

SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF VOLUME BATCHER OF BULK MATERIALS

I. Dudarev, S. Panasyuk, I. Taraymovich

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine



ABSTRACT

Dosing of bulk materials is an important technological process in the feed production. The components portions are formed during this process for feeding into the mixer. The batcher is an intermediate link between the bulk material hopper and the mixer. The mixture quality depends on the coordinated operation of all devices of this technological system. The efficiency of the batcher depends on compliance of required regime of material loading from the hopper, which is characterized by the flow rate of bulk material from unloading orifice. Volume batchers are the most common; these batchers are continuous and discrete types. Substantiating of the volume batcher technological parameters needs that the batcher design, the flow rate of bulk material from the hopper to the batcher and the component portion volume, that must be formed for feeding into the mixer, be taken into account. Analysis of bulk material flow from the hopper orifice allowed obtaining the equations for determining the velocity of bulk material flow which passes through the loading orifice into the working chamber of the batcher. Also, theoretical equations were obtained that allow calculating the flow rate of bulk material to the working chamber (cell) of the batcher and the mass of bulk material portion which is formed by the batcher. In addition, the equation was obtained that defines a relationship between the flow rate of bulk material from the hopper, the design and technological parameters of the volume batcher and the volume of the component portion that must be formed for feeding into the mixer. The technological parameters of the volume batcher allow ensuring the coordinated operation of the technological system "hopper – volume batcher - mixer".

Key words:

batcher of bulk materials,
batcher calculation,
batcher parameters,
portion of bulk material,
dosing of bulk materials

Article history:

Received 20.05.2020

Accepted 26.06.2020

Corresponding author:

i_dudarev@ukr.net

УДК 631.363

**ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ОБ'ЄМНОГО ДОЗАТОРА СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ****І.М. Дударев, С.Г. Панасюк, І.В. Тараймович**

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

**Ключові слова:**

дозатор сипких матеріалів,
розрахунок дозатора,
параметри дозатора,
порція сипкого матеріалу,
дозування сипких матеріалів

Історія публікації:

Отримано 20.05.2020

Затверджено 26.06.2020

**Автор для
листування:**

i_dudarev@ukr.net

АНОТАЦІЯ

Дозування сипких матеріалів є важливою технологічною операцією, під час якої формуються порції компонентів для подачі у змішувач. Дозатор є проміжною ланкою між бункером сипкого матеріалу та змішувачем. Від злагодженої роботи усіх ланок цієї технологічної системи залежить якість суміші. Ефективність роботи дозатора залежить від отримання необхідного режиму надходження матеріалу із бункера, що характеризується швидкістю витікання матеріалу із отвору бункера. Найбільш поширеними є об'ємні дозатори, які бувають неперервної та дискретної дії. Під час обґрунтування параметрів дозатора необхідно врахувати його конструктивні особливості, швидкість витікання сипкого матеріалу із бункера та об'єм порції, яку необхідно сформувати для подачі у змішувач. Аналіз способів витікання сипкого матеріалу із бункера дозволив отримати залежність для визначення швидкості потоку матеріалу при його проходженні через завантажувальну щілину змінної площі із бункера в робочу камеру дозатора. У результаті досліджень отримані залежності, що дозволяють розрахувати подачу сипкого матеріалу в робочу камеру об'ємного дозатора та масу порції матеріалу. Також встановлено зв'язок між швидкістю витікання сипкого матеріалу із бункера, конструктивними і технологічними параметрами дозатора та об'ємом порції, яку необхідно сформувати для подачі у змішувач. Отримані параметри дозатора забезпечують злагоджену роботу системи "бункер – дозатор – змішувач".

<https://doi.org/10.36910/acm.vi45.309>

Стан питання та постановка проблеми

У комбікормовому виробництві, переробній та харчовій галузях промисловості під час приготування сумішей сипких матеріалів важливим є узгодження технологічних параметрів дозаторів сипких матеріалів із відповідними параметрами змішувача, оскільки від їх злагодженої роботи залежить якість суміші. У свою чергу, ефективність роботи дозатора залежить від дотримання необхідного режиму надходження матеріалу із бункера, що характеризується швидкістю витікання сипкого матеріалу із вивантажувального отвору [1]. Таким чином, для узгодження технологічних параметрів бункера, дозатора та змішувача, необхідно їх розглядати як єдину технологічну систему: бункер – дозатор – змішувач.

Відомі два основних способи дозування сипких матеріалів – за об'ємом та масою. Найбільш поширеними є об'ємні дозатори, які бувають неперервної та дискретної дії [2 – 5]. До дозаторів дискретної дії відносяться барабанні дозатори, що містять на поверхні барабана комірки різної форми та розміру, які заповнюються порціями сипкого матеріалу певного об'єму, що надходить із бункера. На процес витікання сипких матеріалів із бункера впливають фізико-механічні властивості матеріалу, характеристики зовнішнього середовища (температура, відносна вологість повітря) та геометричні параметри бункера (кут нахилу стінок та днища бункера до горизонталі, розмір та форма вихідного отвору, матеріал бункера тощо) [6]. Розрізняють нормальне, суцільне та гідравлічне витікання сипкого матеріалу із бункера [7]: нормальне витікання має місце, якщо кут нахилу до горизонту стінок бункера перед вивантажувальним отвором становить 45–55°, відповідно, рухаються лише частинки матеріалу в зоні стовпа над вивантажувальним отвором; якщо кут нахилу до горизонту стінок бункера становить 70–80°, тоді спостерігається суцільного витікання матеріалу, тобто рухаються одночасно усі частинки матеріалу; гідравлічне витікання із бункера має місце лише у випадку, якщо сипкий матеріал дуже аерований чи насичений вологою.

