

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРТИКАЛЬНИХ ШНЕКОВИХ ДОЗАТОРІВ ДЛЯ МАЛИХ ДОЗ

<https://doi.org/10.23939/istcipa2023.59.043>

О Гурський В. М., Боровець В. М., Черней А. Р., 2025

Мета. Обґрунтовано проєктне рішення та впроваджено у виробництво шнековий дозатор для малих доз дрібнодисперсних харчових продуктів. **Методика.** Під час проєктування використано базові методи розрахунку деталей машин сумісно з можливостями CAD і CAE систем. Експериментальні дослідження точності дозування встановлено на основі випадково відібраних 30 проб та методів математичної статистики. **Результати.** Запропоновано раціональні конструкції одно- та двопотокового вертикального шнекового дозатора, виконано комплекс перевірчих розрахунків на міцність та зменшення металомісткості базових елементів конструкції. Конструкція приводу базується на використанні керованих за частотою асинхронних електродвигунів з зубчато-пасовими передачами. Шнеки мають індивідуальні приводи, а рухи мішалки та міксерів синхронізовані на одному окремому приводі. **Наукова новизна.** Обґрунтовано конструкторське рішення вертикального шнекового дозатора, додатково оснащеного міксерами та мішалкою. Експериментально встановлено вплив на точність дозування умов роботи дозатора та його кінематичних характеристик. **Практична цінність.** Розроблено вертикальний шнековий дозатор для пакування в одинарний чи спарений м'які пакети, що може бути функціональним вузлом дозування пакувальних автоматів різних типів для дрібнодисперсних продуктів величиною дози до 20 г.

Ключові слова: дозування, дрібнодисперсний продукт, вертикальний шнековий дозатор, пакувальний автомат, точність дозування.

Вступ. Постановка проблеми

В Україні активно розвивається харчова промисловість, спостерігається зростання обсягів виробництва та розширення номенклатури продукції. Більша частина харчових продуктів може дозуватися за допомогою традиційних систем вагового типу, оснащених вібраційними конвеєрами [1]. В асортименті значного поширення набувають різноманітні спеції, приправи та кондитерські добавки для випічки. Ця категорія продуктів характеризується дрібнодисперсною структурою, схильністю до злежування та утворення грудок у процесі зберігання. Тому перед дозуванням такі матеріали потребують спеціальних умов зберігання – зокрема, підтримання оптимальних параметрів температури та вологості. Під час дозування зазначені продукти можуть налипати на робочі поверхні дозатора через високі адгезійні та когезійні властивості. Це призводить до порушення стабільності процесу дозування, що проявляється у зниженні точності та відхиленнях маси дози. У деяких випадках процес дозування значно ускладнюється або стає неможливим. Зазначені проблеми особливо актуальні під час фасування продукції у малих дозах. Традиційні системи дозування для таких матеріалів зазвичай реалізуються на основі шнекових механізмів із додатковими механічними збуджувачами або перемішувальними елементами. Завдяки цьому продукт підтримується у стані активного руху, що забезпечує більш рівномірну подачу, покращує умови дозування та дає змогу досягати малих доз із порівняно стабільною точністю.

Основними експлуатаційними характеристиками дозаторів є продуктивність, точність та величина дози. Ці параметри взаємопов'язані, що ускладнює процес їх дослідження та оптимізації. Зокрема, точність дозування визначається низкою чинників: конструктивними особливостями дозатора,

умовами роботи, фізико-механічними властивостями продукту, а також зовнішніми кліматичними параметрами. Тому більшу частину експлуатаційних характеристик доцільно визначати експериментально.

Очевидно, що для певної конструкції дозатора його технічні характеристики значною мірою залежать від кінематики виконавчих механізмів. На основі кінематичного аналізу можна розрахунковими методами визначити продуктивність дозатора та масу дози. Натомість показник точності потребує тривалих і детальних експериментальних досліджень [2] із подальшим статистичним аналізом результатів відповідно до принципів багатфакторного експерименту [3].

Мета та завдання роботи

Мета роботи – обґрунтування проєктного рішення, розроблення та аналіз точності шнекового дозатора для малих доз дрібнодисперсних харчових продуктів. Роботу виконано з урахуванням досвіду попередніх розробок [4–7] лабораторії НДЛ-40 Національного університету “Львівська політехніка”.

Основні завдання роботи:

- розроблення кінематичних схем та розрахунків кінематичних ланцюгів;
- розрахунок і проєктування основних вузлів шнекового дозатора;
- проєктування виконавчих елементів;
- розробка проєктної конструкторської документації та виготовлення дослідного взірця;
- експериментальний аналіз точності дозування.

Огляд інформаційних джерел

Проблематика проєктування шнекових дозаторів охоплює такі основні напрями. У [8] представлено вертикальний шнековий конвеєр із змінною секцією шнека, а також досліджено процес транспортування з використанням методу дискретних елементів (DEM). Результати показують, що об’ємна частка частинок на вході та масова витрата збільшуються в умовах змінної секції шнека, а швидкість обертання шнека має значний вплив на масову витрату. Очевидно, що конструкція змінної секції шнека забезпечує ефективний спосіб поліпшення швидкості подачі частинок та ефективності транспортування.

Цим же методом [9] досліджено, як умови експлуатації, а саме швидкість обертання шнека; нахил шнекового конвеєра та об’ємний рівень заповнення сипучого матеріалу впливають на продуктивність шнекового конвеєра. Моделювання DEM дає прогнози продуктивності шнекового конвеєра з погляду змін: швидкості частинок, масового потоку, розсіювання енергії та споживання енергії, що відбуваються внаслідок змін умов експлуатації.

Точність дозування шнекового дозуючого пристрою можна підвищити шляхом вимірювання та регулювання масового потоку, що дасть змогу зменшити витрати на виробництво упаковки [10].

