

УДК 615.453.6.012:621.929]:006.022

SUBSTANTIATION THE WORKING MODE OF THE EQUIPMENT FOR MIXING OF COMPONENTS OF THE TABLETTING MIXTURE

O. Chepeliuk, O. Chepeliuk, O. Gubenia
National University of Food Technologies

Key words:

mixing,
tableting mixture,
working member,
rotational speed,
energy consumption

Article history:

Received 11.10.2018
Received in revised form
28.10.2018
Accepted 26.11.2018

Corresponding author:

lenasandul@yahoo.com

ABSTRACT

The process of mixing the components of mixtures for tableting, which aims to obtain a homogeneous mass with uniformly distributed components affects the quality of the drugs.

The object of the research is the process of mixing the components tableting mixture which is in the mixer with two Z-shaped working members.

Due to the low speed of rotors, the mixing process in machines with such working members is long. The mixing duration, in turn, affects the equipment productivity and energy consumption during the process. The possibility of increasing the rotational speed of a high-speed rotor is considered and it is investigated how the equipment mode of operation influence by the economic performance indicators of the enterprise.

In modeling the mixing process performed in the licensed software system Flow Vision, as a controlled factor is considered rotational speed of mixer device, which is varied in the range of 17—62 rpm for high speed rotor and is maintained at 15 rpm for the slow-moving rotor.

When increasing the frequency of rotation the uniform distribution of components in the volume of mixer is faster. In particular, at frequency of rotation over 53 rpm the necessary degree of homogeneity is achieved in 18 minutes from the beginning. However, increasing the frequency of rotation leads to increased power consumption and the cost of it, and hence to the rise in the cost of production. The power consumed for mixing a high-viscosity mixture by the working members of a complex configuration was determined taking into account the drag forces calculated in the program Flow Vision. Analyzing the influence of a rotational speed on general expenses caused by the equipment productivity and energy consumption, the

optimum rotor speed was defined that is 39 rpm. Thus the achieving sustainable value of components concentration is observed for 24 minutes. Energy dissipation in the mixer does not lead to significant heating of the mixture.

DOI: 10.24263/2225-2916-2018-24-17

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ТАБЛЕТУВАННЯ

О.О. Чепелюк, О.М. Чепелюк, О.О. Губеня

Національний університет харчових технологій

Безпека та ефективність лікарських засобів, зокрема у твердій формі, насамперед визначається дозою діючої речовини. У програмному комплексі Flow Vision виконані обчислювальні експерименти із визначення впливу частоти обертання робочого органу на ступінь однорідності суміші для таблетування, енергоспоживання, продуктивності обладнання і, відповідно, фінансові витрати. Оптимальна частота обертання ротора становить 39 об/хв. При цьому досягнення усталеного значення рівномірного розподілу компонентів спостерігається за 24 хв. Дисипація енергії в змішувачі не призводить до суттєвого нагрівання суміші.

Ключові слова: змішування, суміш для таблетування, робочий орган, частота обертання, енерговитрати.

Постановка проблеми. Процес виготовлення переважної більшості твердих лікарських форм включає технологічні операції змішування, гранулювання, сушіння, пресування, покриття оболонками, пакування. Причому на якість лікарського препарату суттєво впливає саме етап змішування, метою якого є отримання однорідної таблетмаси з рівномірно розподіленими компонентами. Гомогенність суміші надзвичайно важлива з точки зору вимог до рівномірного розподілу в об'ємі готової форми лікарської речовини [1]. Якісне змішування у виробництві порошків, таблеток і драже досить складне технологічне завдання, тому що об'єм діючих речовин малий відносно загального об'єму, який перемішується [2].

У процесі змішування в робочому об'ємі змішувача відбувається взаємне переміщення часточок різних компонентів, що перебувають до перемішування окремо або в нерівномірно розподіленому стані. В результаті переміщень можлива нескінченна різноманітність взаємного розташування часточок. У цих умовах співвідношення компонентів у мікрооб'ємах суміші — величина випадкова, тому більша частина відомих методів оцінювання однорідності (якості) суміші заснована на методах статистичного аналізу [3]. Для спрощення розрахунків всі суміші умовно вважають двокомпонентними, що складаються з так званого ключового компонента й умовного, який містить всі інші компоненти сумішей. Такий прийом дає можливість оцінювати однорідність суміші параметрами розподілу однієї випадкової величини — вмістом ключового компонента в пробах суміші. Ключовим компонентом у суміші для таблетування є діюча лікарська речовина.