Результати аналізу та дослідження процесу витікання сипких матеріалів із бункера представлені в наукових працях [7 – 11], зокрема, у роботі [7] запропонована залежність для визначення швидкості нормального витікання сипкого матеріалу із бункера:

$$V_m = \lambda \sqrt{2g \left(1,6R_z - \frac{\tau_0}{f\rho} \right)}, \quad (1)$$

де V_m – швидкість потоку сипкого матеріалу за його нормального витікання із бункера, м/с; λ – коефіцієнт витікання (для добре сипких

матеріалів $\lambda = 0,55-0,65$); g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ; R_z – гідравлічний радіус, м ; τ_0 – початковий опір зсуву, Па ; f – коефіцієнт внутрішнього тертя сипкого матеріалу; ρ – насипна густина сипкого матеріалу, кг/м^3 .

Залежність (1) справедлива, якщо виконується умова $R_z \geq a'$ (де a' – параметр, що характеризує розмір частинки матеріалу, м). Якщо врахувати, що для добре сипких матеріалів, які мають дрібну фракцію, $\tau_0 = 0$ та $a' = kd_{\text{екв}}$. (де k – емпіричний коефіцієнт ($k = 1,25-1,70$); $d_{\text{екв}}$ – діаметр частинки матеріалу або її еквівалентний діаметр, м), тоді із залежності (1) матимемо:

$$V_m = \lambda \sqrt{3,2gR_z}. \quad (2)$$

Для прямокутного вивантажувального отвору бункера гідравлічний радіус можна розрахувати за виразом [7]:

$$R_z = \frac{(h_{\text{от.}} - a')(l_{\text{от.}} - a')}{2(h_{\text{от.}} + l_{\text{от.}} - 2a')}, \quad (3)$$

де $h_{\text{от.}}$ – ширина вивантажувального отвору бункера, м ; $l_{\text{от.}}$ – довжина вивантажувального отвору бункера, м .

Із урахуванням виразу (3), швидкість потоку сипкого матеріалу на виході із вивантажувального отвору бункера становитиме:

$$V_m = \lambda \sqrt{1,6g \frac{(h_{\text{от.}} - kd_{\text{екв.}})(l_{\text{от.}} - kd_{\text{екв.}})}{(h_{\text{от.}} + l_{\text{от.}} - 2kd_{\text{екв.}})}}. \quad (4)$$

Еквівалентний діаметр частинки сипкого матеріалу згідно [12]:

$$d_{\text{екв.}} = \sqrt[3]{a_m \cdot b_m \cdot c_m}, \quad (5)$$

де a_m , b_m , c_m – відповідно, довжина, ширина та товщина частинки сипкого матеріалу, м .

Також еквівалентний діаметр частинки сипкого матеріалу можна визначити за формулою [13]:

$$d_{\text{екв.}} = k_{\phi} \cdot \xi_{\text{с.г.р.}}, \quad (5)$$

де k_{ϕ} – коефіцієнт форми реальної частинки сипкого матеріалу (частинка у формі: сфери – $k_{\phi} = 1$; циліндра – $k_{\phi} = 1,14$; параболічної бочки – $k_{\phi} = 0,47$; еліпсоїда – $k_{\phi} = 0,73$); $\xi_{\text{с.г.р.}}$ – середній геометричний розмір реальної частинки, м .

У технологічній системі “бункер – дозатор – змішувач” відомими є технологічні параметри: швидкість V_m потоку сипкого матеріалу у вивантажувальному отворі бункера та об’єм V_n порції сипкого матеріалу, що необхідний для завантаження у змішувач. Для злагодженої роботи цієї технологічної системи необхідно узгодити між собою ці параметри. Зробити це можна шляхом об’єднання

технологічних параметрів дозатора, за яких при надходженні у дозатор сипкого матеріалу зі швидкістю потоку V_m буде забезпечено формування порції матеріалу об'ємом V_n . Таким чином, дослідження, які передбачають обґрунтування технологічних параметрів об'ємного дозатора, є актуальними.

Мета дослідження – обґрунтування технологічних параметрів об'ємного дозатора сипких матеріалів.

Матеріали і методи

Теоретичні дослідження базувалися на основних положеннях теоретичної механіки. Під час дослідження припускали, що частинки сипкого матеріалу проходять через завантажувальну щілину із бункера в робочу камеру дозатора суцільним потоком, площа поперечного перерізу якого рівна площі щілини. Також припускали, що усі частинки сипкого матеріалу мають однакову форму, розміри та фізико-механічні властивості.

