

УДК 621.313

**СТАЦЕНКО В.В., БІЛА Т.Я., БУРМІСТЕНКОВ О.П.**  
Київський національний університет технологій та дизайну

**СИСТЕМНА І ПАРАМЕТРИЧНА МОДЕЛІ  
БУНКЕРНИХ ПРИСТРОЇВ В АГРЕГАТАХ ДЛЯ  
ПРИГОТУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙ ІЗ СИПКИХ  
МАТЕРІАЛІВ**

***Мета.** Виявлення зв'язків між технологічними та конструктивними параметрами бункерних пристроїв і сипкого середовища.*

***Методика.** У роботі використані методи системного аналізу в області плинущих сипких матеріалів і методи побудови системних та параметричних математичних моделей.*

***Результати.** Отримані системна і параметрична моделі бункерних пристроїв, виявлено вплив внутрішніх і зовнішніх параметрів бункерного пристрою та сипких матеріалів на процес їх плинущу. Встановлені параметри, якими можна керувати як в процесах завантаження, так і вивантаження сипких матеріалів з бункера до дозуючих пристроїв.*

***Наукова новизна.** Запропоновані системна та параметрична моделі, що зв'язують параметри сипкого середовища, технологічні і конструктивні параметри бункерів.*

***Практична значимість.** Отримані результати дозволяють встановлювати конструктивні та прогнозувати технологічні параметри пристроїв, що використовуються.*

***Ключові слова:** бункер, сипкі матеріали, моделі плинущу, системний підхід, параметри.*

**Вступ.** У різних галузях промисловості широко застосовуються композиції з сипких матеріалів, що розрізняються ступенем дисперсності: від порошкоподібних до гранульованих. Вони використовуються для виготовлення різноманітних виробів: деталей взуття, плівкових матеріалів, труб з полімерних матеріалів тощо. Технологічний процес приготування композицій може бути періодичним або безперервним. В останні роки все більша перевага віддається безперервному способу приготування композицій в зв'язку з можливістю повної автоматизації технологічного процесу. В роботі [1] розглянуто основні принципи організації процесу приготування композицій в агрегатах безперервної дії (АПСК) з моменту надходження сипких компонентів на підприємство до їх подальшого переміщення в технологічному процесі, в якому першим розташований бункер, що використовується для зберігання або накопичення сипких матеріалів (СМ), а в деяких випадках як ваговий дозатор або демпфіруючий пристрій. Для подальшого переміщення в АПСК сипкий матеріал витікає з бункера. Його рух відрізняється від плинущу рідинних та газоподібних матеріалів, він значно складніший, тому що сипкий матеріал схильний до скліпоутворення і агломерації, що залежить від фізико-механічних властивостей СМ, конструкції бункера і вимог процесу приготування композицій.

Завдання подальшого дослідження технологічного процесу витікання сипкого матеріалу з бункера є актуальним і в даний час. Вирішення цього завдання дозволить виявити вузькі місця в процесі витікання сипких матеріалів та визначити методи і способи їх усунення, створити систему автоматичного керування процесом, що дасть можливість покращити якість готових виробів, збільшити продуктивність АПСК і знизити енерговитрати.

**Постановка завдання.** Завданням для дослідження є аналіз процесу витікання сипких матеріалів з точки зору оцінки ступеня впливу фізико-механічних властивостей СМ,

конструктивних параметрів бункера, засобів автоматичного регулювання з метою поліпшення параметрів технологічного процесу приготування композицій та якості готового виробу. В якості методів дослідження використовувалися методи системного аналізу в області плинності сипких матеріалів і методи побудови системних та параметричних математичних моделей.

**Результати та їх обговорення.** Відповідно до сучасних уявлень [2] процес витікання СМ з бункерів відбувається у вигляді стохастичних зрушень блоків речовини довільної, постійно змінної форми зі зниженою концентрацією речовини на границях між ними. Спрощено процес можна представити у вигляді системи склепін, які періодично виникають і руйнуються та розташовані у всьому об'ємі СМ. Деформації відбуваються у вигляді переривчастих зсувних агрегатів частинок, кожен з яких в період свого існування відіграє роль структурного елемента.