В статті [11] встановлено модель гранулярної механіки для стабільного руху групи частинок матеріалу у вертикальному шнековому розвантажувачі з використанням гранулярної механіки, механіки суцільних середовищ та теорії груп частинок, а також запропоновано інноваційну гіпотезу про те, що швидкість групи частинок матеріалу змінюється радіально у спіральній канавці. Дослідження виявило тип вільної поверхні матеріалу поздовжнього перерізу конвеєра, а також методи його ідентифікації та вирішення, а також закон розподілу тиску групи частинок матеріалу на стінці конвеєрної труби та спіральній поверхні.

В [12] вивчається взаємодія між повітряним потоком і сипучими частинками низької щільності у вертикальних шнекових конвеєрах та її вплив на продуктивність транспортування. Оцінено вплив ключових експлуатаційних параметрів, зокрема швидкість шнека, швидкість заповнення і кут нахилу гвинтової спіралі, на масову витрату.

Виконано [13] дослідження впливу швидкості шнека, швидкості подачі, а також характеру і типу гранульованого матеріалу на продуктивність і енергоспоживання шнекового конвеєра, а пізніше визначення оптимальної швидкості. Результати показали, що зі збільшенням швидкості шнека продуктивність транспортування не завжди покращується; зі збільшенням швидкості подачі продуктивність транспортування покращується.

Проектований дозатор призначений для об'ємного дозування дрібнодисперсних продуктів, схильних до пиління, грудкування та налипання. Можливості дозатора обмежуються малими дозами невисокої продуктивності. Орієнтовна маса дози може становити 2–18 г [14]. У таких межах фасують спеції, прянощі та продукти кондитерської групи (табл. 1).

Таблиця 1

Продукти, що можуть дозуватися шнековим дозатором

Table 1

Products that can be dosed with a screw feeder

Продукт	Стандарт	Маса дози, г
Кисіль сухий	ТУ У 15.8-25189719-002:2006	31,5
Ванільний цукор	ТУ У 10.8-30664064-006:2015	10
Паприка	ТУ У 10.8-38983027-001:2014	15
Згущувач сметани харчовий	ТУ У 15.8-19125454-018-2003	12
Ванілін	ТУ У 24.6-33214039-013:2011	2
Ванільна цукрова пудра	ТУ У 10.8-38983027-007:2018	5
Кориця мелена	ТУ У 10.8-38983027-005:2016	15
Розпушувач тіста	ТУ У 15.8-33214039-006:2007	18

Основний тип упаковки – м'яка полімерна тара (рис. 1), що реалізується в автоматах вертикального типу.



Рис. 1. Фото упаковок малої дози

Fig. 1. Photo of low-dose packaging

Виклад основного матеріалу**1. Кінематика приводу дозатора**

Дозатор складається з рами, завантажувального бункера, механічної привідної частини та виконавчих елементів, до яких належать шнеки, змішувач і два міксери (рис. 2). Конструктивно передбачено два варіанти виконання дозатора – з одним або двома потоками дозування. У разі двопотокового варіанта на фасувальному автоматі здійснюється формування спареного пакету. Обертання шнеків забезпечується від електродвигунів Д1 типу АИР 56В4 УЗ ІМ1081 через зубчасто-пасові передачі з пасами типорозміру 210L100 та шківками із кількістю зубців 15/25. Міксери та змішувач приводяться в рух від окремого електродвигуна Д2 типу АИР 63В4 УЗ ІМ2081 через незалежні кінематичні ланцюги. Міксери обертаються синхронно на пустотілих валах, розташованих коаксіально зі шнеками. Передача крутного моменту до них здійснюється через верхню зубчасто-пасову передачу (пас 210L100, шківки 16/16) та циліндричну зубчасту передачу з модулем $m=2$ мм. Змішувач отримує обертання через нижню зубчасто-пасову передачу (пас

345L100, шківів 16/72) із натяжним шківом $z = 13$, який компенсує довжину пасу та забезпечує стабільне його натягнення. Шнеки розміщені в шнекових трубах, які з'єднані з вузлом формування пакета або безпосередньо з вихідним отвором готової упаковки.

Частоти обертання виконавчих елементів визначені відповідно до кінематичних ланцюгів:

- шнеки: $n_{\text{ш}} = n_1 \times \frac{15}{25} = 0,6 n_1$;
- міксери: $n_{\text{м}} = n_2 \times \frac{16}{16} \times 1 = n_2$;
- змішувач: $n_3 = n_2 \times \frac{16}{72} = 0,22 n_2$;

При цьому $\frac{n_{\text{м}}}{n_3} = \frac{72}{16} = 4,5$.

Для приводів виконавчих елементів використано синхронні зубчато-пасові передачі з кроком зубців $p = 9,525$ мм. Система керування асинхронними електродвигунами забезпечує зміну кінематичних характеристик, величини дози і продуктивності дозатору. Шківів спроєктовано з алюмінієвого сплаву АД 1015 відповідно до стандарту DIN ISO 5294: 13L100 (1 шт.), 15L100 (2 шт.), 16L100 (3 шт.), 25L100 (2 шт.), 72L100 (1 шт.).