Результати дослідження та обговорення

Для дозування сипких матеріалів широко використовують об'ємні барабанні дозатори, що містять різну кількість робочих камер (комірок). Робочі камери виконують: напівциліндричної форми (рис. 1, а); циліндричної або паралелепіпедної форми (рис. 1, б); у вигляді наскрізного паза циліндричної або паралелепіпедної форми з рухомим поршнем всередині (рис. 1, в) [14].

Розглянемо процес завантаження сипкого матеріалу із бункера в робочу камеру дозатора, яка має прямокутний переріз. Для спрощення розрахунків розглядатимемо барабан дозатора, який містить одну робочу камеру (комірку) (рис. 2, а). Нехай, барабан дозатора обертається із сталою кутовою швидкістю ω . Під час обертання барабана дозатора його робоча камера періодично сполучається із завантажувальним патрубком, що має прямокутний переріз, внаслідок чого сипкий матеріал із бункера через патрубок надходить у робочу камеру. Внаслідок обертання барабана ширина h завантажувальної щілини між завантажувальним патрубком та робочою камерою змінюється, а довжина завантажувальної щілини залишається постійною та рівною l . У момент входження робочої камери барабана дозатора в зону завантаження та в момент виходу із неї ширина завантажувальної щілини рівна $h = 0$. Найбільше значення ширини завантажувальної щілини досягається у момент, коли робоча камера опиняється у вертикальному положенні (за умови, що ширина робочої камери рівна ширині завантажувального патрубка і він розташований вертикально) та становить $h = H$.

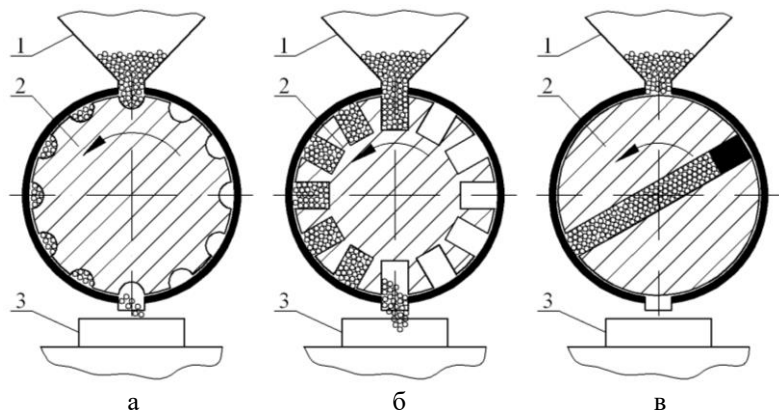


Рис. 1 – Схеми об'ємних дозаторів сипких матеріалів:
 а – з комірками напівциліндричної форми; б – з комірками
 циліндричної або паралелепіпедної форми; в – з пазом циліндричної
 або паралелепіпедної форми із рухомих поршнем
 1 – бункер; 2 – об'ємний дозатор; 3 – змішувач

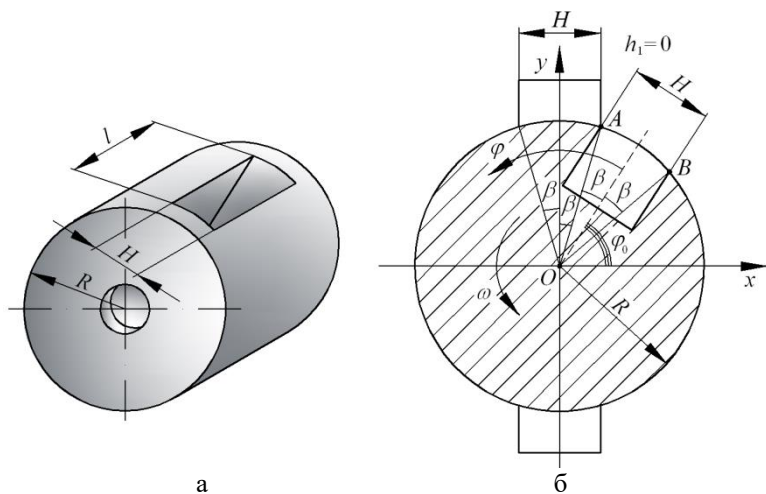


Рис. 2 – Схеми барабана дозатора:
 а – барабан дозатора з робочою камерою прямокутного перерізу;
 б – розрахункова схема барабана при $\varphi = 0$

Визначимо, яким чином змінюється ширина робочої камери. У площині рис. 2, б позначимо верхні краї робочої камери через A та B . Розташуємо нерухому систему координат xu з початком координат на осі обертання барабана в площині рис. 2, б. Нехай, у початковий момент вісь симетрії робочої камери розташована під кутом φ_0 до горизонту. Визначимо, як змінюється координата точки A по осі x під час обертання барабана на кут $0 \leq \varphi \leq \beta$, тобто під час переміщення точки A з початкового положення у положення, коли вона буде розташована на осі y :

$$x_A = R \cos(\varphi_0 + \beta + \varphi), \quad (6)$$

де x_A – координата точки A по осі x , м; R – радіус барабана дозатора, м; φ_0 – кут, що визначає нахил осі симетрії робочої камери до горизонту у початковий момент, град.; β – кут між віссю симетрії робочої камери (у площині рис. 2, б) та відрізком $OA = R$, град.; φ – кут повороту барабана дозатора, який відкладається у напрямку обертання барабана від початкового положення осі симетрії робочої камери, град.