Протягом руху (переробки) сипкі матеріали можуть перебувати за певних умов в трьох станах: твердому (зв'язаному); пластичному (перехідному); вільнодисперсному (незв'язаному). Це обумовлено тим, що в процесі, наприклад, витікання змінюються фізико-механічні властивості СМ: об'ємної густини, початкового опору зрушенню, коефіцієнта ущільнення, порозности. Крім того, відбувається зміна тиску за висотою бункера, тому при розрахунках враховуються об'ємна густина і коефіцієнт внутрішнього тертя. У масі СМ відбуваються явища, що викликані пульсацією і переривчастим характером потоку. Рух частинок супроводжується зіткненням та тертям під час безперервної зміни структури СМ.

Встановлено дві основні форми руху потоку під час гравітаційного витікання з бункерних пристроїв: нормальна форма (принцип «перший увійшов, останній вийшов») та гідравлічна або масова форма витікання (принцип «перший увійшов, перший вийшов»). Друга форма витікання вважається кращою, тому що зводяться до мінімуму сегрегаційні процеси. Основним фактором, що визначає форми руху, є фізико-механічні властивості СМ (особливо ступінь зв'язаності).

У зв'язку з тим, що СМ під час витікання з бункерних пристроїв може перебувати в трьох станах, не існує однозначного підходу і до моделювання цього процесу. В даний час використовуються наступні моделі для опису зв'язаного стану: моделі механіки ґрунтів та гідромеханічні моделі [3]. Для опису незв'язаних СМ використовують механіку швидких гравітаційних течій. Математичні моделі швидких зсувних гравітаційних потоків умовно ділять на засновані на континуальних теоріях, мікроструктурному та кінематичному аналізі. Крім того використовуються структурно-механічні моделі, так звані «реологічні моделі» дисперсних середовищ, які базуються на механіці суцільних середовищ [4].

Витікання СМ супроводжується пульсацією тиску, об'ємної продуктивності та інших параметрів, що пов'язані з рухом твердих дисперсних середовищ. Коливання об'ємної витрати від середньої статистичної величини досягають 25 ... 30%, але теорії пульсаційного руху СМ на даний час не існує. Крім того, не враховується вірогідний вплив цілого ряду чинників, що визначають взаємодію частинок в потоці.

Основним функціональним призначенням бункера є забезпечення рівномірного витікання потоку або порцій потоку сипкого матеріалу, тобто забезпечення сталості швидкості витікання та об'ємної маси СМ і їх відповідність вимогам технологічного процесу в цілому. В даний час це досягається по-перше, конструктивно, по-друге, використанням

регульованих затворів або живильників, по-третє, створенням замкненої системи керування витіканням СМ з бункера.

Удосконалення конструкцій бункерних пристроїв здійснюється у напрямках:

- вибору раціональних розмірів бункера (співвідношення висоти і діаметра повинно знаходитись в певних межах), форми випускної воронки, кута її нахилу, оптимальних розмірів випускного отвору, його форми і розташування; вибором матеріалу для виготовлення, особливо для випускної воронки. Ці параметри обираються виходячи з об'єму СМ, який повинен знаходитися в бункері; діаметра (розмірів) частинок, коефіцієнта зовнішнього тертя, кута природного укусу або коефіцієнта внутрішнього тертя.

- використання завантажувальних пристроїв, які забезпечують рівномірне укладання частинок і щільність за всією висотою бункера, зниження тиску на дно бункера, сегрегацію та насипну густину СМ. Існують три способи заповнення бункера: струменем (або самоплином), дощем (розосередженим потоком) і каскадом. Для реалізації двох останніх способів застосовують конвеєри, шнеки, конусні розподільники з приводом і без.

- встановлення всередині бункера пристроїв для зниження тиску всередині СМ, а, отже, запобігання скліпоутворення та забезпечення безперервного витікання. Такі пристрої (активатори) можуть бути механічними, вібраційними, пневматичними з безперервним або селективним режимом роботи. Ефективність застосування активатора залежить від місця його встановлення, геометричних параметрів бункера і фізико-механічних властивостей СМ (плинності, ступеня зв'язаності, злежуваності).

