

**Міністерство освіти і науки України
Клуб пакувальників України
Національний університет харчових технологій
АТ «Київський міжнародний контрактний ярмарок»**

**Матеріали доповідей
XVI Науково-практичної конференції
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ
«Новітні технології пакування»**

Додаток до журналу «Упаковка®»



За підтримки:



Київ — 2017

ЗМІСТ

І.І. Івіцький, к.т.н., І.О. Мікульонок, д.т.н., О.Л. Сокольський, к.т.н., <i>НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i> Визначення в'язкості полімерного матеріалу під час орієнтування пакувальної плівки.....	5
Д.К. Івіцька, В.Г. Баженов, к.т.н., І.І. Івіцький, к.т.н., <i>НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i> Контроль товщини пакувальної плівки електростатичним методом.....	7
Ю.Ю. Герасименко, О.Л. Сокольський, к.т.н., <i>НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i> Моделювання процесу плавлення в пристроях для зварювання з присадним матеріалом.....	9
С.Р. Костирко, М.М. Племянніков, к.т.н., <i>НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i> Спектральний метод оцінки світлозахисної дії типових барвників для скляної тари.....	12
О.О. Гриценко, ВПІ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ Виготовлення нанофотонних маркувань для розумних пакувань трафаретним способом друку.....	15
О.О. Бойко, к.т.н., С.М. Мироненко, НУХТ, м. Київ Вплив зниження тиску на руйнування стінок клітин продукту в процесі вакуумування.....	19
В.Ю. Олішкевич, І.І. Регей, д.т.н., УАД, м. Львів Обґрунтування реалізації ротаційного виламування обрізків з відштанцьованих картонних заготовок у штанцьовальному обладнанні.....	21
В.Ф. Могучова, к.с.-г.н., ЛНАУ, м. Харків Дослідження різної транспортної упаковки для вершкового масла на молочних підприємствах.....	24
І.І. Івіцький, к.т.н., В.І. Сівецький, к.т.н., О.Є. Колосов, д.т.н., О.Л. Сокольський, к.т.н., НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ Застосування інтелектуальних датчиків під час контролю цілісності упаковки для небезпечних вантажів.....	27

В.М. Витвицький, І.О. Мікульонок, д.т.н., О.Л. Сокольський, к.т.н., НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ Розрахунок процесу транспортування гранульованих матеріалів у шнекових машинах.....	29
К.І. Золотухіна, к.т.н., ВПІ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ Оптимізація компонентного складу зволожувального розчину для друкування пакування офсетним способом.....	31
В.В. Пустова, Р.А. Хохлова, к.т.н., НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ Пошук антибактеріальних речовин для екологічно чистих флексографічних фарб.....	34
Ю.П. Шоловій, к.т.н., Н.І. Магерус, В.Д. Червоняк, НУ «ЛП», м. Львів Обґрунтування параметрів фрикційного механізму повороту блока відсічних дисків вібраційного об'ємного дозатора.....	36
І.В. Коваленко, к.т.н., Є.М. Глинський, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ Явище склепіння під час пакування матеріалу.....	39
О.М. Горчакова, М.В. Якимчук, д.т.н., О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ Визначення коефіцієнтів витрат у дозувальних пристроях для рідкої продукції.....	42
В.М. Якимчук, Б.В. Михайлик, О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ Аналіз та дослідження вагових дозаторів періодичної дії для рідкої продукції.....	45
С.П. Лисенко, А.В. Деренівська, к.т.н., О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ Дослідження динамічних параметрів функціонального модуля виділення одиничного піддона зі стопи в пакетоформуєчих машинах.....	49
Л.О. Кривопляс-Володіна, к.т.н., О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ Інтегровані рішення компонувань пакувальних машин-автоматів у технологічних системах.....	51
Д.С. Гриценко, к.т.н., ВПІ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ Періодичний привод транспортувальної системи тамподрукарської машини.....	54

Визначення в'язкості полімерного матеріалу під час орієнтування пакувальної плівки

І.І. Івіцький, к.т.н., І.О. Мікульонок, д.т.н., О.Л. Сокольський, к.т.н., НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

У процесі виготовлення орієнтованої полімерної пакувальної плівки, зокрема методом роздуву, виникають напруження видовження, які можуть значною мірою впливати на характеристики готового виробу та призводити до появи браку. Крім того, вони впливають на ефективну в'язкість полімеру, яка відіграє важливу роль під час налаштування робочих режимів у багатьох процесах, наприклад, при витягуванні, формуванні роздуванням або литтям, і яку часто ігнорують через складність в оцінці.

