

РУХ ЧАСТИНОК У КОВШІ З РУХОМИМ ДНИЩЕМ ПІВКРУГЛОЇ ФОРМИ

**В.М. Михайлов, С.В. Удовікова, Л.О. Чуйко, Н.О. Гайдар,
А.О. Борисова, О.М. Жданович, С.П. Голованьова**

Пропонується математична модель руху частинки матеріалу в ковші з рухомих днищем півкруглої форми, яка дозволяє після експериментального підтвердження теоретично розрахувати шлях частинки вздовж днища ковша, у результаті чого можна установити наявність (або відсутність) зворотного висипання матеріалу з ковша під час його переміщення та розвантаження.

Ключові слова: ківшовий елеватор, ківші із рухомих днищем півкруглої форми, додатковий пристрій, математична модель, продуктивність, параметри ківшового похилого елеватора.

ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦ В КОВШЕ С ПОДВИЖНЫМ ДНИЩЕМ ПОЛУКРУГЛОЙ ФОРМЫ

**В.М. Михайлов, С.В. Удовікова, Л.А. Чуйко, Н.А. Гайдар,
А.А. Борисова, Е.Н. Жданович, С.П. Голованёва**

Предлагается математическая модель движения частицы материала в ковше с подвижным днищем полукруглой формы, которая позволяет после экспериментального подтверждения теоретически рассчитать путь частицы по днищу ковша, в результате чего можно установить наличие (или отсутствие) обратной сыпучести материала из ковша при его перемещении и разгрузке.

Ключевые слова: ківшовий елеватор, ковш з подвижним днищем полукруглої форми, додаткове пристосування, математична модель, продуктивність, параметри ківшового наклонного елеватора.

MATERIAL PARTICLE MOVEMENT IN A BUCKET WITH MOVING BOTTOM OF SEMI-CIRCULAR SHAPE

**V. Mikhaylov, S. Udovikova, L. Chuiko, N. Gaidar,
A. Borysova, O. Zhdanovich, S. Golovanova**

The article is devoted to the questions of raising productivity of a scoop inclined elevator.

The actual direction is to develop more advanced bucket structures, which would lead to an increase in the productivity of the inclined bucket elevator by improving the process of its unloading.

The construction of a bucket with a movable bottom of a semi-circular shape (SCS) is offered. To release the bottom in the main part of the scoop, an additional device is used. Main parameters of a scoop inclined elevator with the installed scoops of a semi-circular shape (SCS) are selected. The system of equations of the material particles motion in the SCS ladle (a mathematical model) is suggested. A mathematical model of material particle movement in a bucket with moving bottom of half-round shape which permits (after experimental confirmation) to calculate theoretically the rout of particles about the bucket bottom is offered. As a result we can fix the presense (or absense) of reverse rash of the material from the bucket while removing or unloading it. The methods for calculating the inclined bucket elevator with the mounted SCS bucket is developed. Calculation results are confirmed experimentally. The results of the calculation of bucket elevator performance with the proposed design are presented. High efficiency of such construction work is theoretically substantiated and practically confirmed. The results of calculations and dependences of the material particles' movement in the SCS (based on theoretical and experimental data) are presented.

Keywords: bucket elevator, bucket with a movable bottom of semi-circular shape, additional device, mathematical model, productivity, parameters of a scoop inclined elevator.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Високопродуктивна робота сучасного підприємства харчової промисловості неможлива без правильно організованих і надійних засобів транспортування. Сфера застосування транспортувальних машин дуже широка, тому що вони мають високу продуктивність.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відома класична теорія відцентрового розвантаження матеріалу з ковшів елеватора, яку розробив та практично підтвердив професор П.С. Козьмін. Науковець у 1935 році досліджував рух частинки матеріалу, яка ковзає вздовж зовнішньої поверхні плоскої стінки ковша [7].

Рівняння руху частинки (М) плоскою поверхнею має такий вигляд (1):

$$\frac{d^2s}{d(w \cdot t)^2} + 2 \cdot \operatorname{tg} \rho \cdot \frac{ds}{d(w \cdot t)} - (s - r_0 \cdot \operatorname{tg} \rho) = \frac{g \cdot \sin(\varphi + \rho)}{w^2 \cdot \cos \rho}, \quad (1)$$

де ρ – кут тертя транспортного матеріалу площиною.

У 1948 році професор П.С. Козьмін запропонував рівняння відносного руху частинки матеріалу поверхнею, що обертається [8]. Рівняння руху частинки (М) поверхнею, що обертається має такий вигляд (2):

$$\frac{d^2s}{dt^2} + 2 \cdot \omega \cdot \operatorname{tg} \rho \cdot \frac{ds}{dt} - \omega^2 \cdot (l_0 + s + r_0 \cdot \operatorname{tg} \rho) = \frac{g \cdot \sin(\varphi - \rho)}{\cos \rho}. \quad (2)$$

Рівняння, приведені П.С. Козьміним, відрізняються лише позначеннями та знаком при доданку ρ й описують одне і теж явище – рух частинки матеріалу поверхнею, що обертається. Використовуючи наведені формули, можна знайти необхідні величини для розрахунку елеватора та побудови кожуха голівки елеватора.