Регульовані затвори (заслінки) мають малі габарити і здійснюють гравітаційне розвантаження, тобто не споживають електроенергію. В якості регульованих живильників використовуються вібраційні, шнекові та тарілчасті пристрої. Визначення продуктивності живильника здійснюється за емпіричними формулами або рівняннями регресії.

Досліджень систем керування процесом витікання СМ з бункерних пристроїв практично немає. Тут перспективним може бути створення прогностичної моделі залежності властивостей вихідного потоку (швидкості та витрат) від концентрації частинок (структурної характеристики), швидкості їх зсуву в залежності від фізико-механічних характеристик (кінематичної характеристики), а також режиму роботи живильника або заслінки.

Виходячи з вище викладеного, можна сформулювати вимоги до бункерних пристроїв (БП) в залежності від умов роботи як агрегату АПСК, так і основного технологічного обладнання. Визначальними значеннями будуть необхідна маса готової композиції  $M$  (наприклад, добовий запас), рецептура (масові частини окремих компонентів  $\Delta m_i$ ), продуктивність агрегату  $Q_A$ .

Основою проектування може бути системна модель бункерного пристрою, складена відповідно до його функціонального призначення:

$$\bar{Z} = F(\bar{X}, \bar{Y}),$$

де  $\bar{Z}$  – вектор-функція показників ефективності,  $\bar{X}, \bar{Y}$  – вектори-функцій зовнішніх і внутрішніх параметрів, відповідно.

Вектор-функція показників ефективності  $\bar{Z}$  роботи БП показує відповідність його вихідних параметрів функціональному призначенню в заданих умовах. Бункерні пристрої в агрегатах АПСК використовуються тільки для короткочасного зберігання вихідного

матеріалу, тому їх можна віднести до бункерів-дозаторів (бункерів-накопичувачів). Сформуємо вектор  $\bar{Z}$  і вимоги до його складових.

$Z_1$  - показник якості виконання основної технологічної операції БП, який характеризується швидкістю витікання  $V$  сипкого матеріалу з випускного отвору бункера. Для БП як складової частини АПСК основною вимогою є забезпечення сталості швидкості витікання, тобто  $V(t) = const$ .

$Z_2$  - показник продуктивності. Об'ємна (рідше масова) витрата сипкого матеріалу бункера повинна відповідати заданому значенню, тобто  $Q_B(t) = Q_{зад}$ . Значення  $Q_{зад}$  встановлюється в залежності як від умов роботи всього агрегату в цілому, так і від роботи живильника або дозатора, для яких БП створює вхідний потік СМ. Крім того показник продуктивності  $Z_2$  залежить від швидкості витікання  $V$ , фізико-механічних властивостей СМ і геометричних розмірів випускного отвору.

$Z_3$  - показник витрат електроенергії. Для найпростішого бункера  $Z_3 = 0$ . У разі використання для стимуляції витікання СМ із БП з примусовим рухом, необхідно прагнути, щоб  $Z_3 \rightarrow min$ .

$Z_4$  - показник маси БП;  $Z_4 \rightarrow min$ .

$Z_5$  - показник вартості БП;  $Z_5 \rightarrow min$ .

$Z_6$  - показник надійності, рівнів шуму та вібрації. Бункери без додаткових пристроїв не створюють шум і вібрації, тоді  $Z_6$  оцінюється тільки по надійності і  $Z_6 \rightarrow max$ .

$Z_7$  - екологічний показник - рівень забруднення навколишнього середовища. На рівні БП цей показник можна не враховувати, тому що СМ в ньому зберігається короткочасно (виділення хімічних речовин мінімально) та знаходиться в стані відносного спокою (розпорошення дрібних фракцій СМ мінімально), отже,  $Z_7 \rightarrow 0$ .

З метою скорочення числа вихідних параметрів бункерного пристрою, що враховуються, можна записати:

$$Z_2 = Q_{зад} \text{ при } \begin{cases} Z_1 = Z_{зад} \\ \frac{dZ_1}{dt} = 0 \end{cases} \text{ або } \begin{cases} Z_1 = Z_{зад} \\ \frac{dV}{dt} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Таким чином, попередньо в векторі-функції показників ефективності  $\bar{Z}$  залишаються п'ять вихідних параметрів, а саме:

$$\bar{Z} = \{Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6\} \quad (2)$$

де  $Z_2$  враховує показник якості  $Z_1$  за виразом (1).