Ширини завантажувальної щілини збільшується в межах інтервалу $0 \leq \varphi \leq 2\beta$ та досягає найбільшого значення $h = H$ за кута обертання барабана $\varphi = 2\beta$. Ширина потоку сипкого матеріалу через завантажувальну щілину на інтервалі $0 \leq \varphi \leq \beta$ визначається за залежністю (рис. 3, а):

$$h_1 = \frac{H}{2} - x_A = \frac{H}{2} - R \cos(\varphi_0 + \beta + \varphi), \quad (7)$$

де h_1 – ширина потоку сипкого матеріалу (ширина завантажувальної щілини) через завантажувальну щілину на інтервалі $0 \leq \varphi \leq \beta$, м; H – ширина робочої камери та завантажувального патрубку, м.

На інтервалі $\beta \leq \varphi \leq 2\beta$ ширина потоку сипкого матеріалу через завантажувальну щілину дозатора визначається також за залежністю (7), урахуваючи, що значення координати x_A на цьому інтервалі від'ємне (рис. 3, б).

Оскільки кут $\varphi = \omega t$, тоді для інтервалу часу $0 \leq t \leq 2\beta/\omega$ матимемо:

$$h_1 = \frac{H}{2} - R \cos(\varphi_0 + \beta + \omega t), \quad (8)$$

де ω – кутова швидкість обертання барабана дозатора, рад./с; t – час повороту барабана дозатора, с.

Площа поперечного перерізу потоку сипкого матеріалу через завантажувальну щілину на інтервалі часу $0 \leq t \leq 2\beta/\omega$ становитиме:

$$S_1 = lh_1 = l \left(\frac{H}{2} - R \cos(\varphi_0 + \beta + \omega t) \right), \quad (9)$$

де S_1 – площа поперечного перерізу потоку сипкого матеріалу (площа завантажувальної щілини) через завантажувальну щілину на інтервалі часу $0 \leq t \leq 2\beta/\omega$, м²; l – товщина потоку сипкого матеріалу (довжина завантажувальної щілини), м.

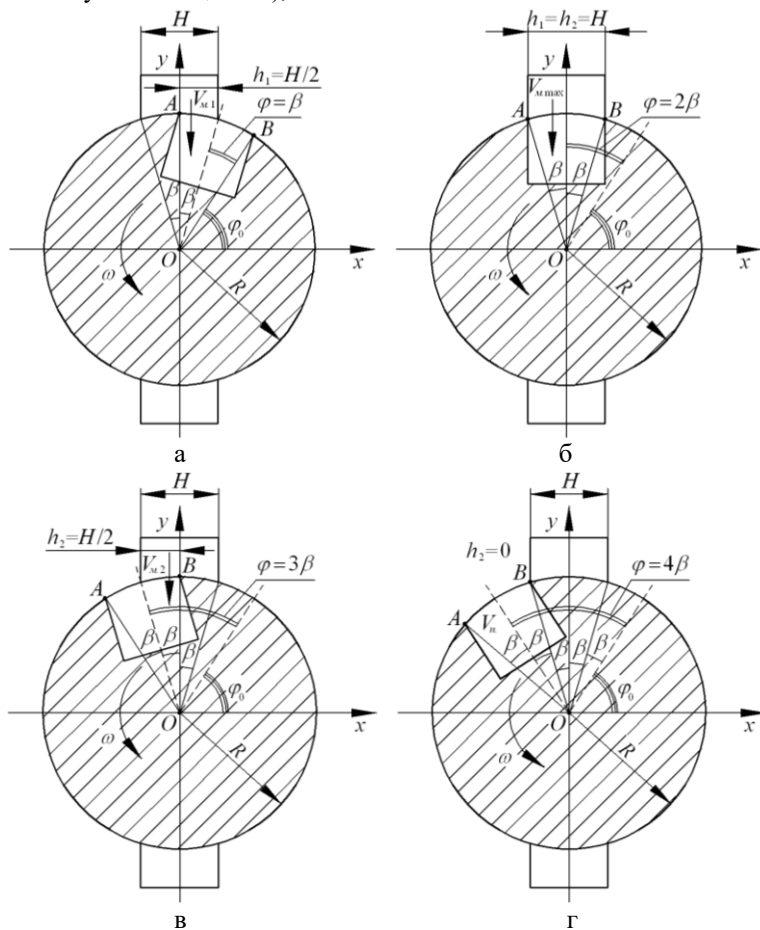


Рис. 3 – Розрахункові схеми барабана дозатора:
а – при $\varphi = \beta$; б – при $\varphi = 2\beta$; в – при $\varphi = 3\beta$; г – при $\varphi = 4\beta$

Подача сипкого матеріалу через завантажувальну щілину у робочу камеру дозатора на інтервалі часу $0 \leq t \leq 2\beta/\omega$ становитиме:

$$Q_1 = S_1 \rho V_{m,1}, \quad (10)$$

де Q_1 – подача сипкого матеріалу через завантажувальну щілину у робочу камеру дозатора на інтервалі часу $0 \leq t \leq 2\beta/\omega$, кг/с; ρ – насипна густина сипкого матеріалу, кг/м³; $V_{m.1}$ – швидкість проходження потоку сипкого матеріалу через завантажувальну щілину у робочу камеру дозатора на інтервалі часу $0 \leq t \leq 2\beta/\omega$, м/с.