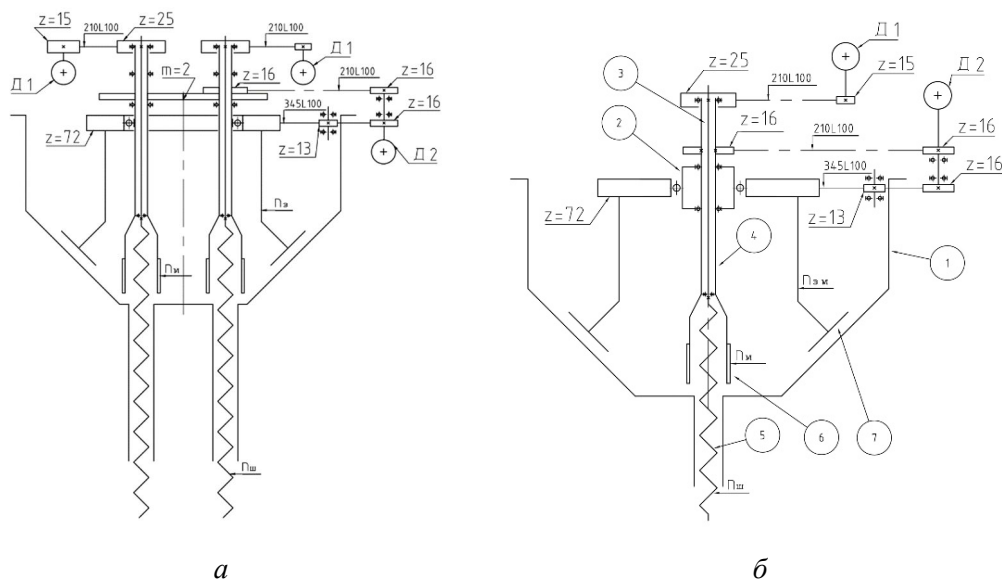
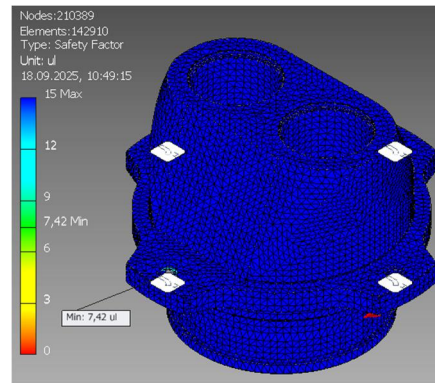
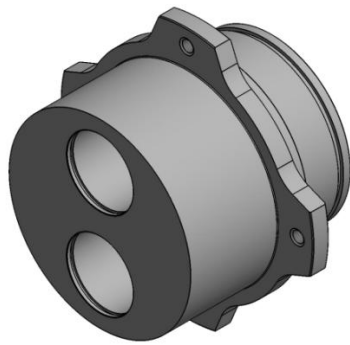


Рис. 2. Кінематичні схеми вертикальних шнекових дозаторів: а – двопотоковий; б – однопотоковий
Fig. 2. Kinematic diagrams of the vertical screw dispensers: a – dual-flow; b – single-flow

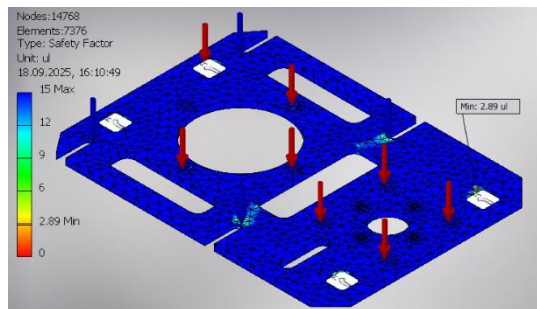
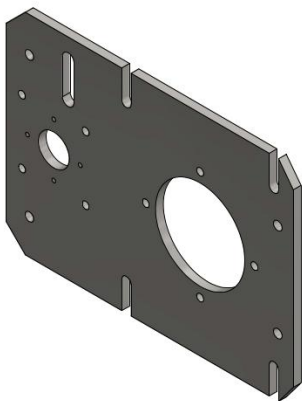
2. Проектування та розрахунок

Відповідно до розробленої кінематичної схеми дозатора виконано основні проєктні розрахунки: внутрішніх валів приводу обертання шнеків, зовнішніх валів приводу обертання міксерів, потужності електродвигунів приводів шнеків та змішувача.

Під час проєктування деталей застосовано принципи полегшення маси деталей на основі попереднього аналізу напружено деформованого стану. Водночас варіювався також матеріал деталей. На рис. 3 показано деталі корпусу та монтажну плиту, для яких усувався надлишковий матеріал. Зокрема, для корпусу визначено змінено базовий матеріал: сталь 10 на PC/ABS пластик з можливістю виготовлення деталі 3D-друком. Водночас коефіцієнт запасу міцності (за умови 100 % заповнення матеріалу) в деталі становитиме 7,42. Початкова маса для базового матеріалу становить 6,5 кг, кінцева маса виробу – 0,4 кг. Для монтажної плити, виготовленої зі сталі 10, початкова маса 6,6 кг зменшена до 4,5 кг із забезпеченням коефіцієнта запасу міцності до значення 2,9.



a



b

Рис. 3. Проектні рішення деталей (ліворуч) та результати їхнього розрахунку (праворуч):

a – корпус; б – монтажна плита

Fig. 3. Design solutions for parts (left) and the results of their calculation (right):

a – housing; b – mounting plate

Дозатор (рис. 4) складається зі зварної рами 2, на якій змонтовано привід 3, що забезпечує обертання двох шнеків, міксерів та змішувача. Конічний бункер 1 кріпиться до нижньої частини рами 2 через монтажну плиту. Об'єм бункера становить 45 л. Привід, встановлений на монтажній плиті, призначений для реалізації обертальних рухів шнеків 6, міксерів 5 і змішувача 4. Обертання шнеків здійснюється через зубчасту-пасову передачу, яка передає крутний момент на суцільний вал, розташований усередині пустотілого вала міксера. Привід пустотілих валів міксерів 5 реалізується від електродвигуна через верхню зубчасту-пасову передачу та циліндричну зубчасту пару. Привід змішувача 4 забезпечується тим самим електродвигуном через нижню зубчасту-пасову передачу. У нижній частині бункера встановлені розвантажувальні патрубки 7, у які шнеками подається дозований продукт. Електропривід шнеків обладнано системою контролю кута повороту на основі енкодерів, розташованих безпосередньо на вихідних валах електродвигунів. Кріплення шнеків 6 на приводних валах здійснюється за допомогою спеціального наконечника, штифта та пружини, що забезпечує надійну фіксацію та простоту демонтажу. Керування роботою дозатора здійснюється з електричної шафи керування, змонтованої на боковій стінці автомата. Бункер дозатора обладнано відкидною кришкою з оглядовим вікном, що забезпечує зручне завантаження продукту та візуальний контроль рівня. Процес дозування відбувається так: під час обертання насадок міксерів 5 і лопатей змішувача 4 продукт переміщується у гвинтову зону шнеків 6. Після виконання шнеками заданого кута повороту визначений об'єм продукту переміщується вздовж шнекових каналів і подається через розвантажувальні патрубки 7 у сформований пакет.