Внутрішні параметри бункерного пристрою визначає вектор-функція  $\bar{Y}$  параметрів його конструкції, що впливають на функціонування. Сюди можна віднести наступні характеристики.

$Y_1$  - якісні параметри БП (форма ємності  $Y_{11}$ , форма випускного отвору  $Y_{12}$  та його розташування  $Y_{13}$ ).

$Y_2$  - кількісні параметри ємності бункера, тобто розміри, що визначають корисний об'єм. Наприклад, для циліндричної форми  $Y_{21}$  і  $Y_{22}$  – висота  $H$  і діаметр  $D$ .  $Y_{23}$  - властивості внутрішньої поверхні ємності, які впливають на коефіцієнт зовнішнього тертя  $f_3$  СМ по поверхні ємності, при цьому необхідно щоб  $f_3 \rightarrow min$ .

$V_3$  - кількісні параметри випускний воронки та випускного отвору. Сюди відносяться  $V_{31}$  - кут нахилу воронки,  $V_{32}$  - якість поверхні, що визначає коефіцієнт тертя  $f_3$ ,  $V_{33}$  - розміри отвору.

$V_4$  - параметри допоміжних пристроїв БП. Виділяємо  $V_{41}$  - наявність або відсутність допоміжних пристроїв (наприклад, скліпообрушувача, активатора або стабілізатора витікання);  $V_{42}$  - режим їх роботи (зі споживанням зовнішньої енергії або без);  $V_{43}$  - можливість регулювання їх роботи. Для БП без допоміжних пристроїв  $V_4 = 0$ .

$V_5$  - спосіб вивантаження СМ з бункеру:  $V_{51}$  - активний або пасивний,  $V_{52}$  - можливість або відсутність регулювання витратою вихідного потоку  $Q_b(t)$ .

Таким чином, отримуємо:

$$\bar{Y} = \{\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \bar{Y}_4, \bar{Y}_5\} \quad (3)$$

До зовнішніх параметрів бункерного пристрою відносяться вектори-функції характеристик фізико-механічних властивостей СМ  $\bar{X}_{\Phi M}$  та навколишнього середовища  $\bar{X}_{HC}$ .

Для побудови системної моделі виділимо основні параметри  $\bar{X}_{HC}$  з точки зору значущості їх впливу на функціонування БП.

$X_{HC1}$  - тривалість перебування СМ в бункері в стані спокою, тобто тривалість зберігання. Вплив цього фактора проявляється в збільшенні злежуваності СМ, тому що частинки знаходяться під дією тільки сил гравітації, а, отже, відбувається ущільнення СМ, збільшується зчеплення частинок між собою, матеріал втрачає свою сипкість.

$X_{HC2}$  - температура навколишнього повітря. Значні коливання температури (як в плюс, так і в мінус) призводять до зниження плинності СМ.

$X_{HC3}$  - вологовміст навколишнього повітря. Підвищення вологості призводить також до зниження плинності.

$X_{HC4}$  - спосіб завантаження сипкого матеріалу в бункер.

$X_{HC5}$  - кількість СМ, що завантажуються в бункер. Визначається об'ємом і масою сипкого матеріалу, які залежать від виробничої необхідності. Задане значення об'єму СМ визначає корисний об'єм ємності БП  $U_2$ . Значення маси СМ (обчислюється як добуток насипної густини СМ на об'єм) необхідно для розрахунків на міцність бункера.

Проаналізуємо параметри  $\bar{X}_{HC}$  при використанні бункера в складі агрегату [1].

Фактори  $X_{HC2}$  і  $X_{HC3}$  знаходяться в тісному взаємозв'язку з фактором  $X_{HC1}$ . Тобто чим довше СМ зберігається в умовах з підвищеною вологістю і високою (або низькою) температурою, тим сильніше вплив цих параметрів на властивості СМ. Однак для агрегату АПСК, в бункері якого СМ довго не зберігається, впливом цих параметрів можна знехтувати. У загальному випадку  $X_{HC1}$ ,  $X_{HC2}$  і  $X_{HC3}$  є контрольованими і керованими параметрами.