Проведення фізичних експериментів з дослідження впливу різних факторів на якість отриманої суміші для таблетування — процес надзвичайно вартісний, тому доцільно використовувати можливості імітаційного моделювання, досліджуючи зміну розподілу початкових компонентів (їх концентрацію) в суміші для таблетування.

Досягти однорідності суміші, яка відповідає вимогам технологічного процесу, можливо шляхом здійснення тривалого оброблення сировини, але при цьому збільшується час контакту речовини з робочими органами, чого слід уни-

кати при обробці деяких хімічно-активних продуктів [4], і зростають витрати електроенергії. Це є економічно недоцільним через збільшення собівартості продукції. Потрібно шукати шляхи інтенсифікації процесу, якими, зокрема, є його здійснення при раціональних режимах роботи для існуючих зразків обладнання, їх модернізація та проектування нових.

Якісне змішування компонентів таблетувальних сумішей у виробництві фармацевтичних препаратів — процес складний. Ступінь і швидкість змішування залежать від великої кількості факторів: фізико-хімічних властивостей окремих компонентів (розподіл часточок за розмірами, їх густина і форма, характеристика поверхні, насипна маса, вміст вологи, текучість, коефіцієнт тертя тощо); характеристик устаткування для змішування (розміри і геометрія змішувача і робочих органів, тип і розміщення пристроїв завантаження і вивантаження, конструкційних матеріалів і чистоти оброблення поверхонь) та умов реалізації процесу змішування (співвідношення компонентів, рівень заповнення місткості, спосіб, послідовність, місце і швидкість додавання компонентів, інтенсивність змішування). Процес змішування компонентів сумішей для таблетування для виробництва визначеної продукції з використанням конкретного обладнання згідно з технологічним регламентом характеризується сталістю більшості перерахованих параметрів. Доцільним є розгляд шляхів підвищення інтенсивності процесу змішування компонентів.

Метою дослідження є визначення режимів роботи змішувача компонентів суміші для таблетування — частоти обертання робочих органів і тривалості змішування — для забезпечення необхідного ступеня однорідності отриманої суміші при якомога менших витратах на процес.

Матеріали і методи. Черв'ячно-лопатевий змішувач складається із корито-подібного корпусу і двох Z-подібних роторів, які обертаються в протилежні сторони з різними кутовими швидкостями. Відстань між осями валів становить 0,44 м, довжина роторів — 0,7 м, а радіус найбільшого кола, яке описують ротори, — 0,2 м.

Порошок ампіциліну тригідрату завантажується разом з картопляним крохмалем загальною масою 80 кг у камеру змішування. Після отримання однорідної сипкої суміші додається крохмальний клейстер масою 20 кг і відбувається змішування сухих та вологих компонентів суміші.

Об'єктом дослідження є процес змішування компонентів таблетувальної суміші. Процес промодельований у програмному комплексі Flow Vision.

При моделюванні процесу змішування як керований фактор, який впливає на ступінь однорідності суміші, розглянуто частоту обертання перемішувачих пристроїв, яка змінювалася в межах 17—62 об/хв для швидкохідного ротора і підтримувалася на рівні 15 об/хв для тихохідного.

Геометричні моделі місткості для змішування і перемішувачих Z-подібних роторів (рис. 1) створені в програмі Solid Works.

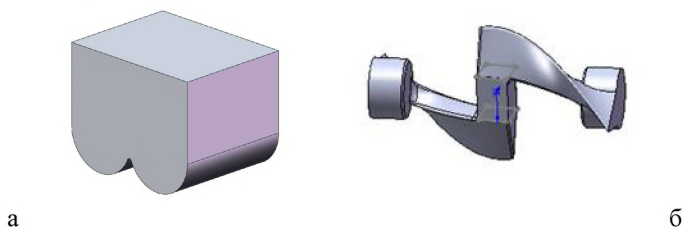


Рис. 1. Геометричні моделі місткості для змішування (а) і робочого органу (б)

Граничні умови описують взаємодію суміші компонентів з елементами обладнання (рис. 2).