Професор Ф.Ф. Долголенко, використовуючи теорії професора П.С. Козьміна, у праці «Машины непрерывного транспорта» приводить також теоретичні дослідження з побудови струменя розвантаження та профілювання кожуха голівки ковшового елеватора [5].

Однак вищенаведені теорії з розрахунку елеватора професорів П.С. Козьміна, Ф.Ф. Долголенка, застосовуються для ковшів стандартних конструкцій [5–8].

Таким чином, існуючі математичні моделі руху частин матеріалу, які рухаються площиною, що обертається, можна застосовувати тільки для розрахунків із розвантаження матеріалу з ковша елеватора оскільки ці моделі не враховують рух будь-якого рухомого елемента всередині ковша.

Недооцінка тих або інших чинників, які впливають на роботу елеватора, нерідко веде до псування матеріалу, що переміщується, зокрема, через неякісне їх розвантаження.

Тому виникає необхідність у дослідженні умов розвантаження матеріалу з ковшів, зокрема з ковшів, які у свою конструкцію включають рухомі елементи.

На сьогодні вже відомі де які нові конструкції ковшів елеваторів, які мають рухомі днища та додаткові пристосування, наприклад:

– патент на корисну модель № 53776, Україна «Ківшовий елеватор підвищеної продуктивності» [9], який відрізняється від ковша з рухомим днищем півкруглої форми (патент № 10729 А, Україна) [12] тим, що передня стінка ковша у формі відрізка прямої утворює з відрізком (Ра) кут 90^0 та ківш має змінні де які геометричні розміри. Така форма ковша забезпечує збільшену масу матеріалу, що транспортується ковшем, максимальний коефіцієнт наповнення ковша залежно від кута природного відкосу транспортуемого їм вантажу; максимальну продуктивність елеватора залежно від виду вантажу, що ним транспортується, та параметрів елеватора, таких як полюсна відстань $h = (OP) = 96$ мм і радіус привідного барабана елеватора

$r_0 = 96$ мм, співвідношення яких забезпечує відцентрове розвантаження матеріалу з ковша;

– патент на корисну модель № 112019, Україна, «Ківшовий елеватор», [10] у якому кожен із ковшів має подовжену поглиблену частину, а саме нижню його стінку, у формі півкола, яка утворює замкнену середню частину та яка з'єднана з боковими стінками ковша за допомогою пластин, при цьому ширина ковша становить 670 мм та має основні параметри елеватора, такі як полюсна відстань $h = (OP) = 96$ мм і радіус привідного барабана елеватора $r_0 = 96$ мм;

– патент на корисну модель № 124611, Україна, «Ківшовий елеватор», [11] що має ковші, у яких на рухомому днищі кожного з ковшів закріплена гнучка стрічка за допомогою болтового з'єднання, яка допомагає підштовхувати матеріал до повного його розвантаження, при цьому ширина ковша становить 448 мм, та елеватор має такі основні параметри як: полюсна відстань $h = (OP) = 96$ мм і радіус привідного барабана елеватора $r_0 = 96$ мм.

Під час проектування підйомно-транспортних і вантажно-розвантажувальних машин необхідно заощаджувати гостродефіцитні матеріали.

Досягнути цього можна шляхом застосування найбільш вдалих конструктивних рішень, сучасних полегшених профілів і матеріалів із підвищеними механічними властивостями, а також більш повного і цілеспрямованого використання нових видів матеріалів.

Транспортувальні машини мають бути надійними, міцними і довговічними, зручними в експлуатації та здатними працювати в автоматичному режимі.

Тому актуальним напрямом підвищення ефективності роботи транспортувальної техніки є розробка більш досконалої конструкції ковшів, використання яких привело б до підвищення продуктивності похилого ковшового елеватора шляхом удосконалення процесу його розвантаження [1–4].

Мета статті – на прикладі нової математичної моделі ковша з рухомим днищем півкруглої форми (ПФ) довести можливість підвищення продуктивності елеватора за рахунок правильно підібраних параметрів та усунення явища зворотного висипання матеріалу з останнього.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час руху ковша з рухомим днищем ПФ у висхідні гілки елеватора (у момент торкання днищем ковша додаткового пристрою) та набігання ковша на привідні

зірочки може виникнути явище зворотного висипання матеріалу, яке необхідно усунути.

Із метою дослідження цього явища теоретично визначимо шлях частинок (x) матеріалу, які рухаються як поверхнею рухомого днища ПФ, так і поверхнею матеріалу, що знаходиться в ковші ПФ.

Реальна конструкція елеватора з ковшами ПФ складна, тому запропоновано спрощену систему рівнянь (математичну модель), яка дозволяє чисельно отримати закон руху частинок матеріалу в ковші, що рухається ланцюгами.

Якщо за час повороту днища ковша ПФ частинка, яка знаходиться або на поверхні матеріалу, або на днищі ковша, не досягне крайки зубів передньої стінки ковша ПФ, то буде відсутнє явище зворотного висипання матеріалу під час руху його висхідною гілкою елеватора.

