

**Висновки.** Щоб підтвердити чи задовольняє описана фізико-математична модель CFD явища, що відбуваються в розроблених авторами газорідних ежекторах заплановані імітаційні експерименти. План проведення експериментальних досліджень включає аналіз роботи ежектора як на докритичних, так і на граничних режимах (експериментальні точки задовільно укладаються на теоретичні криві напірних характеристик). Потрібно відмітити, що досягнення надкритичних режимів може бути обумовлено структурою, утвореною щільністю крапель рідини. Можна очікувати, що в першому випадку на всьому периметрі змішувальної камери спостерігається бурхливий газорідний рух, а в другому випадку на вихідній ділянці камери змішування спостерігається ламінарний рух.

#### **Література.**

1. A Guide to Improving the Performance of Your Drying and Blow-off Applications with WindJet. // Catalog.- U.S.A.: Air Products Publishing, - 2014. – 20 p.
2. Пажи, Д. Г. Распылители жидкости / Д. Г. Пажи, В. С. Галустов -М.: Химия, 1979. – 216 с.
3. Kryvoplyas-Volodina, L. Research of dynamic process in the pneumatic cylinder system of double action at the stable movement/ Journal of food and packaging science technique and technologies. - 2014p. – Volum2.- Year III, №4. – С. 138-142.
4. Best Practice Guidelines for the Use of CFD in Nuclear Reactor Safety Applications. Nea/CSNI/R, (2007)5, 154 p.
5. Assessment of CFD Codes for Nuclear Reactor Safety Problems. Nea/CSNI/R, (2007)13, 180 p.
6. Extension of CFD Codes Application to Two-Phase Flow Safety Problems (Phase 2). Nea/CSNI/R, (2007)13.

**Гавва О.М., д.т.н., Токарчук С.В., к.т.н., Сокол А.В.**

*Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна*

### **ДОЗУВАННЯ ТА ФАСУВАННЯ СИПКИХ СУМІШЕЙ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**

**Вступ.** Попит населення на готові харчові продукти або напівфабрикати щорічно зростає. Такі продукти здебільшого є сумішшю різних складових компонентів із різними фізико-механічними властивостями. До таких продуктів можна віднести суміші сипких продуктів, так наприклад пластівці і родзинки або шматочки горіхів тощо. Дозування такої продукції загально відомими способами – ваговим або об'ємним. У випадку коли вага частинок продукції наближено однакова, то ніяких проблем із якістю пакування немає. Поряд із цим у випадках коли частинки мають різну вагу на різних стадіях їх переміщення відбувається розділення на фракції, що приводить до різної кількості складових компонентів в упаковці та відповідне розшарування – легка фракція зверху, а важка внизу упаковки. Для подолання цієї проблеми застосовують два способи пакування:

- перший – в одній упаковці формують кілька ємностей для різних складових сумішей;
- другий – дозування здійснюють окремими дозаторами, а під час фасування під дією відцентрових сил, або дії робочих органів відбувається змішування складових суміші.

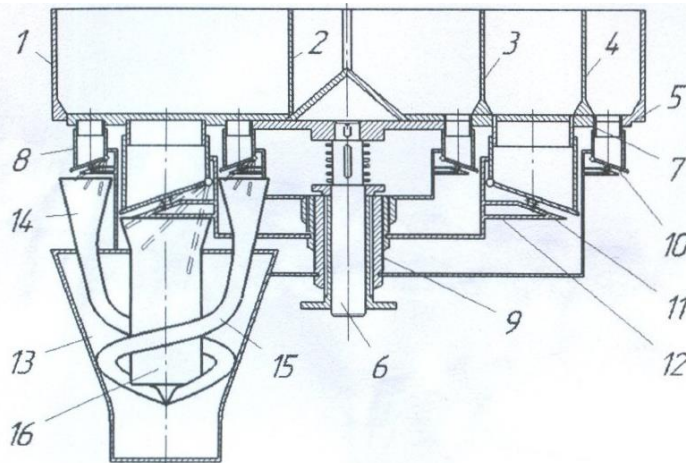
Реалізація першого способу пакування приводить до ускладнення конструкцій як упаковки, так і дозувально-фасувальної машини та створює деякі незручності для споживача.

За другого способу ускладнюється конструкція дозувально-фасувального модуля машини, поряд із цим упаковка може мати будь-яку конструкцію і споживач одержує готову суміш продукту. Під час реалізації цього способу важливим є забезпечення цілісності всіх компонентів суміші при їх транспортуванні та змішуванні.

**Матеріали та методи.** Для вирішення завдання щодо точності дозування компонентів суміші, їх рівномірного розподілення по всьому об'єму продукції, а також забезпечення цілісності всіх компонентів суміші запропоновано нову конструкцію модуля дозування та формування.

Визначення раціональних геометричних параметрів такого модуля здійснювалося методами математичного модулювання руху частинок сипкої продукції як по вертикальному продуктопроводу, так і по конічній гвинтовій лінії.

**Результати досліджень.** Дозувально-фасувальний модуль складається із бункера 1 (рис. 1), який поділено перегородками 2 на зони дозування і фасування. У зоні дозування концентричними перегородками 3 та 4 бункер поділено на ємності, які заповнюються різними компонентами сипкого продукту.