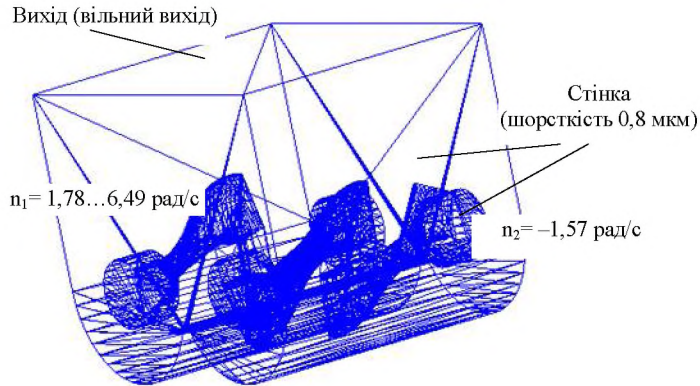


Рис. 2. Граничні умови для розрахунку процесу змішування

Для моделювання обрана модель «нестислива рідина», яка описує течію в'язкої рідини при малих числах Маха ($M < 0.3$), малих числах Рейнольдса (низькорейнольдсова $k-\epsilon$ модель). У модель входять рівняння Нав'є-Стокса, збереження енергії та рівняння конвективно-дифузійного перенесення речовини (закон збереження маси) [5].

Розглядається задача змішування сипких компонентів з крохмальним клейстером. Властивості речовин:

- Речовина 0: густина $\rho = 790 \text{ кг/м}^3$, динамічна в'язкість $\mu = 0,1 \text{ Па}\cdot\text{с}$.
- Речовина 1: густина $\rho = 1430 \text{ кг/м}^3$, динамічна в'язкість $\mu = 1,82 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

При постановці задачі вказані об'єми, які займають компоненти до початку змішування.

Відомо, що потужність, необхідна для змішування, прямопропорційно залежить від сили опору F_{op} і швидкості руху робочих органів.

Силу опору руху робочих органів визначають властивості середовища, швидкість переміщення, збільшення якої призводить до зростання величини опору, і геометричні параметри робочих органів. Аналітично обчислити силу опору для робочих органів складної форми неможливо. Натомість це дає можливість зробити сучасне прикладне програмне забезпечення. Так, значення сили опору, отримані в ході проведення обчислювальних експериментів у пакеті Flow Vision, використані для розрахунку споживаної потужності.

Силу опору F_{op} можна виразити через дві складові: силу опору, обумовлену внутрішнім тертям у масі, і силу тиску на робочий орган. Оскільки суміш, компоненти якої змішуються, є неньютонівською високов'язкою рідиною, основна роль у формуванні витрат енергії належить силі опору, обумовленій внутрішнім тертям в масі [6].

Результати досліджень. Однорідність отриманої суміші в програмному комплексі Flow Vision оцінюється за значенням розподілу концентрації. Концентрація однорідної суміші, яка складається з двох компонентів у співвідношенні 4:1 з початковими концентраціями 0 і 1, має становити 0,8. Для зручності сприйняття це значення було перераховано і представлено у вигляді безрозмірного показника — ступеня однорідності суміші α .

Варіювання частоти обертання ротора суттєво впливає на розподіл компонентів у суміші для таблетування (рис. 3). Найбільш прийнятною є частота обертання, при якій два компоненти — сипкі компоненти і клейстер — найбільш повно змішані, утворивши однорідну суміш для таблетування.

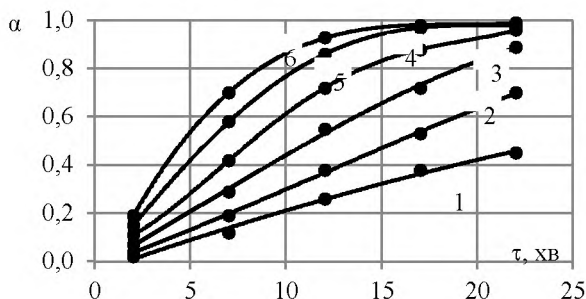


Рис. 3. Залежність ступеня однорідності таблетмаси від тривалості змішування при частоті обертання, об/хв: 1 — 17; 2 — 26; 3 — 35; 4 — 44; 5 — 53; 6 — 62

Зі збільшенням частоти обертання швидше відбувається рівномірний розподіл компонентів в об’ємі змішувача. Зокрема, при частоті обертання, яка перевищує 53 об/хв ступінь однорідності, близький до одиниці, досягається вже на 18 хв від початку перемішування.