Дослідження цього явища потребує розглядання його реального механізму та побудови апроксимаційної моделі. Відповідно до цієї моделі ділянку днища ковша прийнято вважати прямою, тому що її довжина є маленькою.

Розглянемо рух частинок матеріалу, які знаходяться в ковші ПФ, у системі координат, початок якої співпадає з шарніром (O_1), щодо якого здійснює поворот рухоме днище півкруглої форми, а вісь (X) направлена перпендикулярно до осі повороту рухомого днища ковша ПФ (з якою співпадає вісь (Y)) та розташована паралельно до площини поверхні матеріалу.

Площина поверхні матеріалу утворює з поверхнею днища кут β , а саме днище повертається навколо осі (Y) з кутовою швидкістю $\omega_d = d\alpha/dt$, де α – миттєве значення кута повороту рухомого днища ковша ПФ, який відраховується від горизонтальної площини.

Визначемо сили, які діють на деяку частинку (ч. А) масою Δm , що знаходиться на поверхні матеріалу в ковші ПФ.

Наводимо такі сили: ваги $\Delta m \vec{g}$; реакції \vec{N} ; тертя $\vec{F}_{тр}$; відцентрову \vec{F}_R ; Кориоліса \vec{F}_c (рис. 1).

Рівняння руху (математична модель) частинки в проєкціях на осі X і Z має вигляд (3):

$$\begin{cases} (X) - F_R \cdot \sin i + \Delta m \cdot g \cdot \cos \gamma - \mu \cdot N = \Delta m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2}, \\ (Z) F_R \cdot \cos i + N + F_C - \Delta m \cdot g \cdot \sin \gamma = 0. \end{cases} \quad (3)$$

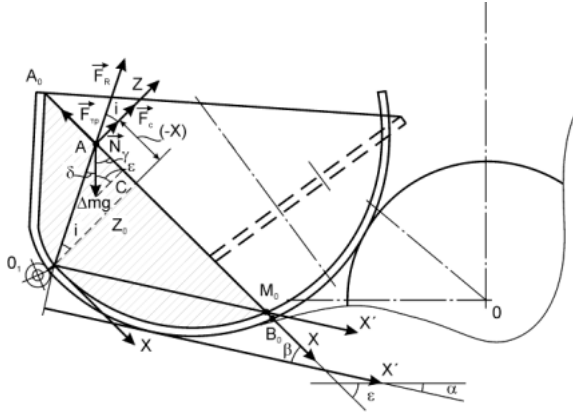


Рис. 1. Кінематико-динамічна схема ковша ПФ

Кінематико-динамічна схема ковша ПФ також наведена в [14].

На рис. 1 вказані такі кути:

δ – кут між силами ваги та радіус-вектором ((ч. A) – $(O_1 A)$);

β – кут між осями X і X';

ε – кут між віссю X і лінією горизонту; i – кут між віссю Z і радіус-вектором (ч. A);

γ – кут між осями – прямою та віссю X, а також показано трикутник – $\Delta O_1 C A$, у якому z_0 – довжина перпендикуляра (рис. 2) з точки (O_1) на площину – $(A_0 B_0)$.

A x – шлях, який пройшла частинка матеріалу до моменту її відривання від існуючої площини.

Зв'язки між кутами подано сумами кутів: $\varepsilon + \alpha = \beta$, $\gamma = \frac{\pi}{2} - \varepsilon$.

Відстань x' частинки, яка відраховується від початку координат (шарніра O_1) вздовж рухомого днища ковша ПФ, зв'язана з x-координатою співвідношенням $x' = x \cdot \cos(\alpha + \varepsilon)$.

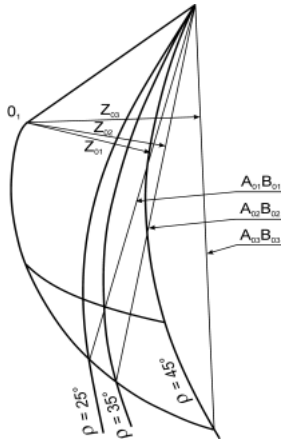


Рис. 2. Схема до визначення величин z_0 та (A_0B_0)

Визначемо величину відцентрової сили та сили Кориоліса $F_R = \Delta m \cdot \omega_d^2 \cdot (O_1A)$, $(O_1A) = \frac{x}{\sin i}$, $F_C = 2 \cdot \Delta m \cdot \omega_d \cdot \frac{dx}{dt}$. У прямокутному трикутнику відомий ще один катет $(-x)$, тоді $\text{ctg} i = -\left(\frac{z_0}{x}\right)$. Система (3) набуває вигляду (4, 5):

$$\begin{cases} \Delta m \cdot g \cdot \sin(\beta - \alpha) - \mu \cdot N - \Delta m \cdot \omega_d^2 \cdot x = \Delta m \cdot \frac{d^2x}{dt^2}, \\ -\Delta m \cdot \omega_d^2 \cdot z_0 + N + 2 \cdot \Delta m \cdot \omega_d \cdot \frac{dx}{dt} - \Delta m \cdot g \cdot \cos(\alpha - \beta) = 0, \end{cases} \quad (4)$$

$$\alpha = \omega_d \cdot t \quad (5)$$

Для частинки (ч. M_0): $\mu = f$, де f – коефіцієнт тертя між частинкою матеріалу (окремими частинками) та внутрішньою поверхнею (сталь) рухомого днища ковша ПФ.