Параметр  $X_{HC4}$  надає істотний вплив на функціонування БП. За відомим способом завантаження  $X_{HC4}$  можна прогнозувати розподіл частинок СМ за діаметром та щільності їх укладання як за висотою БП, так і за прошарками. Так, при завантаженні самоплином вхідний потік матеріалу представляє собою концентрований потік. В середині БП спостерігаються яскраво виражені сегрегаційні явища: більш великі і важкі частинки накопичуються у стінок БП, легка і дрібна фракція СМ вивантажиться з бункеру першою. Крім того, ступінь ущільнення матеріалу збільшується від верхніх до нижніх прошарків, що при відкритті випускного отвору призводить до утворення нестійких склепін'я і, відповідно,

до нестабільної швидкості витікання  $V(t)$ . Інші способи завантаження практично усувають ці явища, і вихідний потік рухається за масовою формою витікання. Таким чином можна отримати рівномірну укладку частинок і насипну щільність СМ за всією висотою бункера і створити умови для  $V(t)=const$ .

$X_{HCS}$  - основний параметр технічного завдання на проектування бункера. Задається необхідним об'ємом СМ, що розміщується в БП. Для агрегату АПСК цей об'єм буде визначатися тривалістю роботи агрегату та його продуктивністю. Крім того, буде залежати і від продуктивності основного технологічного устаткування (наприклад, екструдера). У цьому випадку агрегат повинен створювати якийсь запас змішаної композиції для забезпечення безперебійної роботи екструдера, але цей запас не повинен зберігатися тривалий час (максимум до 5 годин).

Таким чином, отримуємо:

$$\bar{X}_{HC} = \{X_{HC1}, X_{HC4}, X_{HC5}\} \quad (4)$$

Для встановлення основних фізико-механічних властивостей (ФМВ) сипких матеріалів, які впливають на функціонування бункерного пристрою, проаналізуємо сучасні теорії та дослідження, що присвячені визначенню основного показника ефективності його роботи – показника продуктивності  $Z_2$  БП, при цьому враховуємо умову (1).

Під час моделювання процесу витікання з бункерних пристроїв використовують різні підходи. Це пов'язано з тим, що сипкий матеріал в якості «колективу частинок» за відповідних умов може вести себе і як тверде тіло, і як рідина, і як газ. Вивчення умов перебування СМ в бункерних пристроях дозволило виділити основні зони структурно-механічного стану СМ [4]. Однак чіткого визначення умов існування цих зон немає. Для визначення граничних умов переходу частинок СМ з одного стану в інший використовують різноманітні емпіричні залежності, які пов'язані з конкретною конструкцією бункера та певним сипким матеріалом.

Таким чином, вектор-функцію  $\bar{X}_{\Phi M}$  можна розділити на дві складові:  $\bar{X}_{\Phi M1}$  та  $\bar{X}_{\Phi M2}$  -- фізико-механічні властивості окремої частинки та сипкого матеріалу, відповідно.

В першу складову включаємо  $\bar{X}_{\Phi M11}$  - густина частинки;  $\bar{X}_{\Phi M12}$  - розміри частинки;  $\bar{X}_{\Phi M13}$  - форма частинки;  $\bar{X}_{\Phi M14}$  - мікронерівності поверхні;  $\bar{X}_{\Phi M15}$  - міцність (визначається початковим опором зрушенню);  $\bar{X}_{\Phi M16}$  - хімічний склад або походження (для окремого компонента  $\bar{X}_{\Phi M16} = const$ );  $\bar{X}_{\Phi M17}$  - температура;  $\bar{X}_{\Phi M18}$  - вологість.

У другу складову включаємо наступні параметри ФМВ сипкого матеріалу.

$\bar{X}_{\Phi M21}$  - пікнометрична густина  $\rho$ . Задаючись різним ступенем порозности  $\varepsilon$  отримуємо різні насипні (об'ємні) густини  $\rho_n = \rho (1 - \varepsilon)$ ;  $\varepsilon = V_\varepsilon / V$ , де  $V_\varepsilon$  - обсяг вільного простору. Для технологічних процесів приймають  $\varepsilon = 0,3 \dots 0,4$ .