Нехай, зі збільшенням площі S_1 завантажувальної щілини швидкість $V_{m.1}$ проходження потоку сипкого матеріалу через неї у робочу камеру зростає за лінійною залежністю від 0 до найбільшого значення $V_{m.max}$, що досягається, коли ширина щілини $h_1 = H$, тобто у момент часу $t = 2\beta/\omega$. Таким чином, швидкість проходження потоку сипкого матеріалу через завантажувальну щілину у робочу камеру на інтервалі часу $0 \leq t \leq 2\beta/\omega$ становитиме:

$$V_{m.1}(t) = at + b, \quad (11)$$

ураховуючи, що за $t = 0$ швидкість потоку матеріалу рівна $V_{m.1} = 0$ та за $t = 2\beta/\omega$ швидкість потоку рівна $V_{m.1} = V_{m.max}$, визначимо a та b :

$$a = \frac{\omega V_{m.max}}{2\beta} \quad \text{та} \quad b = 0, \quad (12)$$

$$V_{m.1}(t) = \frac{\omega V_{m.max} t}{2\beta}, \quad (13)$$

де $V_{m.max}$ – найбільше значення швидкості потоку сипкого матеріалу, яке досягається в момент вертикального розташування робочої камери дозатора, м/с.

Ураховуючи отримані залежності та $\varphi_0 = \frac{\pi}{2} - 2\beta$, визначимо масу сипкого матеріалу, яка надійде через завантажувальну щілину у робочу камеру дозатора на інтервалі часу $0 \leq t \leq 2\beta/\omega$:

$$\begin{aligned} m_1 &= \int_0^{2\beta/\omega} Q_1(t) dt = \\ &= \frac{l\rho\omega V_{m.max}}{2\beta} \int_0^{2\beta/\omega} \left(\frac{Ht}{2} - Rt \sin(\beta) \cos(\omega t) + Rt \cos(\beta) \sin(\omega t) \right) dt, \end{aligned} \quad (14)$$

де m_1 – маса сипкого матеріалу, який надійде через завантажувальну щілину у робочу камеру дозатора на інтервалі часу $0 \leq t \leq 2\beta/\omega$, кг.

Після інтегрування (14), отримаємо:

$$m_1 = \frac{l\rho V_{m.max} R}{2\beta\omega} \left[\frac{H\beta^2}{R} - (2\beta \sin(2\beta) + \cos(2\beta)) \sin \beta + \right. \\ \left. + (\sin(2\beta) - 2\beta \cos(2\beta)) \cos \beta + \sin(\beta) \right]. \quad (15)$$

Розглянемо процес завантаження робочої камери дозатора сипким матеріалом під час обертання барабана на кут $2\beta \leq \varphi \leq 4\beta$. Як було зазначено, завантажувальна щілина має найбільшу ширину за вертикального розташування робочої камери дозатора, тобто за значення кута $\varphi = 2\beta$. При подальшому обертанні барабана із робочою камерою відбувається зменшення ширини завантажувальної щілини та в момент, коли кут обертання барабана рівний $\varphi = 4\beta$, ширина щілини рівна $h_2 = 0$ (щілина зникає). Визначимо, як змінюється координата точки B по осі x під час обертання барабана дозатора на кут $2\beta \leq \varphi \leq 3\beta$ (рис. 3, в):

$$x_B = R \cos(\varphi_0 + \beta + \varphi - 2\beta) = R \cos(\varphi_0 - \beta + \varphi), \quad (16)$$

де x_B – координата точки B по осі x , м.

Ширина потоку сипкого матеріалу через завантажувальну щілину на інтервалі $2\beta \leq \varphi \leq 3\beta$ визначається за залежністю:

$$h_2 = H - \left(\frac{H}{2} - x_B \right) = \frac{H}{2} + R \cos(\varphi_0 - \beta + \varphi) \quad (17)$$

де h_2 – ширина потоку сипкого матеріалу (ширина завантажувальної щілини) через завантажувальну щілину на інтервалі $2\beta \leq \varphi \leq 3\beta$, м.

На інтервалі $3\beta \leq \varphi \leq 4\beta$ ширина потоку сипкого матеріалу через завантажувальну щілину визначається також за залежністю (17), урахувавши, що значення x_B на цьому інтервалі від'ємне (рис. 3, г).

Оскільки $\varphi = \omega t$, тоді для інтервалу часу $2\beta/\omega \leq t \leq 4\beta/\omega$ матимемо:

$$h_2 = \frac{H}{2} + R \cos(\varphi_0 - \beta + \omega t). \quad (18)$$

Площа поперечного перерізу потоку сипкого матеріалу через завантажувальну щілину на інтервалі часу $2\beta/\omega \leq t \leq 4\beta/\omega$:

$$S_2 = l h_2 = l \left(\frac{H}{2} + R \cos(\varphi_0 - \beta + \omega t) \right), \quad (19)$$

де S_2 – площа поперечного перерізу потоку сипкого матеріалу (площа завантажувальної щілини) через завантажувальну щілину на інтервалі часу $2\beta/\omega \leq t \leq 4\beta/\omega$, м².