*Рисунок 1 - Принципова схема модуля дозування і фасування*

До днища бункера 1 прикріплено рухомий диск 5. Обертається диск від вертикального вала 6. До диска 5 прикріплено верхні стакани 7 стаканчикова дозатора. Нижні стаканчики 8 прикріплені до механізмів регулювання їх у вертикальному напрямку 9. Днище стаканів закривають клапани 10, які утримуються через ролик 11 копіром 12. У зоні розвантаження (фасування) встановлена лійка 13, у середині якої змонтовано напрямні 14, 15, 16 продуктопроводу. Конструктивні виконання продуктопроводів такі, що забезпечують одночасне переміщення компонентів сипких продуктів у вихідну частину лійки, яка входить у горловину упаковки. У нижній частині лійки відбувається перемішування компонентів за рахунок їх складного руху.

Достатньо якісне змішування компонентів сипкої продукції буде за умови, коли осьова швидкість (по вертикалі) легкої і важкої фракції на виході із продуктопроводів 14, 15 та 16 буде однаковою. Для забезпечення цієї умови продуктопроводи 14 та 15 можуть бути виконані із різним кроком гвинтової лінії та кутом формоутворення конуса.

Конічну гвинтову лінію в нерухомій системі координат хуз можна описати рівняннями виду:

$$\begin{cases} x = a \cdot \cos \varphi; \\ y = a \cdot \sin \varphi; \\ z = b \cdot \varphi. \end{cases} \quad (1)$$

при  $\varphi \in [0; \varphi_{\max}]$ ,

де  $a$ ,  $b$  – гвинтові параметри, що визначаються через геометричні параметри конуса

$$a = R - \frac{P}{2\pi} \cdot \varphi \cdot \operatorname{tg} \beta; b = \left[ R - \frac{P}{2\pi} \cdot \varphi \cdot \operatorname{tg} \beta \right] \cdot \operatorname{tg} \beta;$$

$R$  – радіус основи конуса;  $P$  – крок гвинтової лінії;  $\beta$  – половинний кут при вершині конуса;  $\varphi$  – кут переміщення матеріальної частини сипкої продукції по конічній гвинтовій лінії.

Кут підйому конічної гвинтової лінії за умови її побудови на поверхні зрізаного конуса можна визначити за виразом:

$$Q = \arctg \left[ \frac{P}{\sqrt{P^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta + 4\pi^2 (R - Z \operatorname{tg} \beta)^2}} \right] \quad (2)$$

де  $z$  – поточне значення відстані у напрямку від більшої до меншої основи конуса,  $Z \in [0; H_0]$ ;  $H_0$  – відстань між основами конуса.

Параметри руху сипкої продукції по конічній гвинтовій лінії визначимо змодельовавши рух матеріальної частини масою  $m_1$ .

Рух матеріальної частини по гравітаційній поверхні, що має профіль конічної гвинтової ліній у загальному випадку можна записати такою системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\vartheta_1}{dt} = g \cdot \cos \psi - f(g \cdot \cos \omega + \vartheta_1^2 \cdot k_n); \\ \vartheta_1^2 \cdot k_g = g \cdot \cos \gamma \end{array} \right\} \quad (3)$$

де  $\vartheta_1$  – швидкість матеріальної частинки;  $g$  – гравітаційне прискорення;  $f$  – коефіцієнт тертя матеріальної частинки по гравітаційній поверхні;  $\psi$ ,  $\omega$ ,  $\gamma$  – кути, що визначаються кривиною поверхні заданою параметричними рівняннями (1);  $k_n$ ,  $k_g$  – нормальна та геодезична кривина траєкторії руху матеріальної частинки.

Рух матеріальної частинки легкої фракції (вертикальний продуктопровід) можна описати рівнянням:

$$\frac{d\vartheta_{2z}}{dt} = g - \frac{F_a}{m_2}, \quad (4)$$

де  $\vartheta_{2z}$  – вертикальна складова швидкості руху матеріальної частинки легкої фракції;  $m_2$  – маса матеріальної частинки;  $F_a$  – сила аеродинамічного опору переміщення матеріальної частинки легкої фракції.

Розв'язавши систему рівнянь (3) за умови  $\vartheta_{1z} = \vartheta_{2z}$  при  $z = H_0$  можна визначити раціональні параметри продуктопроводів і тривалість операцій дозування та фасування.

**Висновки.** Розроблена конструкція модуля дозування та фасування суміші сипкої продукції дає можливість забезпечити точність дозування складових продукції, рівномірне розподілення їх по об'єму упаковки, а також зменшити енерговитрати на попереднє змішування компонентів сипкої продукції. На основі результатів математичного моделювання визначені раціональні параметри продуктопроводів дозувально-фасувального модуля, що забезпечують якісне перемішування продукції.

### Література

1. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Пакувальне обладнання в 3 кн. – 1 кн. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару/ За ред. О.М. Гавви. – Київ: ІАЦ «Упаковка», 2008. – 436 с.
2. Василенко П.М. Теорія движения частини по шероховатим поверхностям сільськогосподарських машин/П.М. Василенко. – К.: УАСХН, 1960. – 283 с.
3. Уточнена теорія руху матеріальної точки по гравітаційним поверхням сільськогосподарських машин/ Булгаков В.М., Калетнік Г.М., Кравченко І.Є., Пилипака С.Ф. Науковий вісник ТДАТУ. – 2016 – Випуск 1, том 2 – 1 – 14 с.
4. Онисько О.Р. Аналітичне дослідження руху точки різальної кромки різьбового різця у процесі формоутворення конічної гвинтової нарізи на трубах нафтогазового сортаменту/ Науковий вісник ІФНТУНГ – 2016 – №1 – 50-56 с.