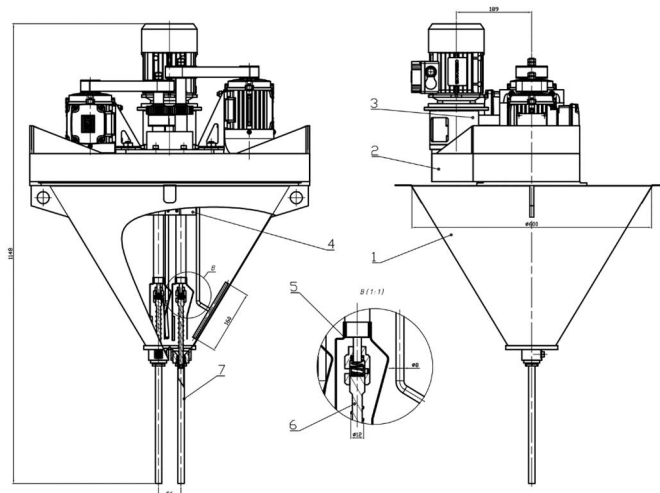


Рис. 4. Загальний вигляд дозатора
Fig. 4. General view of the dispenser

Основні вузли дозатора представлено на рис. 5. Бункер (рис. 5, а) та механічна частина (рис. 5, б) кріпляться до рами (рис. 5, в). Під час проектування та розрахунку міцність рами досягнуто з коефіцієнтом запасу 3,35 (рис. 6) за умови її консольного закріплення та статичного навантаження величиною 1 кН у місцях кріплення монтажної плити.

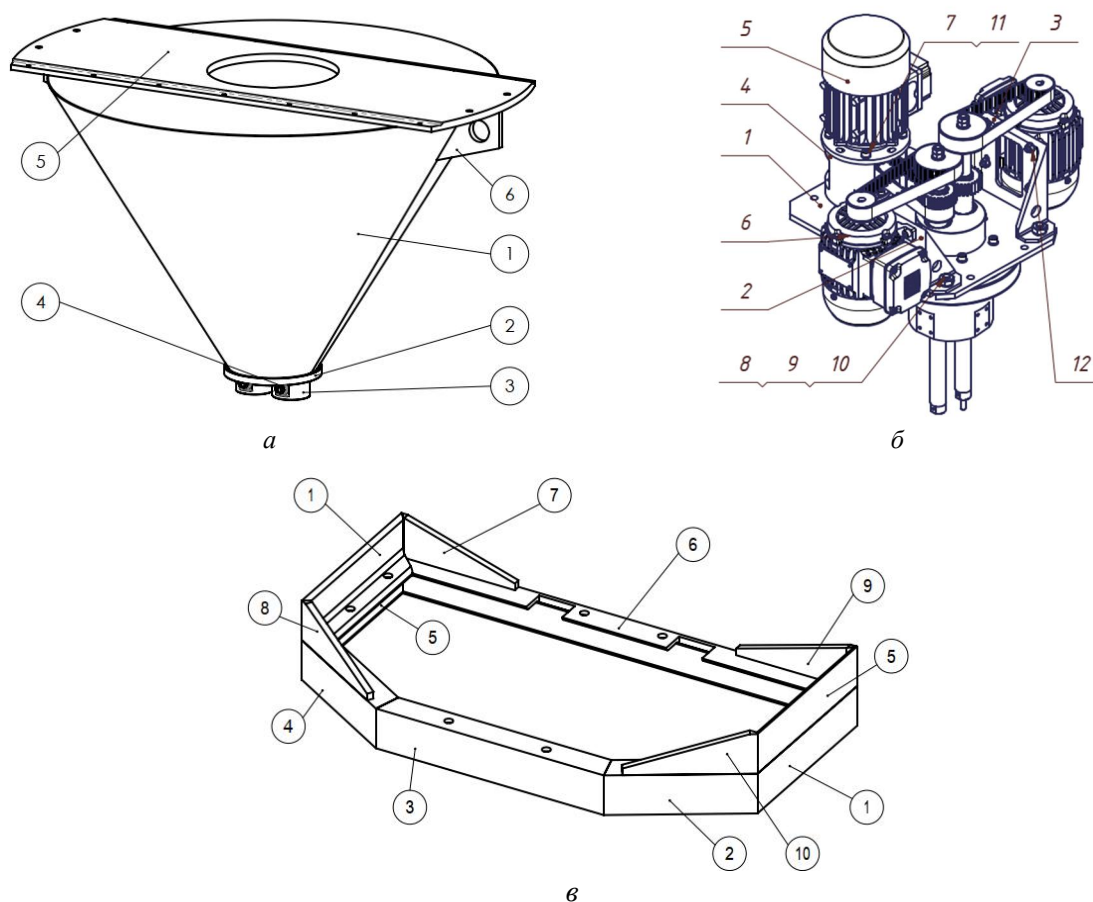


Рис. 5. Основні вузли дозатора: а – конічний бункер; б – механічний привод; в – рама
Fig. 5. Main components of the dispenser: a – conical hopper; b – mechanical drive; c – frame