Для частинки (ч. A): $\mu = \text{tg} \rho$, де ρ – кут природного відкосу матеріалу, який знаходиться в ковші ПФ.

Далі приймемо такі позначення:

$$\Delta m = m;$$

$$z_0 = z;$$

$$\omega_d = \omega.$$

а замість α підставимо $(\omega \cdot t)$, а μ так і залишимо.

Оскільки m входить в усі рівняння, то її можна виключити. Тоді рівняння (4 та 5) будуть мати вигляд (6):

$$\begin{aligned} \frac{d^2 x}{dt^2} - 2 \cdot \mu \cdot \omega \cdot \frac{dx}{dt} + \omega^2 \cdot x = \\ = g \cdot \sin(\beta - \omega \cdot t) - \mu \cdot g \cdot \cos(\omega \cdot t - \beta) - \mu \cdot \omega^2 \cdot z. \end{aligned} \quad (6)$$

Маємо два різні типи рішення однорідного рівняння залежно від параметра μ :

$$1) \mu < 1 - 0 \leq \rho < 45^\circ;$$

$$2) \mu \geq 1 - \rho \geq 45^\circ.$$

Кутову швидкість повороту рухомого днища ковша ПФ – ω_d відносно шарніра (O_1) можна визначити з кінематичної схеми (рис. 3) за формулою (7):

$$\omega_d = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot v_0}{x \cdot \cos \beta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \alpha}. \quad (7)$$

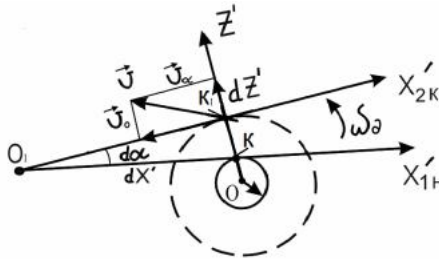


Рис. 3. Кінематичні схеми для визначення ω_d

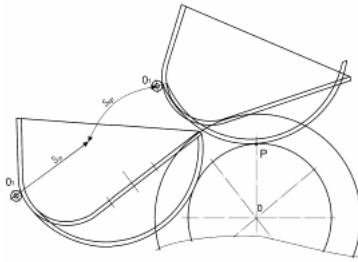


Рис. 4. Схема до визначення шляху, пройденого ковшем ПФ

Результати розрахунків шляху та швидкості частинок від часу переміщення ковша ПФ (рис. 4) ланцюгами наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати розрахунків шляху та швидкості руху частинок

Розташування частинок у ковші ПФ	Шлях частинок $x(t)$, м		Швидкість частинок $v(t)$, м/с	
	$t = 0,225$ с	$t = 0,25$ с	$t = 0,225$ с	$t = 0,25$ с
Для частинок на поверхні матеріалу за:				
– $\rho = 25^\circ$;	0,066	0,087	0,773	0,931
– $\rho = 35^\circ$;	0,08	0,107	0,96	1,167
– $\rho = 45^\circ$ (ч. А)	0,105	0,141	1,293	1,589
Для частинки на днищі (ч. М ₀)	0,164	0,208	1,633	1,881

Цінність результатів математичного моделювання полягає в дуже тісній кореляції між результатами, отриманими внаслідок модельного розрахунку та експериментальними даними [13–16].

Метою випробувань нової конструкції елеватора з ковшами з рухомими днищами ПФ було дослідження фізичних процесів руху та розвантаження окремих частинок матеріалу з ковша ПФ.

Ківш ПФ випробувано на спеціальному стенді (рис. 5), який є фізичною моделлю дволанцюгового похилого елеватора (масштаб моделі 1:1).

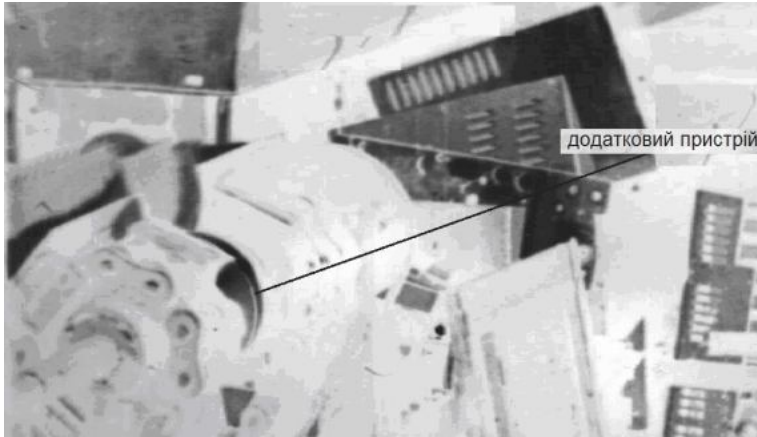


Рис. 5. Додатковий пристрій, який встановлено на привідному валу експериментального стенда для випробування на ньому ковша з рухомим днищем ПФ

Між тяговими ланцюгами, на привідному валу (між привідними зірочками), було встановлено додатковий пристрій, призначений для відтиснення рухомого днища ковша ПФ в основну – середню його частину.