З іншого боку, значення частоти обертання суттєво впливає на потужність, яка витрачається на змішування, а значить, і споживання електроенергії. Після моделювання у програмному комплексі Flow Vision отримані інтегральні значення сили опору руху робочих органів при різних частотах обертання. Використовуючи їх, обчислені чисельні значення потужності, необхідної для змішування (рис. 4). З урахуванням вартості електроенергії, яка для промислових споживачів на сьогодні становить 2,11303 грн/кВт·год, обчислені відповідні витрати V_1 .

Збільшення частоти обертання від 17 до 62 об/хв призводить до збільшення споживання електроенергії в 3,3 рази і, відповідно, до здорожчання продукції.

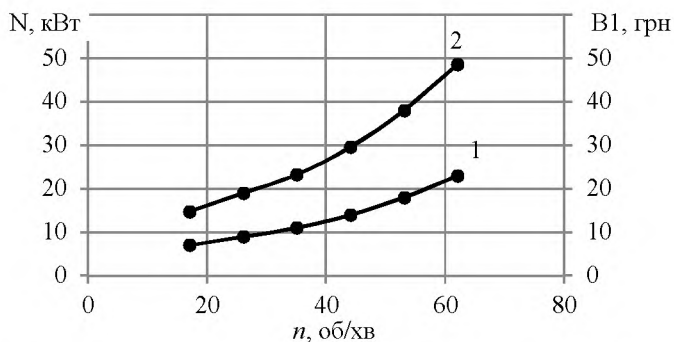


Рис. 4. Залежність потужності N , яка потрібна для змішування (1), і витрат на електроенергію V_1 (2), від частоти обертання швидкохідного ротора

Продуктивність змішувача як машини періодичної дії залежить від тривалості змішування, а та, у свою чергу, від частоти обертання роторів. Тому була розрахована продуктивність змішувача (рис. 5), яка зростає зі збільшенням

частоти обертання (крива 1). Збільшення продуктивності також сприятливо впливає на ефективність виробництва, знижуючи собівартість за рахунок скорочення загальнозаводських витрат V_2 (крива 2).

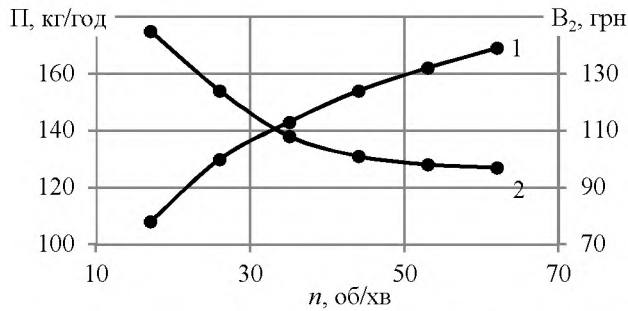


Рис. 5. Залежність продуктивності (1) і загальнозаводських витрат (2) від частоти обертання швидкохідного ротора

Отже, зміна частоти обертання робочих органів суттєво впливає на перебіг процесу та показники економічної ефективності виробництва. Для узагальнення цих даних побудовано рис. 6, який демонструє залежність сумарних витрат ($V = V_1 + V_2$) від частоти обертання швидкохідного ротора.

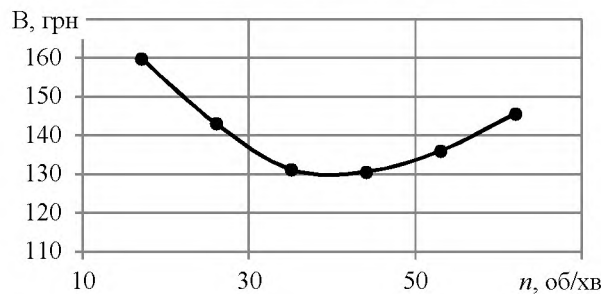


Рис. 6. Залежність сумарних витрат від частоти обертання швидкохідного ротора

Представлена залежність має мінімум, який відповідає частоті обертання 39 об/хв. Це значення, визначене графічно, є оптимальною частотою обертання швидкохідного ротора і забезпечить найкращий результат з точки зору якості перемішування та мінімізації економічних витрат при тривалості змішування 24 хв.