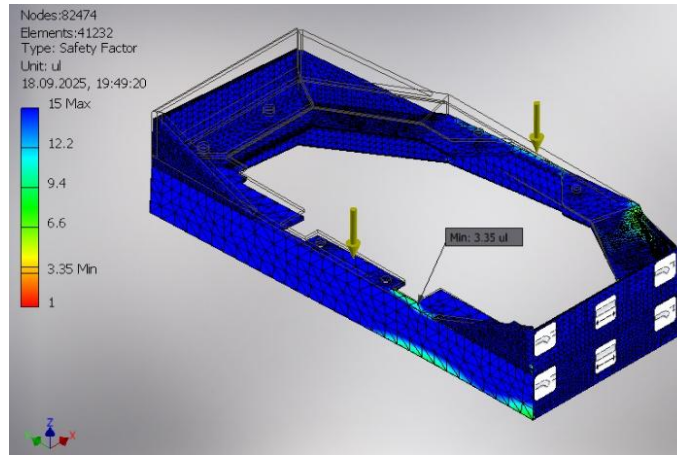


Рис. 6. Результат розрахунку коефіцієнта запасу міцності рами дозатора
Fig. 6. Result of calculating the safety factor of the dispenser frame

Шнеки (рис. 7, а) мають розміри $\Delta_{\text{зовн.}}$, $\Delta_{\text{внутр.}}$ крок – робоча довжина. Використано розміри шнеків, відповідно до продуктів, що дозуються: для ваніліну – $\Delta_{\text{I3'}}$ $\Delta_{\text{B'}}$ 12 – 140 мм, для дріжджів сухих мелених – $\Delta_{\text{I3'}}$ $\Delta_{\text{B'}}$ 10 – 470 мм. Передання крутного моменту здійснюється через штифт.

Для ефективного змішування продукту в шнековій зоні використовують міксери (рис. 7, б), а для запобігання налипання продукту до стінок використовують мішалку лопатевого типу (рис. 7, в). Конструктивно мішалка – це збірна конструкція на основі центрального барабану та чотирьох лопатей з гладкого стержня $\Delta_6 \dots 8$ мм, які виконано нахиленими відповідно до кута нахилу стінки бункера.

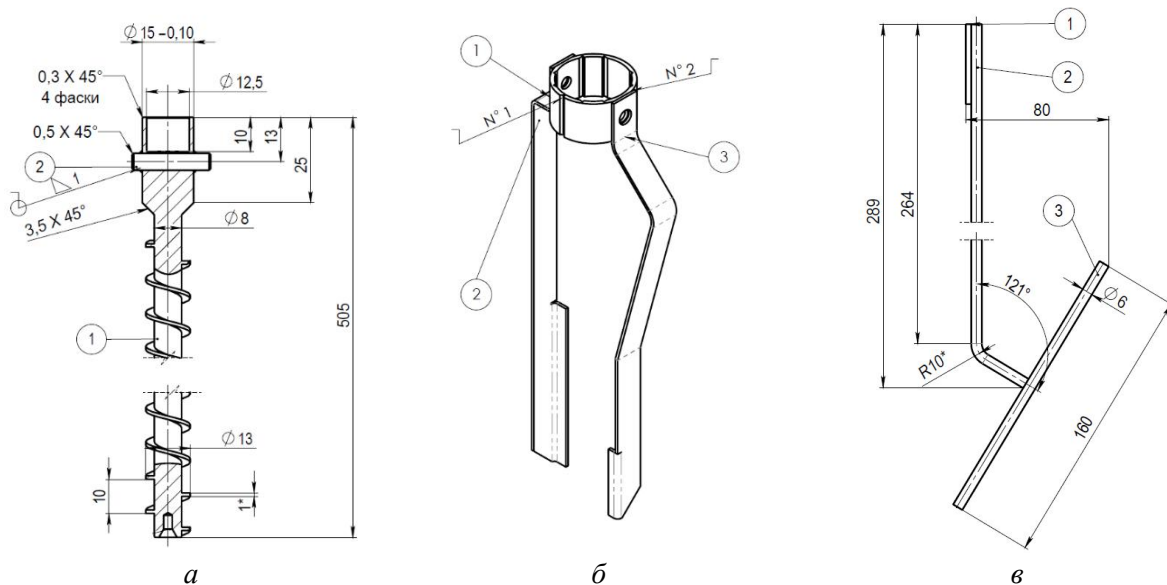


Рис. 7. Виконавчі елементи дозатора: а – шнек; б – міксер; в – лопать мішалки
Fig. 7. Executive elements of the dispenser: a – screw; b – mixer; c – agitator blade

Для зручності обслуговування дозатор встановлюється на підйомно-поворотній стійці (рис. 8), що забезпечує вертикальне переміщення дозатора на величину 120 мм та його поворот на кут $\pm 90^\circ$. Потрібне положення та фіксування дозатора стосовно напрямних планок пакувального автомата забезпечується за допомогою ручки та гвинта. Конічний бункер можна від'єднати від рами та очистити внутрішню поверхню у кінці робочої зміни або у разі зміни продукту дозування.

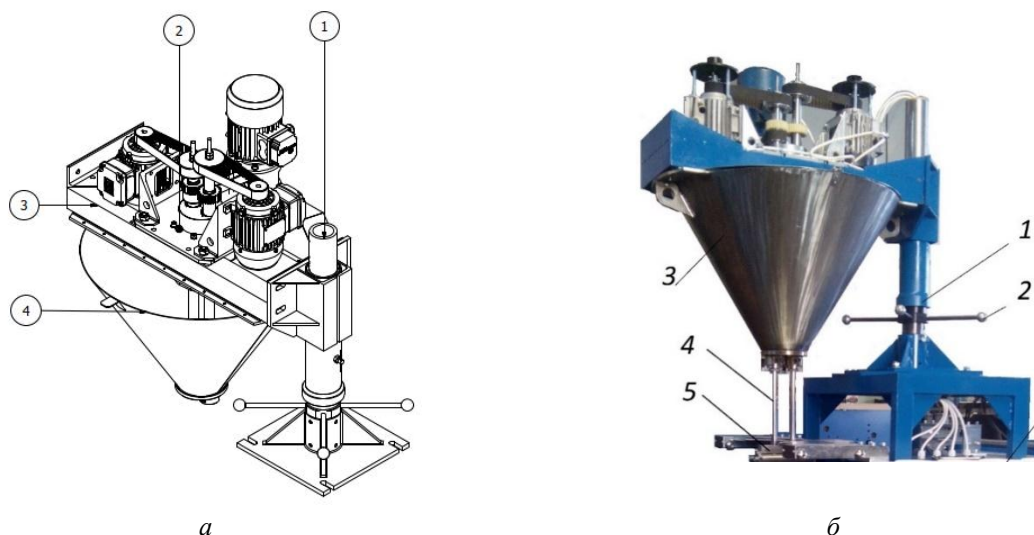


Рис. 8. Дозатор зі стійкою: а – 3D-модель; б – світлина
 Fig. 8. Dispenser with stand: a – 3D-model; b – photo