$\bar{X}_{\Phi M22}$  - дисперсний (гранулометричний) склад сипкого матеріалу за умовним діаметром  $d_y = d_{min} \dots d_{max}$ . Цей параметр, зазвичай, характеризують за допомогою густини вірогідності та інтегральної кривої розподілення  $F(d) = \int_0^d f(x)dx$ , де  $f(x)$  – прийнятий закон розподілення.

$\bar{X}_{\Phi M23}$  - коефіцієнт внутрішнього тертя  $f$  (кут природного укусу).

$\bar{X}_{\Phi M24}$  - коефіцієнт зовнішнього тертя  $f_3$ , який залежить від матеріалу стінок бункера ( $V_{23}$ ). Вибір повинен бути таким, щоб його значення було мінімальним  $f_3 \rightarrow min$ .

Стабілізувати, а значить і керувати, до початку процесу можна наступні параметри.

$\bar{X}_{\Phi M12} \rightarrow \bar{X}_{\Phi M22}$  - подрібненням до певних розмірів, гранулюванням.

$\bar{X}_{\Phi M17}, \bar{X}_{\Phi M18}$  - сушінням, зберіганням в нормальних умовах.

$\bar{X}_{\Phi M13}$  - гранулюванням. Цей параметр багато в чому буде залежати від  $\bar{X}_{\Phi M16}$  - походження СМ.

Враховуючи вище викладене, отримуємо

$$\bar{X}_{\Phi M} = \{\bar{X}_{\Phi M1}, \bar{X}_{\Phi M2}\}, \quad (5)$$

де  $\bar{X}_{\Phi M1} = \{\bar{X}_{\Phi M11}, \bar{X}_{\Phi M12}, \bar{X}_{\Phi M13}, \bar{X}_{\Phi M14}, \bar{X}_{\Phi M15}\}$ ;  $\bar{X}_{\Phi M2} = \{\bar{X}_{\Phi M21}, \bar{X}_{\Phi M22}, \bar{X}_{\Phi M23}, \bar{X}_{\Phi M24}\}$ .

Загальна вектор-функція зовнішніх параметрів має вигляд:

$$\bar{X} = \{\bar{X}_{\Phi M1}, \bar{X}_{\Phi M2}, \bar{X}_{HC}\}. \quad (6)$$

Довжина цього вектора, тобто кількість параметрів, дорівнює  $n = 12$ .

Таким чином, системна модель бункерного пристрою з врахуванням залежностей (1)...(6) приймає вигляд:

$$\bar{Z} = F \left\{ \begin{array}{l} \bar{X}_{OC1}, \bar{X}_{OC4}, \bar{X}_{OC5} \\ \bar{X}_{\Phi M11}, \bar{X}_{\Phi M12}, \bar{X}_{\Phi M13}, \bar{X}_{\Phi M14}, \bar{X}_{\Phi M15} \\ \bar{X}_{\Phi M21}, \bar{X}_{\Phi M22}, \bar{X}_{\Phi M23}, \bar{X}_{\Phi M24} \\ \bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \bar{Y}_4, \bar{Y}_5 \end{array} \right\}, \quad (7)$$

при цьому основними заданими технологічними параметрами бункерного пристрою, як складової частини АПСК, є

$$m_i = M \cdot \Delta m_i = \text{const} (\bar{X}_{HC5}) \quad \text{та} \quad Q_B (Q_B > Q_A) = \text{const} (Z_2)$$

Системна модель (7) відображує основні стадії (елементи) плинусипкого матеріалу в бункерному пристрої та зв'язки між ними, що визначає цілісність системи, тобто видалення будь-якого елемента, призводить до порушення цілісності системи. Властивості моделі відображають властивості реального об'єкту та проявляються як через відношення між елементами моделі, так і через відношення із зовнішніми об'єктами. Системні моделі частіше за все відображають якісні відношення між елементами системи.

Параметричні моделі на відміну від системних математичних моделей встановлюють кількісний зв'язок між функціональними та допоміжними параметрами, що відображають властивості системи. Параметричні моделі можуть мати вигляд: математичних моделей, що представлені математичними формулами; структурних моделей, які відображають будову об'єкту моделювання (таблиці, схеми, графи); алгоритмічні моделі тощо.