Додатковий пристрій є шківом, причому діаметр його менше діаметра діляльного кола привідних зірочок і становить 140 мм. Ківшовий дволанцюговий похилий елеватор має 16 ковшів.

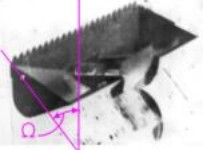
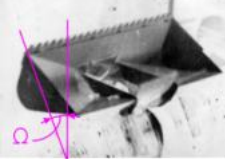
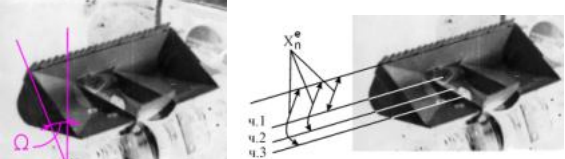
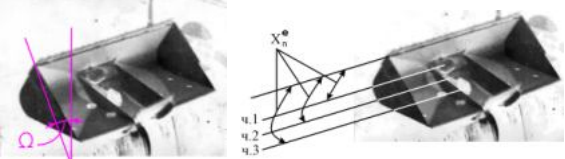
Оскільки кожен із ковшів розвантажується однаково, то досліджуємо рух і розвантаження матеріалу (чи окремих частинок) на одній експериментальній моделі – ковш ПФ.



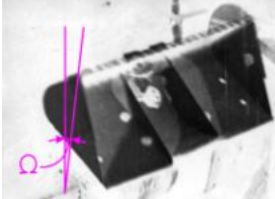
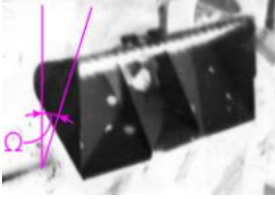
Зробимо кінозйомки поведінки матеріалу всередині ковша ПФ, а також розвантаження матеріалу з останнього (з різних положень кінокамери) [13–16].


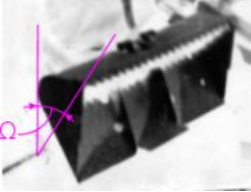
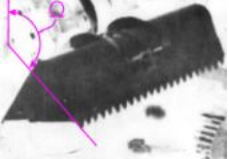
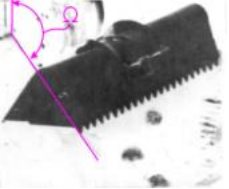
За результатами кінозйомок можна судити про переміщення частинок рухомим днищем ковша ПФ – у момент наближення ковша ПФ до привідного вала елеватора, а рухомого днища ковша до додаткового пристрою, та їх розвантаженню – після обгинання ковшем ПФ привідних зірочок елеватора, а рухомого днища ковша ПФ – після обгинання додаткового пристрою (табл. 2).

Таблиця 2

**Переміщення частинок рухомим днищем ковша ПФ
та їх подальше розвантаження (кадри № 1 – № 12)**

№ кадра	Кут Ω , град.	Примітки
1	2	3
1	– 38	 <p>Частинки розташовані на днищі</p>
2	– 19	 <p>Частинки переміщуються послідовно, одна за одною</p>
3	– 20	 <p>Частинки переміщуються далі, одна за одною, у напрямку передньої стінки ковша ПФ</p>
4	– 21	 <p>Одну частинку розташовано вище за інші</p>

1	2	3
5	- 7	 <p>Частинки знаходяться в поглибленій частині ковша</p>
6	- 3	 <p>Частинки знаходяться ще ближче до поглибленої частини ковша ПФ</p>
7	+ 7	 <p>Одна з частинок вже розташована ближче до передньої стінки</p>
8	+ 16	 <p>Частинки рухаються до передньої стінки</p>

1	2	3
9	+ 25	 <p data-bbox="333 411 927 443">Частинки рухаються до крайки зубів передньої стінки</p>
10	+ 33	 <p data-bbox="333 638 893 695">Частинки розташовані біля крайки зубів передньої стінки</p>
11	+ 140	 <p data-bbox="333 858 684 890">Із ковша висипалось 2 частинки</p>
12	+ 143	 <p data-bbox="333 1082 871 1107">Із ковша висипалось 3 частинки. Ківш порожній</p>

Таким чином, експериментально підтверджено, що частинки під час повороту рухомого днища ковша ПФ не вилітають за його крайку зубів, тобто не є елементами зворотного висипання матеріалу.

У ківш, який знаходиться на висхідній гілці елеватора, було покладено три частинки. Частинки було розташовано на днищі ковша, одна за одною, в подовжньому напрямку днища.

