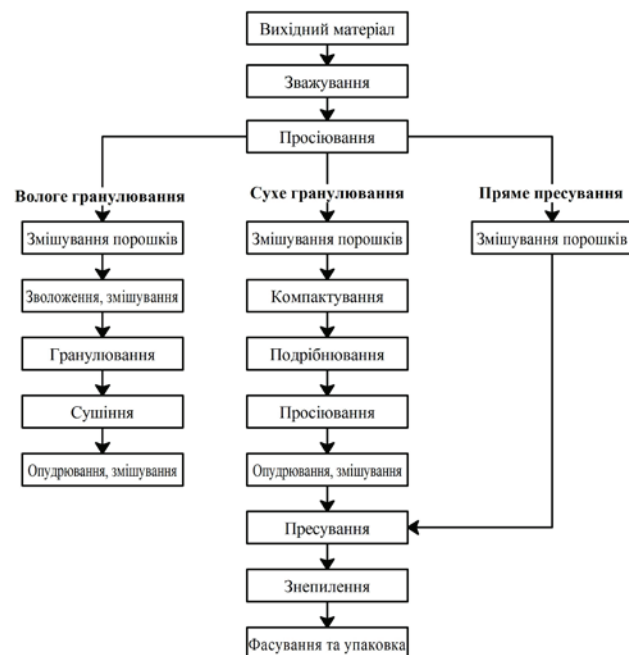


Рис. 1. Технологічна схема виробництва таблетованих лікарських форм (пресовані і тритураційні)

Типовою стадією для різних типів виробництва твердих лікарських форм є гранулювання. Це процес перетворення порошкоподібного матеріалу в зерна певної величини, що необхідно для поліпшення сипучості

таблетмаси (суміші) і запобігання її розшаруванню. Гранулювання може бути «вологим» і «сухим». Перший вид гранулювання, пов'язаний з використанням рідин — розчинів допоміжних речовин; при сухому гранулюванні змочуючих рідин або не використовують, або використовують їх тільки на одній певній стадії підготовки матеріалу до таблетування [11, 12].

Вологе гранулювання, як типова стадія виробництва тритураційних таблеток складається з наступних операцій:

- подрібнення речовин в тонкий порошок;
- зволоження порошку розчином зв'язуючих речовин;
- протирання отриманої маси через сито;
- висушування і обробки грануляту.

Подрібнення. Цю операцію зазвичай проводять в кульових млинах. Порошок просіюють через сито № 38.

Зволоження. В якості зв'язуючих речовин рекомендують застосовувати воду, спирт, цукровий сироп, розчин желатину і 5 % крохмальний клейстер операцію проводять в змішувачі з S(сигма)-образними лопатями, які обертаються з різною швидкістю: передня — із швидкістю 17–24 об/хв, а задня — 8–11 об/хв, лопаті можуть обертатися у зворотний бік.

Протирання (власне гранулювання). Гранулювання проводять шляхом протирання отриманої маси через сито 3–5 мм (№ 20, 40 і 50). Застосовують пробивні сита з нержавіючої сталі, латуні або бронзи. Не допускається вживання тканинних дротяних сит, щоб уникнути попадання в масу таблетки обривків дроту. Протирання проводять за допомогою спеціальних протиральних машин — грануляторів. У вертикальний перфорований циліндр насипають гранульовану масу і протирають через отвори за допомогою пружних лопатей.

Висушування і обробка гранул. Отримані гранули розсипають тонким шаром на піддонах і підсушують іноді на повітрі при кімнатній температурі, але частіше при температурі 30–40 °С в сушильних шафах або сушарних приміщеннях. Залишкова вологість в гранулах не повинна перевищувати 2 % [13].

Зазвичай операції змішування і рівномірного зволоження порошкоподібної суміші різними гранулюючими розчинами поєднують і проводять в одному змішувачі. Іноді в одному апараті поєднуються операції змішування і гранулювання (високошвидкісні змішувачі-гранулятори). Змішування забезпечується за рахунок енергійного примусового кругового перемішування часток і зіштовхування їх одна з одною. Процес перемішування для отримання однорідної по складу суміші триває 3–5 с. Потім до задалегідь змішаного порошку в змішувач подається рідина для гранулювання, і суміш перемішується ще 3–10 с. Після завершення процесу гранулювання відкривають розвантажувальний клапан, і при повільному обертанні скребка готовий продукт висипається. Відома конструкція апарату для поєднання операцій змішування і гранулювання — відцентровий змішувач-гранулятор.