Вище викладене у вигляді схеми параметричної моделі бункерного пристрою як першого етапу створення узагальненого алгоритму проектування наведена на рис. 1.

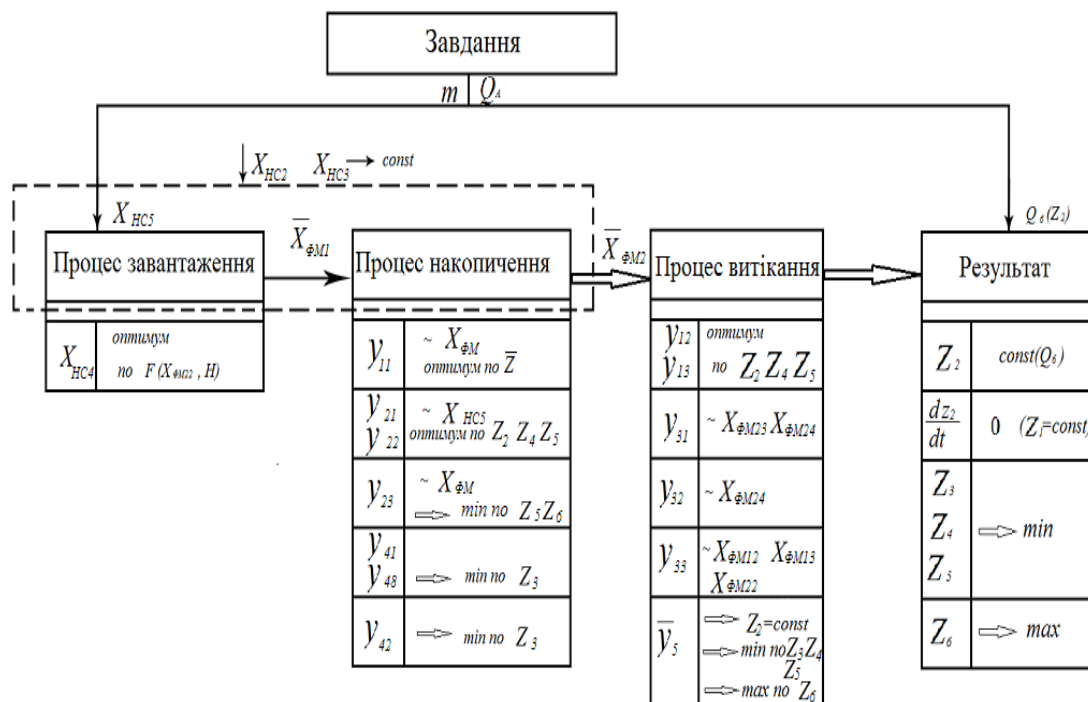


Рис. 1. Схема параметричної моделі бункерного пристрою

Перші два блоки схеми параметричної моделі відображають процеси завантаження та накопичення в бункерному пристрої, тут представлені основні параметри, що визначають ці процеси як на вході, так і на виході блоків. Ці процеси формують вектор-функцію  $X_{HC}$  (властивості сипкого матеріалу та зовнішніх впливів), які впливають на витікання сипкого матеріалу із бункеру (третій блок). На третій стадії параметри сипкого матеріалу формуються конструктивними та технологічними параметрами бункера, йому надаються властивості, що узгоджують його роботу із технологічним обладнанням (наприклад, продуктивність). На кожній стадії формування властивостей сипкого матеріалу в бункерному пристрої може здійснюватись регулювання тих чи інших параметрів, які цілеспрямовано впливають на плин сипкого матеріалу, а відповідно і на режими роботи технологічного обладнання.

**Висновки.** Отримані системна і параметрична моделі бункерних пристроїв визначили їх місце та призначення в загальній системі АПСК, виявили вплив внутрішніх і зовнішніх параметрів бункерного пристрою та сипких матеріалів на процес плину СМ. Крім того, встановлені параметри, якими можна керувати як в процесах завантаження, так і вивантаження сипких матеріалів з бункера до дозуючих пристроїв.

Запропонований підхід до аналізу роботи змішувальних комплексів дозволяє встановити раціональні конструктивні та технологічні параметри пристроїв і може бути підґрунтям для створення систем автоматичного регулювання деякими параметрами плину сипкого матеріалу та забезпечення якісних показників кінцевого продукту, отриманого в процесі змішування.