Подача сипкого матеріалу через завантажувальну щілину у робочу камеру дозатора на інтервалі часу $2\beta/\omega \leq t \leq 4\beta/\omega$ становитиме:

$$Q_2 = S_2 \rho V_{m,2}, \quad (20)$$

де Q_2 – подача сипкого матеріалу через завантажувальну щілину у робочу камеру дозатора на інтервалі часу $2\beta/\omega \leq t \leq 4\beta/\omega$, кг/с; $V_{m,2}$ – швидкість проходження потоку сипкого матеріалу через

завантажувальну щілину у робочу камеру дозатора на інтервалі часу $2\beta/\omega \leq t \leq 4\beta/\omega$, м/с.

Нехай, зі зменшенням площі S_2 завантажувальної щілини швидкість $V_{m,2}$ проходження потоку сипкого матеріалу через неї у робочу камеру зменшується за лінійною залежністю від $V_{m,\max}$ до 0, що досягається, коли ширина щілини $h_2 = 0$, тобто у момент часу $t = 4\beta/\omega$. Таким чином, швидкість проходження потоку сипкого матеріалу через щілину у робочу камеру на інтервалі часу $2\beta/\omega \leq t \leq 4\beta/\omega$ становитиме:

$$V_{m,2}(t) = at + b. \quad (21)$$

Ураховуючи, що за час $t = 2\beta/\omega$ швидкість потоку – $V_{m,2} = V_{m,\max}$ та за час $t = 4\beta/\omega$ швидкість потоку рівна $V_{m,2} = 0$, визначимо a та b :

$$a = -\frac{\omega V_{m,\max}}{2\beta} \quad \text{та} \quad b = 2V_{m,\max}, \quad (22)$$

$$V_{m,2}(t) = V_{m,\max} \left(2 - \frac{\omega t}{2\beta} \right). \quad (23)$$

Ураховуючи отримані залежності та $\varphi_0 = \frac{\pi}{2} - 2\beta$, визначимо масу сипкого матеріалу, яка надійде через завантажувальну щілину у робочу камеру дозатора на інтервалі часу $2\beta/\omega \leq t \leq 4\beta/\omega$:

$$\begin{aligned} m_2 &= \int_{2\beta/\omega}^{4\beta/\omega} Q_2(t) dt = \\ &= l\rho V_{m,\max} \int_{2\beta/\omega}^{4\beta/\omega} \left(\frac{H}{2} + R \sin(3\beta) \cos(\omega t) - R \cos(3\beta) \sin(\omega t) \right) \left(2 - \frac{\omega t}{2\beta} \right) dt, \end{aligned} \quad (24)$$

де m_2 – маса сипкого матеріалу, який надійде через завантажувальну щілину у робочу камеру дозатора на інтервалі часу $2\beta/\omega \leq t \leq 4\beta/\omega$, кг.

Після інтегрування (24), отримаємо:

$$m_2 = \frac{l\rho V_{m,\max} R}{\omega} \left[\begin{aligned} &\frac{H\beta}{2R} - \sin(3\beta) \sin(2\beta) - \cos(3\beta) \cos(2\beta) + \\ &+ \frac{\sin(3\beta)}{2\beta} (\cos(2\beta) - \cos(4\beta)) + \\ &\frac{\cos(3\beta)}{2\beta} (\sin(4\beta) - \sin(2\beta)) \end{aligned} \right]. \quad (25)$$

Об'єм робочої камери дозатора, який необхідно заповнити сипким матеріалом, або об'єм порції матеріалу, який необхідно пропустити через робочу камеру за проміжок часу $0 \leq t \leq 4\beta/\omega$:

$$V_n = V_{n.1} + V_{n.2} = \frac{1}{\rho} (m_1 + m_2), \quad (26)$$

де V_n – об'єм робочої камери дозатора (об'єм порції матеріалу), який необхідно заповнити сипким матеріалом, м³; $V_{n.1}$ – об'єм порції сипкого матеріалу масою m_1 , м³; $V_{n.2}$ – об'єм порції сипкого матеріалу масою m_2 , м³.

Необхідно зауважити, що за прийнятих допущень стосовно лінійної закономірності зміни швидкості V_m потоку сипкого матеріалу через завантажувальну щілину, матимемо $m_1 = m_2$ та $V_{n.1} = V_{n.2}$.