Зазвичай операції змішування і рівномірного зволоження порошкоподібної суміші різними гранулюючими розчинами поєднують і проводять в одному змішувачі. Іноді в одному апараті поєднуються операції змішування і гранулювання (високошвидкісні змішувачі-гранулятори). Змішування забезпечується за рахунок енергійного примусового кругового перемішування часток

і зіштовхування їх одна з одною. Процес перемішування для отримання однорідної по складу суміші триває 3–5 с. Потім до задалегідь змішаного порошку в змішувач подається рідина для гранулювання, і суміш перемішується ще 3–10 с. Після завершення процесу гранулювання відкривають розвантажувальний клапан, і при повільному обертанні скребка готовий продукт висипається. Відома конструкція апарату для поєднання операцій змішування і гранулювання — відцентровий змішувач-гранулятор.

В порівнянні з сушкою в сушильних шафах, які є малопродуктивними і в яких тривалість сушки досягає 20–24 години, перспективнішою вважається сушка гранул в киплячому (севдо зрідженому) шарі. Основними її перевагами є: висока інтенсивність процесу; зменшення питомих енергетичних витрат; можливість повної автоматизації процесу.

Технічне завдання на розробку конструкції повинно врахувати перелічені загальні вимоги до отримання таблеток і в даному випадку при виробництві тритураційних таблеток апарат повинен сумістити процес гранулювання (формування) і процес сушки у киплячому шарі стерильного газу.

4. Розробка конструкції сучасної таблетувальної машини для отримання тритураційних таблеток

Таблетувальна машина для отримання тритураційних таблеток (мікротаблеток) має таку конструкцію (рис. 2).

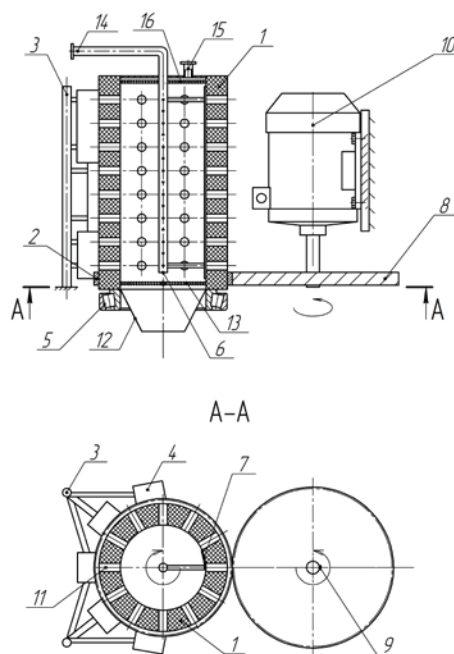


Рис. 2. Схема таблетувальної машини для отримання тритураційних таблеток: 1 — перфорований корпус; 2 — шестерня; 3 — опорна стійка лопаток; 4 — лопатка; 5 — ролик опорний підшипник; 6 — опорна стійка ножів; 7 — ніж; 8 — зубчасте колесо; 9 — шпонка; 10 — електродвигун; 11 — циліндричний отвір; 12 — конічний перехідник; 13 — перфороване дно; 14 — штуцер для під'єднання багатоголового вентиля; 15 — штуцер для відводу відпрацьованого теплоносія (газ); 16 — верхня перфорована перегородка

На опорному роликівому підшипнику 5 встановлено циліндричний корпус машини 1. В якості матеріалу

корпусу можуть використовуватися полікарбонати. Корпус виконано перфорованим з отворами 11, діаметр яких на декілька десятків міліметра більше діаметра майбутньої таблетки. Корпус приводиться в рух електродвигуном 10, що передає крутний момент через зубчате колесо 8 на шестерню 2. Для уникнення проковзування зубчатого колеса відносно валу двигуна, на останньому встановлюється шпонка 9. Таблетмаса подається на лопатки 4, які утримуються в стійкому положенні опорними стійками 3. Для зрізання сформованих таблеток використовується ніж 7, що встановлено нерухомо на опорній стійці 6.

Опорна стійка 6 виконана у вигляді полого перфорованого циліндра, до якого через багатোধодовий вентиль під'єднуються трубопроводи для подачі:

- сушильного агента (стерильний газ);
- дезінфікуючих розчинів;
- води очищеної.

Обичайка корпусу має дві перфоровані перегородки: у верхній частині — 16, а у нижній частині — перфороване дно 13, що обертається навколо осі на 60°.

Для направлення висушених таблеток на конвеєр використовується конічний перехідник 12.

Працює машина наступним чином: двигун 10 приводить у обертовий рух корпус таблеточної машини 1. На лопатки 4 подається таблетмаса, за рахунок обертання корпусу вона перенаправляється в циліндричні отвори 11, які і формують майбутні таблетки.

В середині корпусу 1 розташовується ніж 7, який зрізає сформовані таблетки. Таблетки під дією сили тяжіння потрапляють на перфороване дно 13. Машина працює періодично і по мірі накопичення порції таблеток включається подача стерильного сушильного агента (стерильне повітря або інертний газ) через отвори стійки 6. Потік повітря розрахований таким чином, щоб утримувати у зваженому стані масу таблеток.