Фасувальний автомат з об'ємним шнековим дозатором є конструкцією, що складається з двох з'єднаних між собою зварних тумб каркасного типу (рис. 9). Основні функціональні групи виконані як окремі універсальні збірні вузли, що можуть бути замінені відповідно до типу дозатора, розмірів пакету та величини дози.



Рис. 9. Світлини пакувального автомату з шнековим дозатором
 Fig. 9. Photos of a packaging machine with a screw dispenser

3. Дослідження точності дозування.

Точність дозування є однією з основних експлуатаційних характеристик дозаторів. На її величину впливає значна кількість випадкових чинників, пов'язаних з особливостями руху продукту, а також можливими змінами його фізико-механічних властивостей під час процесу дозування. На практиці зазвичай спостерігається відхилення маси окремих доз продукту від номінального значення

в певних межах із характерною повторюваністю. Водночас маса дози повинна забезпечуватися із допустимим відхиленням. Наприклад, для ванільної цукрової пудри номінальне значення становить $M = 5 \text{ г} \pm 3 \% (\pm 0,15 \text{ г})$.

Величину відхилення маси дози визначали шляхом статистичної обробки результатів серії експериментальних досліджень, що охоплювали 30 випадкових вибірових проб [4]. Для порівняння розглядалися дві серії експериментів: серія № 1 – дозування з увімкненими мішалкою та міксером; серія № 2 – дозування без роботи мішалки та міксерів (рис. 10).

Унаслідок проведених експериментів отримано характерні відхилення маси доз із певною повторюваністю, що дає змогу оцінити стабільність процесу дозування. Узагальнені результати наведено в табл. 2 і табл. 3.

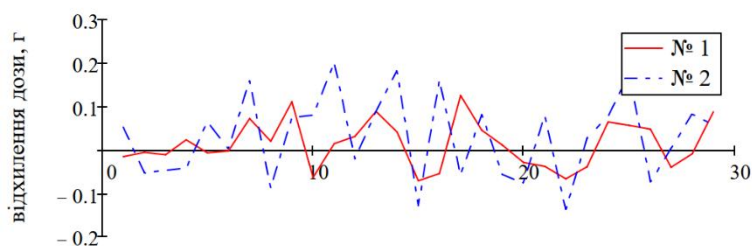


Рис. 10. Набір відхилень доз для двох серій експериментів
Fig. 10. Set of dose deviations for two series of experiments

Таблиця 2

Серія експериментів № 1 (мішалку та міксер увімкнено)

Table 2

Series of experiments No. 1 (stirrer and mixer turned on)

№ з/п	Відхилення маси дози m_i , г	Кількість доз
1	0,11	1
2	0,06	10
3	0,01	8
4	-0,04	7
5	-0,05	3
6	-0,06	1
Всього доз:		30

Середнє арифметичне значення відхилення маси дози:

$$m_{c1} = \frac{\sum_i [m_i \times N_i]}{\sum_i N_i} = 0,01 \text{ г},$$

де $\sum_i N_i = 30$ – сумарна кількість відібраних проб під час експерименту.

Середньоквадратичне відхилення маси дози:

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum_i [(m_i - m_{c1})^2 \times N_i]}{\sum_i N_i}} = 0,048 \text{ г}.$$

Дослідна крива розподілення кількості доз з відповідним відхиленням маси, що побудована у вигляді ламаної лінії, може бути подана за нормальним законом розподілу Гауса випадкових величин за залежністю:

$$y_1(x) = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - m_{c1})^2}{2\sigma_1^2}} = 8,367 e^{-219,94 \times (x - 0,01)^2}.$$

Графічні залежності ймовірного розподілу відхилення маси дози представлено на рис. 11. Поле розсіювання випадкових величин (граничний діапазон відхилення дози) можна визначити таким способом: $3\sigma_1 = 0,143$ г.

На підставі цього, за формулою можна встановити граничне значення похибки дозування:

$$T\% = \frac{3\sigma_1}{M \times \%} = 2,9 \, \%.$$

Наявні досліди показують, якщо ввімкнено мішалку та міксер, дозатор забезпечує потрібну точність.

За аналогією проведено дослідження, коли вимкнені мішалка та міксер (табл. 3). Водночас допустима похибка становитиме 5,6 %, що є неприйнятним.