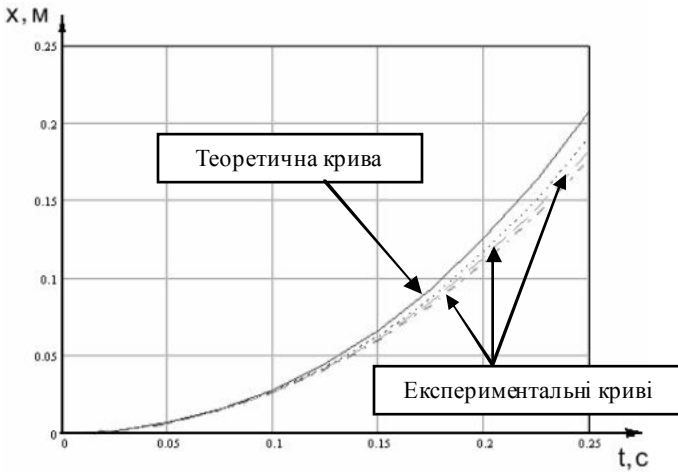
Для частинок матеріалу, які знаходяться на днищі ковша ПФ заміряно первинне (під час опущеного днища) експериментальне значення координати частинки вздовж рухомого днища ковша – x_n^e .

Шлях частинок обчислюється від місця їх первинного розташування до крайки і зубів ковша ПФ, за час руху його ланцюгами, а днища ковша ПФ віджимним пристроєм.

Експериментальне рівняння руху частинок має вигляд (8):

$$\begin{aligned} \frac{d^2x^e}{dt^2} - 2 \cdot \mu \cdot \omega \cdot \frac{dx^e}{dt} + \omega^2 \cdot x^e = \\ = g \cdot \sin(\beta - \omega \cdot t^e) - \mu \cdot g \cdot \cos(\omega \cdot t^e - \beta) - \mu \cdot \omega^2 \cdot z \end{aligned} \quad (8)$$

Залежності $x(t)$ для частинок № 1, № 2, № 3 та для частинки (ч. M_0) наведені на рис. 6.



— теоретична крива для частинки (ч. M_0),
 інші криві (експериментальні) для частинок – № 1, № 2, № 3

Рис. 6. Залежності $x(t)$ для частинок № 1, № 2, № 3 та для частинки (ч. M_0)

Запропонована в статті математична модель руху частинки вздовж рухомого днища півкруглої форми, у поєднанні з підібраними параметрами елеватора, дозволила проаналізувати та зафіксувати відсутність її зворотного висипання, що значно підвищує продуктивність похилого ківшового елеватора з ковшами з рухомими днищами ПФ.

Висновки. Таким чином, результати експериментів підтверджують ефективність роботи похилого дволанцюгового ківшового елеватора зі встановленими на ньому ковшами ПФ, зокрема:

1. Розроблено конструкцію ковша з рухомим днищем півкруглої форми похилого дволанцюгового ківшового елеватора, яка має збільшений об'єм за рахунок поглибленої частини та дозволяє збільшити об'єм перевантажуваного цим ковшем матеріалу, що підвищило продуктивність цього елеватора.

2. Розраховано теоретично та експериментально підтверджено (кінозйомкою процесів руху та розвантаження окремих частинок матеріалу з ковша ПФ), що розрахованого теоретично часу руху ковша ПФ достатньо для приведення в рух окремих частинок матеріалу в ковші ПФ, без зворотного висипання окремих частинок матеріалу (експериментальний час руху ковша ПФ ланцюгами становив $t^e = 0,25$ с, що перевищує теоретичний час руху ковша ПФ ланцюгами $t = 0,225$ с на 10%) з ковша ПФ.

3. Кадри кінозйомок руху окремих частинок матеріалу в ковші ПФ показали такі результати: а) частинки не міняють свого відносного положення, а слідуєть одна за одною в тій послідовності, в якій їх було покладено спочатку; б) частинки не вилітають із ковша ПФ, перетворюючись на зворотне висипання; в) частинки розвантажуються з ковша послідовно; першою покидає ковш частинка, яка знаходиться біля крайки зубів ковша ПФ.

4. Розроблено та експериментально підтверджено систему рівнянь руху (математичну модель) частинок матеріалу, які знаходяться на рухомому днищі ковша ПФ, без зворотного їх висипання з останнього (шлях частинки (ч. M_0) – 0,164 м більше шляху пройденого частинкою (ч. № 2) – 0,145 м на 11,6%).

Список джерел інформації / References

1. Александров М. П. Подъёмно-транспортные машины : учебник / М. П. Александров. – 6-е изд. – М. : Высш. шк., 1985. – 520 с.

Aleksandrov, M.P. (1985), *Lifting-transport machines [Pod'yomno-transportnyie mashiny]*, 6 ed, Higher school, Moscow, 520 p.

2. Гальперин М. И. Строительные машины : учебник по спец. «Пром. и гражд. стр-во» / М. И. Гальперин, Н. Г. Домбровский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1980. – 344 с.