Перфорована перегородка 16 у верхній частині обичайки утримує від уносу масу таблеток, а відпрацьоване повітря поступає на очистку через штуцер 15.

Після закінчення циклу сушки нижнє перфороване дно обертається на вісі на 60° і висушені таблетки через конічний перехідник 12 висипаються на стрічку транспортера.

5. Висновки

На підставі сучасних методологічних підходів до забезпечення якості у виробництві лікарських засобів, що базуються на виконанні вимог Належної виробничої практики (GMP) виробництва твердих лікарських форм визначені базові принципи формулювання технічного завдання у проектуванні таблеточної машини для отримання тритураційних таблеток.

Розроблена принципово нова конструкція таблетувальної машини для отримання формованих таблеток, що враховує сучасні наукові дослідження у сфері аутогезії часток монодисперсного порошку і досягнень машинобудування фармацевтичного обладнання.

Конструкція розробленої таблетувальної машини для виробництва тритураційних таблеток дозволяє суттєво змінити концепцію виробництва формованих таблеток і створює сучасні засади у розширеному використанні даного виду твердих форм для технологій стерильних і нестерильних лікарських засобів.

Література

1. Sharp, J. Good Pharmaceutical Manufacturing Practice: Rationale and Compliance [Text] / J. Sharp. — CRC Press, 2005. — 503 p.
2. Федотов, А. Е. Основы GMP: производство лекарственных средств [Текст] / А. Е. Федотов. — М.: АСИНКОМ, 2012. — 583 с.
3. Никитюк, В. Г. Оборудование на фармацевтическом предприятии. Проектирование и приемка — основные аспекты [Текст] / В. Г. Никитюк, Т. Н. Шакина // Фармацевтическая отрасль. — 2012. — № 2(31). — С. 30–38.
4. Current Good Manufacturing Practice for Finish Pharmaceutical [Text] / Code of Federal Regulation Title 21 (CFR 21). — Part 211. — 2011. — P. 142–163.
5. Хаджиева, З. Д. Технологические аспекты использования вспомогательных веществ в производстве лекарственных препаратов [Текст] / З. Д. Хаджиева, А. В. Кузнецов, Д. В. Бирюкова // Фундаментальные исследования. — 2012. — № 5(2). — С. 436–440.
6. Jonat, S. Investigation of compacted hydrophilic and hydrophobic colloidal silicondioxides as glidants for pharmaceutical excipients [Text] / S. Jonat, S. Hasenzahl, M. Drechsler, P. Albers, K. W. Wagner, P. C. Schmidt // Powder Technology. — 2004. — № 1–2. — P. 31–43.
7. Laich, T. Versuche zur Direkttablettierung pflanzlicher Trockenextrakte unter Verwendung eines inter-nen und eines externen Schmiersystems [Text] / T. Laich, M. Reher, T. Kissel, G. M. Voss // Pharm. Ind. — 1995. — № 11. — P. 950–958.
8. Miertus, S. Electrostatic interaction of a solute with a continuum. A direct utilization of ab-initio molecular potentials for the prevision of solvent effects [Text] / S. Miertus, E. Scrocco, J. Tomasi // Chem. Phys. — 1981. — Vol. 55. — P. 117–129.
9. Федосеева, А. А. Представление технологического процесса производства таблетированных лекарственных препаратов с помощью блок-схемы и временных сетей Петри [Текст] / А. А. Федосеева // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. — 2013. — № 5(64). — С. 385–389.
10. Александров, Б. С. Методы гранулирования фармацевтических материалов и их влияние на свойства гранулятов и таблеток [Текст] / Б. С. Александрова // Хим.-фарм. пром.: Обзор. информ. ЦБНТИ Минмедпром. — 1VT. — 1976. — № 9. — 22 с.
11. Белоусов, В. А. Основные закономерности прессования химико-фармацевтических порошков [Текст] / В. А. Белоусов // Хим.-фармац. журн. — 1979. — № 5. — С. 49–55.
12. Miyamoto, Y. Optimization of the granulation process for designing tablets [Text] / Y. Miyamoto, A. Ryu, S. Sugawara, M. Miyajima // Chem Pharm Bull. — 1998. — Vol. 46, № 9. — P. 1432–1437.
13. Бродский, Ю. А. Технологическое вибрационное оборудование для фармацевтической промышленности [Текст] / Ю. А. Бродский, М. И. Одинокий // Хим.-фармац. журн. — 1999. — Т. 33, № 7. — С. 44–48.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ТАБЛЕТИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТРИТУРАЦИОННЫХ ТАБЛЕТОК

Проектирование оборудования и инженерного обеспечения фармацевтических производств в соответствии с требованиями Надлежащей производственной практики на этапе формирования технического задания должно учитывать специфику готового продукта. Разработанная современная конструкция машины для производства тритурационных таблеток позволяет решать сложные требования, учитывая специфические особенности этого типа таблеток, таких как равномерность распределения ингредиентов, стерильность и лиофильность.