Таблиця 3

Серія експериментів № 2 (мішалку та міксер ввімкнено)

Table 3

Series of experiments No. 2 (stirrer and mixer turned off)

№ з/п	Відхилення маси дози m_i , г	Кількість доз
1	0,15	5
2	0,12	5
3	0,10	4
4	0,04	5
5	-0,04	3
6	-0,05	2
7	-0,06	1
8	-0,08	2
9	-0,12	3
Всього доз:		30

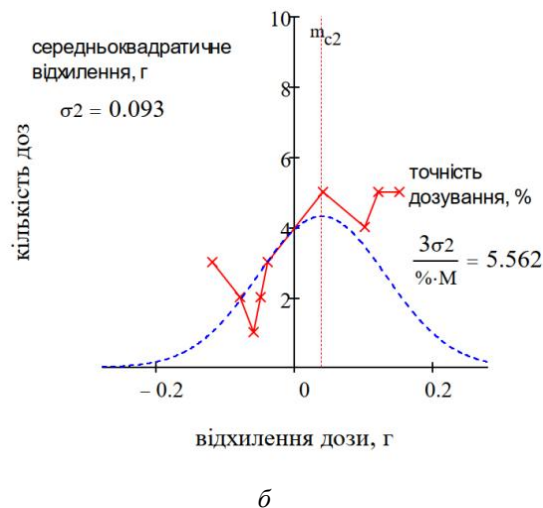
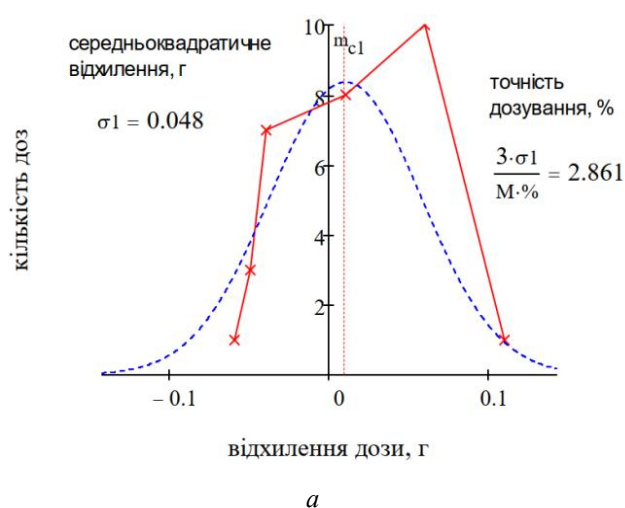


Рис. 11. Криві розподілу:
дослідні криві похибок дозування (суцільна лінія), криві нормального розподілу (штрихова лінія):
а – допустима точність дозування (серія № 1); б – недопустима точність дозування (серія № 2)

Fig. 11. Distribution curves
experimental dosage error curves (solid line), normal distribution curves (dashed line):
а – acceptable dosing accuracy (series No. 1); б – unacceptable dosing accuracy (series No. 2)

Висновки

Розроблено та впроваджено у виробництво нову конструкцію шнекового дозатора з автоматом для пакування дрібнодисперсних харчових продуктів масою дози до 20 г. Під час розробки дозатора виконано комплекс розрахунків, спрямованих на досягнення раціональної конструкції з відповідно достатніми коефіцієнтами запасу міцності та зменшення маси металоємких вузлів. Експериментальні дослідження точності встановили доцільність використання додаткових механічних актуаторів у вигляді міксерів та мішалки для забезпечення точності малих доз.

Інформаційні джерела

1. Gurskyi V. Determination of kinematic and dynamic characteristics of a reversible vibratory conveyor with an electromagnetic drive / V. Gurskyi, V. Korendiy, P. Krot, O. Dyshev // *Vibroengineering Procedia*. 2024. Т. 55. Р. 138–144. DOI: 10.21595/vp.2024.24403
2. Кацан В. І. Дослідно-статистична оцінка функціональної точності роботи фасувально-закупорювальної машини марки фасана 30/08 за якістю виробу. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій. Тернопіль, 25–26 листопада 2015.
3. Дмитрів В. Т. Застосування теорії розмірностей в дослідженнях дозаторів сипких матеріалів за багатфакторного експерименту / В. Т. Дмитрів, О. Я. Саган, Р. В. Городняк // *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. 2024. Вип. 57. С. 13–20.
4. Кобилюх Б. П. Дослідження точності автоматичного дозування фотохімікату метолу / Б. П. Кобилюх, І. В. Гончарова, В. М. Бочков // *Автоматизація виробничих процесів*. 1993. Вип. 31. С. 51–53.
5. Шоловій Ю. П. Покращання експлуатаційних показників шибєрних дозаторів для сипких матеріалів, схильних до налипання / Ю. П. Шоловій, С. В. Яхимович // *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. 2005. Вип. 39. С. 110–113.
6. Шоловій Ю. П. Аналіз витікання дрібнодисперсного сипкого матеріалу з конічної лунки бункера / Ю. П. Шоловій, Н. І. Магерус // *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. 2017. Вип. 51. С. 108–116.
7. Гаврильченко О. В. Проектування фасувальних пристроїв для високопродуктивних пакувальних машин / О. В. Гаврильченко, В. М. Боровець, В. М. Гурський // *Упаковка*. 2008. № 3. С. 38–39.
8. Yuan J. Dynamic characteristic analysis of vertical screw conveyor in variable screw section condition / J. Yuan, M. Li, F. Ye, Z. Zhou // *Science Progress*. 2020. Vol. 103, No. 3. P. 1–16. DOI: 10.1177/0036850420951056
9. Owen P. J. Prediction of screw conveyor performance using the Discrete Element Method (DEM) / P. J. Owen, P. W. Cleary // *Powder Technology*. 2009. Vol. 193, No. 3. P. 274–288. DOI: 10.1016/j.powtec.2009.03.012
10. Kruppa F. Increasing the dosing accuracy of a screw dosing device by inline measurement of the product density / F. Kruppa, U. Weiß, B. Oberdorfer, B. Wilke // *Packaging Technology and Science*. 2023. Vol. 36, No. 3. P. 185–194. DOI: 10.1002/pts.2703
11. Mei L. The Mechanical Research of Vertical Screw Conveyor Particle Group Based on the Radial Change of Material Speed / L. Mei, C. Cheng, Z. Fan // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1952, No. 3. P. 032026. DOI: 10.1088/1742-6596/1952/3/032026
12. Mei X. Simulation and Optimization of Conveying Parameters for Vertical Screw Conveyor Based on CFD + DEM / X. Mei, Y. Xue, L. Zhang // *Fluids*. 2025. Vol. 10, No. 7. P. 171. DOI: 10.3390/fluids10070171
13. Mei X., Determination of the optimal working performance matching through theoretical analysis and experimental study for a screw conveyor / X. Mei, Y. Xue, L. Zhang // *PLoS One*. 2022. Vol. 17, No. 6. P. e0266948. DOI: 10.1371/journal.pone.0266948
14. <http://www.yamuna.com.ua/yamuna/confectionery-group>