У загальному вигляді в'язкість при одновісному орієнтуванні (видовженні):

$$\eta_e = \frac{\sigma_e}{\dot{\varepsilon}}, \quad (1)$$

де $\dot{\varepsilon}$ – швидкість видовження, с^{-1} ; σ_e – напруження розтягу, Па.

Напруження розтягу визначається:

$$\sigma_e = \frac{3}{8} \Delta P_e (n+1), \quad (2)$$

де ΔP_e – перепад тиску на виході з формуючого каналу, Па; n – індекс течії розплаву полімеру.

Швидкість видовження:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{L_0}^{L_1} \frac{\partial L}{L},$$

де L_0 – початкова довжина зразка, м; L_1 – кінцева довжина зразка, м.

Складність оцінки швидкості видовження полягає в неможливості контролю початкової та кінцевої довжини зразка в безперервному виробничому процесі.

Метод Когсвелла [1] є альтернативним способом визначення швидкості видовження. Маючи дані з перепаду тиску на вході, можна визначити швидкість видовження:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{4\eta\dot{\gamma}^2}{3(n+1)\Delta P_e}, \quad (3)$$

де η – зсувна в'язкість, Па·с; $\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву, с^{-1} .

Підставивши рівняння (2) та (3) у (1), отримаємо:

$$\eta_e = \frac{9(n+1)^2 \Delta P_e^2}{32\eta\dot{\gamma}^2}. \quad (4)$$

Залежність (4) надає можливість здійснювати оцінку величини в'язкості при видовженні під час безперервного технологічного процесу виробництва полімерної пакувальної плівки.

Залежно від типу матеріалу вигляд залежності в'язкості при видовженні від швидкості видовження буде відрізнятися. Найтипівіші залежності зображено на рисунку [2].

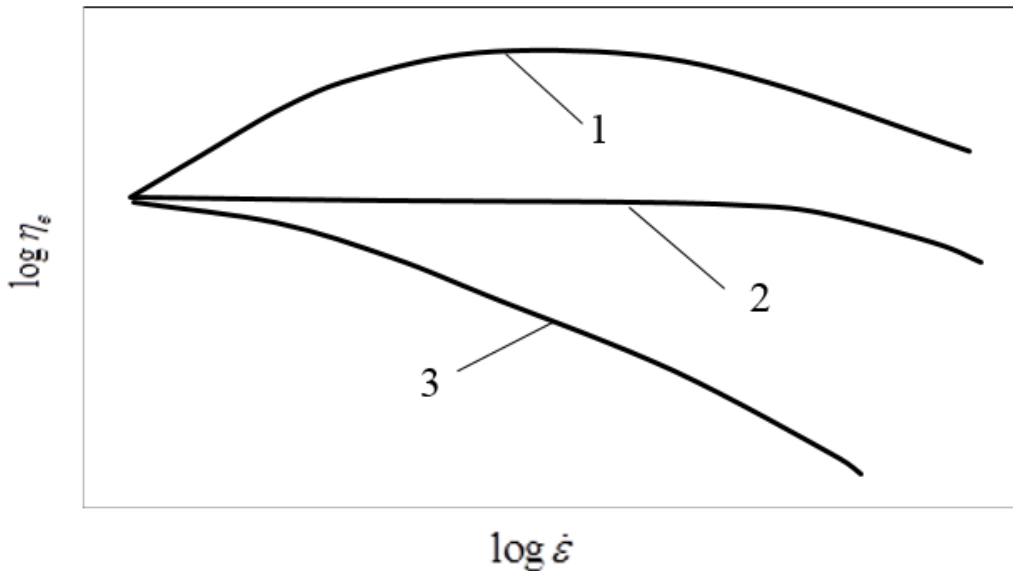


Рисунок. Залежність в'язкості полімерів з розгалуженими молекулами (1), лінійних полімерів (2) та полімерів з широким молекулярно-масовим розподілом при видовженні від швидкості видовження

Як видно з рисунка, молекулярно-масовий розподіл полімеру має значний вплив на залежність в'язкості при видовженні від швидкості видовження. Полімери з різним характером зміни в'язкості при видовженні мають різну поведінку під час виробництва, зокрема, в ході видування пакувальної плівки вони приймають різну форму.