Ключевые слова: лекарственное средство, тритурационные таблетки, таблетующая машина, лиофильность, влажное гранулирование.

Шибецкий Владислав Юрійович, асистент, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет

тет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: sjavva@mail.ru.

Поводзинський Вадим Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: vpovodzinskiy@mail.ru.

Шибецький Владислав Юрьевич, асистент, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.

Поводзинський Вадим Николаевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра биотехники и инженерии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Shybetskiy Vladislav, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: sjavva@mail.ru.

Povodzinskiy Vadym, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: vpovodzinskiy@mail.ru.

УДК 621.311

Мисак С. Й.

РОЗРОБЛЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МЛІНІВ ПИЛОСИСТЕМ КОТЛІВ

В роботі представлено апробовані та впроваджені у виробництво на теплових електричних станціях (ТЕС) нові методи визначення продуктивності кульових вентиляваних млинів пилосистем пиловугільних енергоблоків потужністю 150–200, 300 МВт, що експлуатуються на теплових електростанціях України. Методи можуть бути використані в пилосистемах з промбункером та з прямою подачею вугільного пилу в паливню котла.

Ключові слова: котел, кульовий млин, пилосистема, продуктивність млина, методи визначення продуктивності млина.

1. Вступ

Енергетика є базовою складовою економіки України, без ефективної роботи якої неможливий прогрес держави. Основою енергетики є її тепла електроенергетика, яка використовує як первинне джерело енергії — вугілля. На вугільних електростанціях виробляється близько 50 % всієї електроенергії. Така кількість виробництва електроенергії вимагає ефективного спалювання органічного палива, тобто вугілля.

Вугілля, що поступає в паливню котлів проходить відповідну попередню підготовку і в кульових вентиляваних млинах відбувається підсушування та розмелювання його до відповідної тонкості з подальшою подачею його в паливню котла і в паливню, де проходить його спалювання.

Ефективність його спалювання залежить від якості підготовленого вугільного пилу в кульових вентиляваних млинах, робота яких в процесі їх експлуатації погіршується, через те потрібно періодично їх перевіряти і налагоджувати.

Однією з складових ефективності роботи є визначення їх пилопродуктивності, яка повинна відповідати проектній величині при заданій якості палива.

Продуктивність млинів, що розмелюють тверде паливо, яке подається в паливню котлів теплових електростанцій для спалювання, визначають за єдиним відомим методом — шляхом відбору проби вугілля з фіксованої ділянки стрічки живильника сирого вугілля і вимірювання швидкості переміщення стрічки.

Недолік цього методу — значна трудомісткість операцій і робота персоналу в антисанітарних умовах: ручний відбір вугілля, переміщення (доставка) в ручну і зважування проби вугілля масою 50–80 кг поблизу працюючого устаткування.

Актуальність роботи полягає в розробленні нових достатньо ефективних методів визначення продуктивності кульових вентиляваних млинів, які не потребують втручання додаткового персоналу та фізичної праці.

Експериментатор-налагоджувальник із оператором котла проводять відповідні заміри і аналітичним способом визначають продуктивність млина. Такі способи мають більшу точність виміру і ефективність.

2. Аналіз літературних даних

Вугільні електростанції є базовою складовою енергетики України і займають основне місце з виробництва електроенергії [1–4]. Сьогодні встановлена потужність теплових електростанцій (ТЕС) в Україні складає 27,2 млн. кВт, з них вугільних ТЕС 21,8 млн. кВт, або більше 40 % всієї потужності об'єднаної енергосистеми України (ОЕС). У відповідності до планів розвитку енергетики України до 2030 року основою потужності ОЕС будуть ТЕС, що працюють на вугіллі власного видобутку.

Одним із важливих чинників в подачі вугілля до спалювання в паливнях котлів є його підготовка, яка відбувається в системах пилоприготування з розмелом його в кульових вентиляваних млинах [5], в подальшому млинів.

Окрім традиційного (факельного) спалювання вугілля широкого розвитку набирають інші способи, більш ефективні і екологічно чисті, наприклад, газифікація вугілля з різними технологічними схемами.

За технологією отримання продуктів переробки чисті вугільні технології [6–8] діляться на:

- технології попередньої підготовки вугілля;
- технології газифікації вугілля;
- технології переробки продуктів, що утворились під час термохімічної переробки палива.