JUSTIFICATION OF THE DESIGN OF VERTICAL SCREW FEEDERS FOR SMALL DOSES

Purpose. A design solution was substantiated and a screw dispenser for small doses of finely dispersed food products was put into production. **Methodology.** During the design process, basic methods for calculating machine parts were used in conjunction with the capabilities of CAD and CAE systems. Experimental studies of dosing accuracy were established on the basis of 30 randomly selected samples and methods of mathematical statistics. **Results.** Rational designs of single- and double-flow vertical screw dispensers were proposed, and a set of verification calculations was performed for strength and reduction of metal consumption of basic structural elements. The drive design is based on the use of frequency-controlled asynchronous electric motors with gear-belt transmissions. The screws have individual drives, and the movements of the agitator and mixers are synchronized on a single separate drive. **Scientific novelty.** The design solution for a vertical screw feeder, additionally equipped with mixers and a stirrer, has been substantiated. The influence of the operating conditions of the feeder and its kinematic characteristics on the accuracy of dosing has been experimentally established. **Practical value.** A vertical screw feeder has been developed for packaging in single or paired soft bags, which can be a functional dosing unit for various types of packaging machines for finely dispersed products with a dose size of up to 20 g.

Keywords: dosage, finely dispersed product, vertical screw feeder, automatic packaging machine, dosage accuracy.

References

1. Gurskyi, V. Determination of kinematic and dynamic characteristics of a reversible vibratory conveyor with an electromagnetic drive / V. Gurskyi, V. Korendiy, P. Krot, O. Dyshev // *Vibroengineering Procedia*. 2024. Vol. 55. P. 138–144. DOI: 10.21595/vp.2024.24403
2. Katsan, V. I. Doslidno-statystychna otsinka funktsionalnoi tochnosti roboty fasuvalno-zakuporiuvainoi mashyny marky fasana 30/08 za yakistiu vyrobu. Materialy IV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv. Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohii. Ternopil, 25–26 lystopada. 2015.
3. Dmytriv, V. T. Zastosuvannia teorii rozmirnostei v doslidzhenniakh dozatoriv sypkyykh materialiv za bahatofaktornoho eksperymentu / V. T. Dmytriv, O. Ya. Sahan, R. V. Horodniak // *Avtomatyzatsiia vyrobnychyykh protsesiv u mashynobuduvanni ta pryladobuduvanni*. 2024. Vyp. 57. S. 13–20.
4. Kobyliukh, B. P. Doslidzhennia tochnosti avtomatychnoho dozuvannia fotokhimikatu metolu / B. P. Kobyliukh, I. V. Honcharova, V. M. Bochkov // *Avtomatyzatsiia vyrobnychyykh protsesiv*. 1993. Vyp. 31. S. 51–53.
5. Sholovii, Yu. P. Pokrashchannia ekspluatatsiinykh pokaznykiv shybernykh dozatoriv dlia sypkyykh materialiv, skhlynykh do nalypannia / Yu. P. Sholovii, S. V. Yakhymovych // *Avtomatyzatsiia vyrobnychyykh protsesiv u mashynobuduvanni ta pryladobuduvanni*. 2005. Vyp. 39. S. 110–113.
6. Sholovii, Yu. P. Analiz vytykannia dribnodispersnoho sypkoho materialu z konichnoi lunky bunkera / Yu. P. Sholovii, N. I. Maherus // *Avtomatyzatsiia vyrobnychyykh protsesiv u mashynobuduvanni ta pryladobuduvanni*. 2017. Vyp. 51. S. 108–116.
7. Havrylchenko, O. V. Proektuvannia fasuvalnykh prystroiv dlia vysokoproduktyvnykh pakuvalnykh mashyn / O. V. Havrylchenko, V. M. Borovets, V. M. Hurskyi // *Upakovka*. 2008. No. 3. P. 38–39.
8. Yuan, J. Dynamic characteristic analysis of vertical screw conveyor in variable screw section condition / J. Yuan, M. Li, F. Ye, Z. Zhou // *Science Progress*. 2020. Vol. 103, No. 3. P. 1–16. DOI: 10.1177/0036850420951056
9. Owen, P. J. Prediction of screw conveyor performance using the Discrete Element Method (DEM) / P. J. Owen, P. W. Cleary // *Powder Technology*. 2009. Vol. 193, No. 3. P. 274–288. DOI: 10.1016/j.powtec.2009.03.012
10. Kruppa, F. Increasing the dosing accuracy of a screw dosing device by inline measurement of the product density / F. Kruppa, U. Weiß, B. Oberdorfer, B. Wilke // *Packaging Technology and Science*. 2023. Vol. 36, No. 3. P. 185–194. DOI: 10.1002/pts.2703
11. Mei, L. The Mechanical Research of Vertical Screw Conveyor Particle Group Based on the Radial Change of Material Speed / L. Mei, C. Cheng, Z. Fan // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1952, No. 3. P. 032026. DOI: 10.1088/1742-6596/1952/3/032026
12. Mei, X. Simulation and Optimization of Conveying Parameters for Vertical Screw Conveyor Based on CFD + DEM / X. Mei, Y. Xue, L. Zhang // *Fluids*. 2025. Vol. 10, No. 7. P. 171. DOI: 10.3390/fluids10070171
13. Mei, X., Determination of the optimal working performance matching through theoretical analysis and experimental study for a screw conveyor / X. Mei, Y. Xue, L. Zhang // *PLoS One*. 2022. Vol. 17, No. 6. P. e0266948. DOI: 10.1371/journal.pone.0266948
14. <http://www.yamuna.com.ua/yamuna/confectionery-group>