Висновки

Врахування в'язкості при видовженні під час виготовлення полімерної пакувальної плівки є важливим завданням, поведінка плівки значною мірою залежить від характеру молекулярної будови полімеру. Отримана залежність в'язкості при видовженні від швидкості видовження дає можливість здійснювати оцінку величини в'язкості при видовженні в ході безперервного технологічного процесу виробництва полімерної пакувальної плівки.

Література

1. Cogswell F.N. Converging flow of polymer melts in extrusion dies / F.N. Cogswell // Polymer Engineering and Science. – 1972. – Vol. 12. – Issue 1. – P. 64–73.
2. Реология полимерных расплавов: теория, техника испытаний и прикладные процессы / Марко Бронзони. – Мадрид: CEAST SpA, 2003. – 96 с.

Контроль товщини пакувальної плівки електростатичним методом

Д.К. Івіцька, В.Г. Баженов, к.т.н., І.І. Івіцький, к.т.н., НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

У процесі виробництва пакувальної плівки контроль товщини одержуваної продукції може здійснюватися за допомогою широкого спектра вимірювальних засобів.

Найбільш поширено вимірювання за допомогою механічного мікрометра з відрізанням зразка плівки та контролю її товщини. Проте такі виміри проводяться не в точці, а за певною площею поверхні плівки. Але чим менше буде площа плями вимірювання, тим більша ймовірність отримання результату, ближчого до середньої товщини. У разі вимірювання товщини плівки механічним способом визначається її максимальне значення в плямі виміру, яке завищується відносно середнього значення через наявність нерівностей і забруднень на поверхні. Разом з тим при механічному контакті відбувається деформація плівки.

У цей час для безперервного контролю товщини плівки в ході виробництва широко застосовують електростатичний метод, заснований на відмінності діелектричної проникності повітря і полімерного матеріалу. Перевага методу – у здійсненні одностороннього доступу до плівки (рисунок).

Ємність конденсатора з роз'єднаними пластинами, що виконують роль одночасно і джерела електричного поля, і чутливого елемента, є в цьому методі первинним інформативним параметром, який залежить від товщини плівки, що проходить повз пластин.

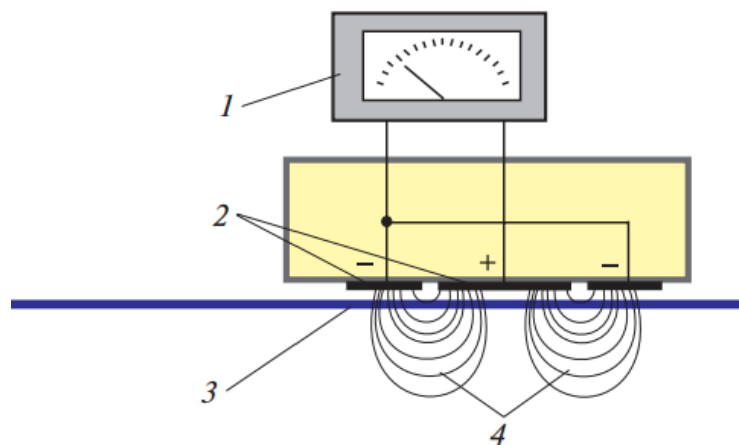


Рисунок. Схема електростатичного методу вимірювання товщини плівки: 1 – вимірювач ємності конденсатора зі стрілочним індикатором; 2 – обкладання конденсатора; 3 – плівка; 4 – схематичне зображення електромагнітного поля розсіювання, створюваного конденсатором

Сучасне виробниче обладнання дає можливість змінювати геометрію формуючої головки в реальному часі залежно від відхилення товщини виробу від заданої. Блок керування обладнанням перетворює інформацію про поточну товщину виробу в сигнали, які передає виконавчому пристрою, що здійснює регулювання геометрії.

Вимірювання товщини плівки для автоматичної корекції доцільно здійснювати за допомогою цифрового електростатичного амплітудно-фазового способу неруйнівного контролю з використанням ортогональних опорних сигналів та цифрової обробки сигналів [1].