У загальному випадку для спрощення запису виразів (15) та (25), проведемо заміни:

$$T_1 = \left[\begin{array}{l} \frac{H\beta^2}{R} - (2\beta \sin(2\beta) + \cos(2\beta))\sin\beta + \\ + (\sin(2\beta) - 2\beta \cos(2\beta))\cos\beta + \sin(\beta) \end{array} \right], \quad (27)$$

$$T_2 = \left[\begin{array}{l} \frac{H\beta}{2R} - \sin(3\beta)\sin(2\beta) - \cos(3\beta)\cos(2\beta) + \\ + \frac{\sin(3\beta)}{2\beta}(\cos(2\beta) - \cos(4\beta)) + \\ \frac{\cos(3\beta)}{2\beta}(\sin(4\beta) - \sin(2\beta)) \end{array} \right]. \quad (28)$$

Ураховуючи заміни, матимемо:

$$m_1 = \frac{l\rho V_{m,\max} R}{2\beta\omega} T_1 \text{ та } m_2 = \frac{l\rho V_{m,\max} R}{\omega} T_2. \quad (29)$$

Після підстановки виразів (29) у рівняння (26) та відповідних перетворень, матимемо:

$$\omega = \frac{lV_{m,\max} R}{V_n} \left(\frac{T_1}{2\beta} + T_2 \right). \quad (30)$$

Залежність (30) дозволяє визначити якою має бути кутова швидкість ω обертання барабана дозатора для того, щоб забезпечити формування необхідної за об'ємом порції сипкого матеріалу V_n із урахуванням конструктивних параметрів дозатора. Значення найбільшої швидкості $V_{m,\max}$ потоку сипкого матеріалу для підстановки у залежність (30) розраховується за формулою (4) із урахуванням форми частинок матеріалу і приймаючи $h_{om} = H$ та $l_{om} = l$.

Для прикладу, визначимо, якою має бути кутова швидкість ω обертання барабана дозатора для того, щоб забезпечити формування в робочій камері порції вапняку кормового, що використовується під час

виробництва преміксів, об'ємом $V_n = 3,897 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$. Нехай, відомі $\lambda = 0,6$, $k = 1,3$, $d_{\text{екв.}} = 0,001 \text{ м}$, $\rho = 1400 \text{ кг/м}^3$, $l = 0,02 \text{ м}$, $H = 0,01 \text{ м}$, $R = 0,03 \text{ м}$, а також $\beta = \arcsin(H/2R)$. За результатами розрахунків побудовані графічні залежності $h_1(t)$, $h_2(t)$, $V_{m.1}(t)$, $V_{m.2}(t)$, $S_1(t)$, $S_2(t)$, $Q_1(t)$, $Q_2(t)$ на рис. 4 і отримані значення параметри: $\beta = 0,167 \text{ рад.}$; $V_{m.\text{max}} = 0,183 \text{ м/с}$; $m_1 = 2,728 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$; $m_2 = 2,728 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$; $\omega = 2,1 \text{ рад./с}$.

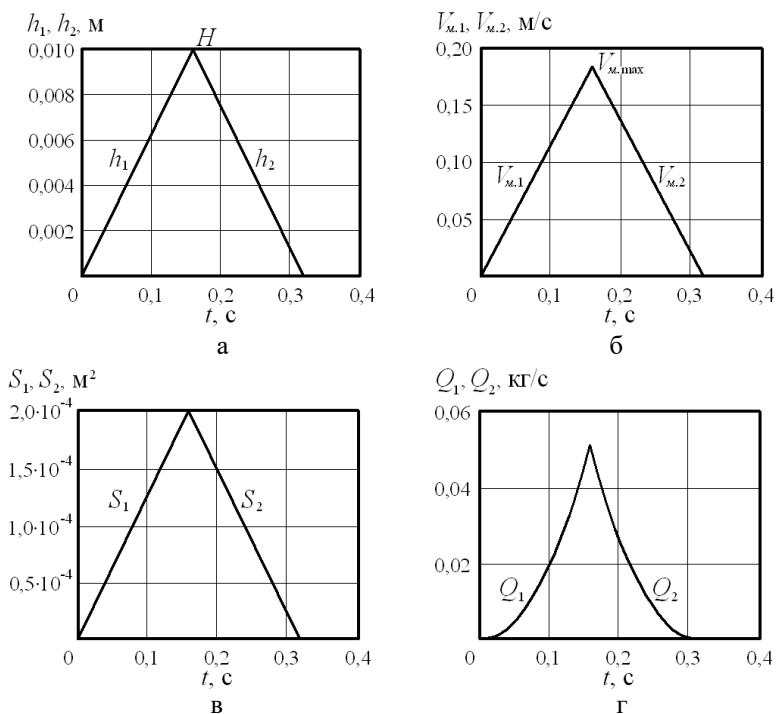


Рис. 4 – Графічні залежності:

- а – ширини потоку сипкого матеріалу від часу $h_1(t)$, $h_2(t)$;
- б – швидкості потоку сипкого матеріалу від часу $V_{m.1}(t)$, $V_{m.2}(t)$;
- в – площі поперечного перерізу потоку сипкого матеріалу (площі завантажувальної щілини) від часу $S_1(t)$, $S_2(t)$;
- г – подачі сипкого матеріалу від часу $Q_1(t)$, $Q_2(t)$

Також розрахуємо кутову швидкість обертання барабана дозатора для сипких матеріалів (за параметрів: $V_n = 7,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$; $\lambda = 0,6$; $k = 1,5$; $l = 0,1 \text{ м}$; $H = 0,05 \text{ м}$; $R = 0,18 \text{ м}$; $\beta = 0,139 \text{ рад.}$): овес ($d_{\text{екв.}} = 0,002 \text{ м}$;

$\rho = 500 \text{ кг/м}^3$; $V_{m.\max} = 0,423 \text{ м/с}$) – $\omega = 0,51 \text{ рад./с}$; гранули трав'яного борошна ($d_{\text{екв.}} = 0,007 \text{ м}$; $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$; $V_{m.\max} = 0,394 \text{ м/с}$) – $\omega = 0,48 \text{ рад./с}$; вика ($d_{\text{екв.}} = 0,005 \text{ м}$; $\rho = 650 \text{ кг/м}^3$; $V_{m.\max} = 0,406 \text{ м/с}$) – $\omega = 0,49 \text{ рад./с}$.