Galperin, M.I., Dombrovskiya, N.G. (1980), *The building machines: [Stroitelnyie mashiny]*, 3 ed, Higher school, Moscow, 344 p.

3. Гоберман Л. А. Основы теории расчёта и проектирования строительных и дорожных машин : учебник для техникумов / Л. А. Гоберман. – М. : Машиностроение, 1988. – 463 с.

Goberman, L.A. (1988), *Bases of theory of calculation and planning of building and travelling machines* [*Osnovy teorii raschyota i proektirovaniya stroitelnykh i dorozhnykh mashin*], Machine-building, Moscow, 463 p.

4. Гриневиц Г. П. Комплексная механизация погрузочно-разгрузочных работ и транспортных операций в строительстве / Г. П. Гриневиц, А. С. Гельман, Г. Г. Гриневиц. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1979. – 368 с.

Grinevich, G.P., Gelman, A.S., Grinevich, G.G. (1979), “Complex mechanization of loading and unloading works and transport operations in building” [“Kompleksnaya mehanizatsiya pogruzochno-razgruzochnykh rabot i transportnykh operatsiy v stroitelstve”], Building publishing house, Moscow, p. 368.

5. Долголенко А. А. Машины непрерывного транспорта / А. А. Долголенко. – Л. : Гос. науч.-техн. изд-во машиностроительной лит-ры, 1938. – 189 с.

Dolgoenko, A.A. (1938), *Machines of continuous transport* [*Mashiny nepreryvnogo transporta*], State scientific and technical publishing house of machine-building literature, Leningrad, 189 p.

6. Домбровский Н. С. Строительные машины : учебник для вузов по спец. «Строит. и дорож. машины и оборудование» / Н. С. Домбровский, М. И. Гальперин. – М. : Высш. шк., 1985. – 224 с.

Dombrovskiy, N.S. (1985), *The building machines* [*Stroitelnyye mashiny*], Is higherschool, Moscow, 224 p.

7. Козьмин П. С. Машины непрерывного транспорта. Ч. 2 / П. С. Козьмин. – М. : Гос. науч.-техн. изд-во машиностроительной лит-ры, 1935. – 300 с.

Kozmin, P.S. (1935), *Machines of continuous transport. Part 2* [*Machines of continuous transport*], State scientific and technical publishing house of machine-building literature, Moscow, 300 p.

8. Козьмин П. С. Машины непрерывного транспорта. Ч. 2 / П. С. Козьмин. – М. : Гос. науч.-техн. изд-во машиностроительной лит-ры, 1948. – 300 с.

Kozmin, P.S. (1948), *Machines of continuous transport. Part 2* [*Machines of continuous transport*], State scientific and technical publishing house of machine-building literature, Moscow, 300 p.

9. Пат. 53776 Україна, МПК 9 В65 G 17/32. Ківшовий елеватор підвищеної продуктивності / Удовікова С. В. ; замовник та патентовласник Удовікова С. В. – № у 200907416 ; заявл. 15.07.2009 ; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20. – 9 с.

Udovikova, S.V. (2010), *Bucket elevator* [*Kivshoviy elevator of higher efficiency*], Ukrain, Pat. 53776.

10. Пат. 112019 Україна, МПК(2016.01) В65 G 17/36 (2006.01), В65 G 65/00. Ківшовий елеватор / Удовікова С. В.; замовник та патентовласник Харківський державний університет харчування та торгівлі. – № у 201606848 ; заявл. 22.06.2016 ; опубл. 25.11.2016, Бюл. № 22. – 9 с.

Udovikova S.V. (2016), *Bucket elevator* [*Kivshoviy elevator*], Ukrain, Pat. 112019.

11. Пат. 124611 Україна, МПК(2018.01) B65 G 17/36 (2006.01), B65 G 65/00. Ківшовий елеватор / Михайлов В. М., Удовікова С. В., Чуйко Л. О., Шевченко А. О., Гайдар Н. О. ; замовник та патентовласник Харківський державний університет харчування та торгівлі – № u201712430 ; заявл. 14.12.2017 ; опубл. 10.04.2018, Бюл. № 7. – 9 с.

Mikhaylov, V.M., Udovikova, S.V., Chuiko, L.A., Shevchenko, A.A., Gaydar, N.A. (2018), *Bucket elevator [Kivshovyi elevator]*, Ukrain, Pat. 124611.

12. Пат. 10729 А, Україна, МПК 5 B65 G 17/36. Ковшовий елеватор / Стефанов Б. М., Удовікова С. В. ; замовник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № 95010320 ; заявл. 23.01.95 ; опубл. 25.12.96, Бюл. № 4. – 4 с.

Stefanov, B.M., Udovikova, S.V. (1996), *Bucket elevator [Kovshovyi elevator]*, Ukrain, Pat. 10729 A.

13. Стефанов Б. М. Математична модель руху частки в ковші з рухомим днищем напівкруглої форми машини МВС-4М / Б. М. Стефанов, С. В. Удовікова // Зб. наук. пр. ХарДАЗТ. – X., 1999. – Вип. 36. – С. 152–155.