Інтенсивність змішування і швидкість обмінних процесів безпосередньо пов'язані зі швидкістю дисипації механічної енергії в місткості. Збільшення ступеня турбулентності системи, що досягається при перемішуванні, призводить до зменшення товщини пограничного шару, збільшення і безперервного поновлення поверхні фаз, які взаємодіють. Це викликає суттєве прискорення процесів тепло- і масообміну.

Швидкість дисипації турбулентної енергії в комплексі Flow Vision має розмірність $[m^2 \cdot s^{-3}]$. Для переведення розмірності цієї величини в загальноприйняту, Дж/с, розрахований інтегральний показник швидкості дисипації турбулентної енергії ϵ помножено на масу суміші. Отримуємо $E = 204$ Дж/с. Перетворення механічної енергії в теплову при перемішуванні не призводить до суттєвого підвищення температури суміші, яка збільшується на $0,7$ °C.

Висновки. Розподіл концентрації компонентів суміші для таблетування і, відповідно, ступінь її однорідності, суттєво залежить від частоти обертання швидкохідного ротора і тривалості процесу. За умови, що частота обертання перевищує 53 об/хв, для досягнення ступеня однорідності, близького до 1, процес має тривати 18 хв.

Однак такі режими роботи змішувача не є раціональними з економічної точки зору, оскільки, забезпечуючи більшу продуктивність, призводять до суттєвого збільшення енергоспоживання. Оптимальним значенням частоти обертання швидкохідного ротора черв'ячно-лопатевого змішувача є 39 об/хв. Цей показник забезпечить найкращий результат з точки зору якості перемішування та мінімізації економічних витрат при тривалості змішування 24 хв.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Berthiaux H.* Continuous mixing of powder mixtures with pharmaceutical process constraints / Henri Berthiaux, Khadija Marikh, Cendrine Gatamel // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. — 2008. — Volume 47, Issue 12. — P. 2315 — 2322.

2. *Mixing and Dissolution Processes of Pharmaceutical Bulk Materials in Stirred Tanks: Experimental and Numerical Investigations* / T. Hörmann, D. Suzzi, J.G. Khinast // *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2011, 50 (21). — P. 12011—12025.

3. *Hersey J.A.* Powder Mixing: Theory and Practice in Pharmacy / J. A. Hersey // *Powder Technology*. — 1976. — №15. — P. 149 — 153.

4. *Pharmaceutical Blending and Mixing* / P.J. Cullen, Rodolfo J. Romañach, Nicolas Abatzoglou, Chris D. Rielly // *Wiley Online Library*. — Published Online: 15 May 2015.

5. *Литовченко І.М.* Визначення раціональних параметрів первинного змішування компонентів в тістомісильних машинах / І.М. Литовченко, М.С. Шпак // *Харчова промисловість*. — 2008. — № 7. — С. 49—51.

6. *Литовченко І.Н.* Определение потребляемой мощности при замесе теста на основе учета сил сопротивления / И.Н. Литовченко, М.С. Шпак, С.В. Стефанов // *Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции*. Ч. 2. — С. 64—67.

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СМЕШИВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ СМЕСИ ДЛЯ ТАБЛЕТИРОВАНИЯ

Е. Чепелюк, А. Чепелюк, А. Губеня

Национальный университет пищевых технологий

Безопасность и эффективность лекарственных средств, в частности в твердой форме, прежде всего определяется дозой действующего вещества. В программном комплексе Flow Vision выполнены вычислительные эксперименты по определению влияния частоты вращения рабочего органа на степень однородности смеси для таблетирования, энергопотребление, производительность оборудования и, соответственно, финансовые затраты. Оптимальная частота вращения ротора составляет 39 об/мин. При этом установленное значение равномерного распределения концентрации компонентов достигается за 24 мин. Диссипация энергии в смесителе не приводит к существенному нагреву смеси.

Ключевые слова: смешивание, смесь для таблетирования, рабочий орган, частота вращения, энергозатраты.