Висновки

Під час виробництва сумішей сипких матеріалів дозатор матеріалу є проміжною ланкою в технологічному процесі між бункером, в якому зберігається матеріал, та змішувачем, де відбувається змішування сформованих дозатором порцій компонентів. Від злагодженої роботи усіх ланок цієї технологічної системи залежить якість суміші, тому обґрунтування технологічних параметрів дозатора необхідно проводити із урахуванням його конструктивних параметрів, швидкості витікання сипкого матеріалу із бункера та об'єму порції сипкого матеріалу, яку необхідно сформувати для подачі у змішувач, що, в свою чергу, залежить від співвідношення компонентів в суміші та способу змішування компонентів у змішувачі. Аналіз способів витікання сипкого матеріалу із бункера дозволив отримати залежність для визначення швидкості потоку матеріалу при його проходженні через завантажувальну щілину змінної площі із бункера в робочу камеру дозатора. У результаті теоретичних досліджень були отримані залежності, що дозволяють розрахувати подачу сипкого матеріалу в робочу камеру (комірку) об'ємного дозатора та масу порції матеріалу, що формується дозатором. Крім того, отримано залежність, яка встановлює зв'язок між швидкістю витікання сипкого матеріалу із бункера, конструктивними і технологічними параметрами дозатора та об'ємом порції, яку необхідно сформувати для подачі у змішувач. Таким чином, технологічні параметри дозатора, які розраховані за отриманими залежностями, дозволяють забезпечити злагоджену роботу технологічної системи “ бункер – дозатор – змішувач ”.

Список посилань

1. Стаценко, В.В., Біла, Т.Я., Бурмістенков, О.П. (2018). Аналіз руху сипкого матеріалу на виході бункерів. Вісник КНУТД, 4(124), 85–95. <http://doi.org/10.30857/1813-6796.2018.4.9>
2. Глобин, А.Н., Краснов, И.Н. (2016). Дозаторы: монография. Дирент-Медиа, Москва – Берлин, 384.
3. Aufderheide, D., Di Matteo, L. (2017). A framework for the classification of bulk material dosing equipment in the cement sector. Global Cement Magazine, February, 30–33.
4. Blackshields, C.A., Crean, A.M. (2018). Continuous powder feeding for pharmaceutical solid dosage form manufacture: A short review. Pharmaceutical

- Development and Technology, 23(6), 554–560. <http://doi.org/10.1080/10837450.2017.1339197>
5. Hsiao, W.-K., Hormann, T.R., Toson, P., Paudel, A., Ghiotti, P., Stauffer, F., Bauer, F., Lakio, S., Behrend, O., Mauer, R., Holman, J., Khinast, J. (2020). Feeding of particle-based materials in continuous solid dosage manufacturing: a material science perspective. *Drug Discovery Today*, 25(4), 800–806. <http://doi.org/10.1016/j.drudis.2020.01.013>
 6. Савенков, Д.Н. (2015). Повышение равномерности выгрузки зерновых материалов из бункеров с боковым выпускным отверстием [Диссертация канд. техн. наук]. ФГБОУВПО “Донской государственный технический университет”, Ростов-на-Дону, 186.
 7. Зенков, Р.Л., Гриневич, Г.П., Исаев, В.С. (1977). Бункерные устройства. Машиностроение, Москва, 224.
 8. Кунаков, В.С., Савенков, Д.Н., Испанов, В.В. (2014). Скорость истечения зерновых материалов из бункера с боковым выпускным отверстием. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, 2, 73–75.
 9. Тимолянов, К.А. (2016). Параметры и режимы работы сводоразрушающего устройства для выгрузки зерна различной влажности из бункеров с боковым выпускным отверстием [Диссертация канд. техн. наук]. ФГБОУВО “Донской государственный технический университет”, Ростов-на-Дону, 193.
 10. Ловейкін, В.С., Шимко, Л.С., Ярошенко, В.В. (2010). Огляд досліджень витоку сипких матеріалів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 40(1), 324–333.
 11. Сергеев, Н.С., Николаев, В.Н. (2010). Истечение сыпучих кормов из бункера многокомпонентного вибрационного дозатора. *Достижение науки и техники АПК*, 10, 65–67.
 12. Гячев, Л.В. (1968). Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах. Машиностроение, Москва, 184.
 13. Богомягих, В.А., Несмиян, А.Ю. (2015). Функционирование бункеров максимального расхода в условиях сводообразующего истечения зерновых материалов: монография. Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ в г. Зернограде, Зерноград, 179.
 14. Дударев, І.М. (2020). Об'ємний дозатор для сипких матеріалів. Патент № 140926, Україна.