Stefanov, B.M., Udovikova, S.V. (1999), “A mathematical model of motion of part is in a scoop with the movable bottom of half-round form of machine of MVS-4M” [“Matematichna model ruhu chastki v kovshI z ruhomim dnischem napivkrugloyi formi mashini MVS-4M”], KharDAZT, Kharkiv, Vol. 36, pp. 152-155.

14. Стефанов Б. М. Математична модель руху частки в ковші з рухомим днищем напівкруглої форми / Б. М. Стефанов, С. В. Удовікова // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті : зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – X., 2006. – Вип. 77. – С. 214–218.

Stefanov, B.M., Udovikova, S.V. (2006), “A mathematical model of motion of part is in a scoop with the movable bottom of half-round form” [“Matematichna model ruhu chastki v kovshI z ruhomim dnischem napivkrugloyi formi ”], UDAZT, Kharkiv, Vol. 77, pp. 214-218.

15. Стефанов Б. М. Рух часток у ковші з рухомим днищем півкруглої форми / Б. М. Стефанов, С. В. Удовікова // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті : зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – X., 2007. – Вип. 87. – С. 191–195.

Stefanov, B.M., Udovikova, S.V. (2007), “Motion of parts is in a scoop with the movable bottom of half-round form” [“Ruh chastki v kovshi z ruhomim dnischem napivkrugloyi formi”], UDAZT, Kharkiv, Vol. 87, pp. 191-195.

16. Удовікова С. В. Математична модель руху частки в ковші з рухомим днищем напівкруглої форми / С. В. Удовікова // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – X., 2012. – Вип. 129. – С. 196–200.

Udovikova, S.V. (2012), “A mathematical model of motion of part is in a scoop with the movable bottom of half-round form” [“Matematichna model ruhu chastki v kovshI z ruhomim dnischem napivkrugloyi formi”], UDAZT, Kharkiv, Vol. 129, pp. 196-200.

Михайлов Валерій Михайлович, д-р техн. наук, проф., кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна. Тел.: (057)349-45-03; e-mail: process229@ukr.net.

Михайлов Валерій Михайлович, д-р техн. наук, проф. кафедра процессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина. Тел.: (057)349-45-03; e-mail: process229@ukr.net.

Mikhailov Valeriy, Doc. of Tech. Sc., Prof., Department of Processes, Apparatus and Automation of Food Productions, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel. (057)349-45-03; e-mail: process229@ukr.net.

Удовікова Світлана Володимирівна, канд. техн. наук, оператор ПЕОМ, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61009. Тел.: 0963738165; e-mail: s0963738165@gmail.com.

Удовікова Светлана Владимировна, канд. техн. наук, оператор ПЭВМ, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61009. Тел.: 0963738165; e-mail: s0963738165@gmail.com.

Udovikova Svitlana, Cand of Tech. Sc., operator, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61009. Tel.: 0963738165; e-mail: s0963738165@gmail.com.

Чуйко Людмила Олексіївна, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., начальник науково-дослідного сектору, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: 0975342361; e-mail: nis_hduht@kharkov.com.

Чуйко Людмила Алексеевна, канд. техн. наук, ст. науч. сотруд., начальник научно-исследовательского сектора, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: 0975342361; e-mail: nis_hduht@kharkov.com.

Chuiko Ludmila, Cand. of Tech. Sc., senior researcher, Head of the R&D Sector, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051, Tel.: 0975342361; e-mail: nis_hduht@kharkov.com.

Гайдар Наталія Олександрівна, канд. екон. наук, ст. наук. співроб., Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна. Тел.: (057)349-45-51; e-mail: process229@ukr.net.

Гайдар Наталия Александровна, канд. екон. наук, ст. науч. сотр., Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина. Тел.: (057)349-45-51; e-mail: process229@ukr.net.

Gaidar Natalya, Cand. of Econ. Sc., senior researcher, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-51; e-mail: process229@ukr.net.

Борисова Аліна Олексіївна, канд. психол. наук, проф., кафедра іноземних мов, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-69; e-mail: alinaborissova@ukr.net.

Борисова Алина Алексеевна, канд. психол. наук, проф., кафедра иностранных языков, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-69; e-mail: alinaborissova@ukr.net.

Borysova Alina, Candidate of Psychological Science, Professor, Department of Foreign Languages, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-69; e-mail: alinaborissova@ukr.net.

Жданович Олена Миколаївна, начальник Видавництва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-96.

Жданович Елена Николаевна, начальник Издательства, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-96.

Zhdanovich Olena, head of the Publishing of the University, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-96.

Голованьова Світлана Павлівна, наук. співроб. науково-дослідного сектору, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: 0502043144; e-mail: nis_hduht@kharkov.com.

Голованева Светлана Павловна, науч. сотруд. научно-исследовательского сектора, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: 0502043144; e-mail: nis_hduht@kharkov.com.

Golovanova Svetlana, research associate of the R&D Sector, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: 0502043144; e-mail: nis_hduht@kharkov.com.

DOI: 10.5281/zenodo.1306632