### Список використаних джерел

1. Кострицький В.В., Біла Т.Я. Основні принципи організації процесу приготування сипких композицій в агрегатах безперервної дії// Вісник КНУТД № 5 (т.2), 2010, С.20-23.
2. Генералов М.Б. Механика твердых дисперсных сред в процессах химической технологии: уч. пос. для вузов / М.Б. Генералов. Калуга: Изд-во Н.Бочарой, 2002. – 592 с.
3. Островский Г.М. Прикладная механика неоднородных сред / Г.М. Островский. СПб.: Наука, 2000. – 359 с.
4. Процессы и аппараты химической технологи. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: в 5 т. Т.2. Механические и гидромеханические процессы / Д.А.Баранов и др. Под ред. А.М. Кутепова. М.: Логос, 2001. – 600 с.

### References

1. Kostytskyi V.V., Bila T.Y. Osnovni pryntsyipy orhanizatsii protsesu pryhotuvannia sypkykh kompozytsii v ahrehatakh bezperervnoi dii// Visnyk KNUTD No. 5 (Vol. 2), 2010, pp.20-23.
2. Heneralov M.B. Mekhanyka tverdykh dyspersnykh sred v protsessakh khymycheskoi tekhnolohyy: uch. pos. dlia vuzov / M.B. Heneralov. Kaluha: Yzd-vo N.Bocharoi, 2002. – 592 p.
3. Ostrovskiy H.M. Prykladnaia mekhanika neodnorodnykh sred / H.M. Ostrovskiy. SPb.: Nauka, 2000. – 359 p.
4. Protsessy i apparaty khymycheskoi tekhnolohy. Yavleniya perenosa, makrokinetyka, podobyie, modelyrovanye, proektyrovanye: v 5 t. T.2. Mekhanycheskye y hydromekhanycheskye protsessy / D.A.Baranov y dr. Pod red. A.M. Kutepova. M.: Lohos, 2001. – 600 p.

### **СИСТЕМНАЯ И ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛИ БУНКЕРНЫХ УСТРОЙСТВ В АГРЕГАТАХ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИЙ ИЗ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ**

СТАЦЕНКО В.В., БЕЛАЯ Т.Я., БУРМИСТЕНКОВ А.П.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Установление связей между технологическими и конструктивными параметрами бункерных устройств и сыпучей среды.

**Методика.** В работе использованы методы системного анализа в области течения сыпучих материалов и методы построения системных и параметрических математических моделей.

**Результаты.** Получены системная и параметрическая модели бункерных устройств, выявлено влияние внутренних и внешних параметров бункерного устройства и сыпучих материалов на процесс их течения. Установлены параметры, которыми можно управлять как в процессе загрузки, так и выгрузки сыпучих материалов из бункера к дозирующим устройствам.

**Научная новизна.** Предложены системная и параметрическая модели, связывающие параметры сыпучей среды, технологические и конструктивные параметры бункеров.

**Практическая значимость.** Полученные результаты позволяют устанавливать конструктивные и прогнозировать технологические параметры используемых устройств.

**Ключевые слова:** бункер, сыпучие материалы, модели течения, системный подход, параметры.

## SYSTEMATIC AND PARAMETRIC MODELS OF BUNKER DEVICES IN THE AGGREGATES FOR PREPARING LOOSE MATERIALS COMPOSITIONS

STATSENKO V.V., BILA T.Y., BURMISTENKOV O.P.

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Purpose.** The relations identifying between bunker devices technological and constructive parameters and loose medium.

**Methodology.** System analysis methods in the field of loose materials flow and methods of the system and parametric mathematical models construction were used in the study.

**Findings.** System and parametric models of batcher devices were developed, the influence was revealed of bunker devices and loose materials internal and external parameters on their flow process. Parameters that can be controlled during the processes of loose materials loading and unloading from the batcher to the dosing devices were found.

**Originality.** System and parametric model that linking the parameters of loose material and batchers technological and constructive parameters are proposed.

**Practical value.** The results allow to determine constructive and predict technological parameters of the devices.

**Keywords:** *batcher, loose materials, flow model, a systematic approach, the parameters.*