Використання цього способу може значно підвищити точність вимірювання товщини плівки, крім того, дати можливість з великою точністю вимірювати різницю товщини плівки в сусідніх точках. У цьому разі крайні вимірювальні електроди будуть використовуватися окремо (рисунок). Значне підвищення точності вимірювань різниці товщини плівки відбувається внаслідок того, що значення величини заряду, що індукується в двох вимірювальних електродах датчика, за різної товщини плівки буде різним, і ця різниця буде пропорційна різниці товщини плівки. Основні джерела завади знаходяться на значній відстані від двох вимірювальних електродів датчика, тому невелика різниця відстані між електродами не впливає на амплітуду та фазу індукованого заряду від цих джерел завади в обох вимірювальних електродах датчика. Таким чином, величина складової сигналу, що отримують від джерела завади на виході підсилювачів, буде однаковою, а це зумовить її компенсацію на виході диференційного підсилювача. Використання цифрової обробки інформації в цьому способі дасть можливість значно підвищити точність вимірювання не тільки товщини плівки, але і її різниці в сусідніх точках, спростити автоматизацію процесу контролю, дистанційну передачу, накопичення, документування та візуалізацію отриманих результатів контролю товщини.

Товщина зразка має безпосередній вплив на реакцію електрода. Для непровідного зразка, якщо товщина зразка мала, електричне поле буде проникати через зразок. Якщо товщина зразка збільшуватиметься, загалом все електричне поле буде знаходитися в межах зразка, а електрод стане нечутливим до товщини, яка перевищує критичну товщину.

Крім того, розміри електродів впливають на точність та достовірність даних, що отримуються. Тому окремим питанням, яке варто розглянути, є знаходження оптимальних форми та площі електродів залежно від товщини контрольованої плівки.

Висновки

Застосування електростатичного методу контролю товщини виробу в парі з формуючою головкою, що здатна змінювати геометрію, дозволяє здійснювати неперервний контроль точності розмірів отримуваної продукції з автоматичним коригуванням відхилень від заданої величини товщини.

Література

1. Пат. 109357 Україна, МПК G 01 B 7/00, G 01 N 27/22. Електростатичний амплітудно-фазовий спосіб неруйнівного контролю / Баженов В.Г., Івіцька Д.К., Овчарук С.А., Муненко В.Л.; заявник та власник Баженов В.Г. – №а201404947; заявл. 12.05.14; опубл. 10.08.15, Бюл. № 15.

Моделювання процесу плавлення в пристроях для зварювання з присадним матеріалом

Ю.Ю. Герасименко, О.Л. Сокольський, к.т.н., НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

Зварювання з присадним матеріалом широко застосовується через простоту, високу продуктивність, різноманітні технологічні можливості, високу якість зварних з'єднань. Цей тип зварювання доцільно використовувати за високих швидкостей подачі розплаву в шов і максимальної його маси. У виробництві полімерної та картонно-паперової упаковки та пакуванні продукції в неї цей тип зварювання має значні переваги порівняно зі склеюванням завдяки швидкості з'єднання, відсутності періоду висихання та шкідливих випаровувань.

Технологію такого зварювання засновано на використанні тепла від розплавленого присадного матеріалу, який подається між поверхнями, що сполучаються [1]. Матеріал передає частину свого тепла, що веде до плавлення поверхні деталей та отримання нероз'ємного з'єднання. Для забезпечення процесу зварювання присадний матеріал повинен мати температуру на 40–80 °С вищу за температуру текучості полімеру. При зварюванні розплавленим прутком розплав надходить з прутка шляхом його нагрівання й розплавлення в пристроях прямоочного типу, звідки він видавлюється крізь сопло.

Метою проведених досліджень було визначення швидкості подачі прутка полімерного матеріалу, необхідної для досягнення заданої температури по його осі на вході в сопло.

Для визначення кінцевої температури при проходженні циліндричного прутка крізь нагрівальний канал застосовано методику розрахунку теплопровідності за нестационарних умов [2].

Температурне поле за нестационарних умов описується як функція, яка зазвичай представляється графічною залежністю:

$$\theta = f(Bi, Fo),$$

де θ – безрозмірна температура:

$$\theta = \frac{t_k - t_{cep}}{t_n - t_{cep}},$$

t_k , t_n – кінцева та початкова температури прутка, що нагрівається, °С; t_{cep} – температура нагрітої стінки каналу, °С.

Критерій Біо:

$$Bi = \frac{\alpha l}{\lambda_m},$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К); l – радіус циліндра, м; λ_m – коефіцієнт теплопровідності матеріалу виробу. Оскільки використовуємо граничні умови першого роду, приймаємо Bi найбільшим з наявних на графічній залежності [2].

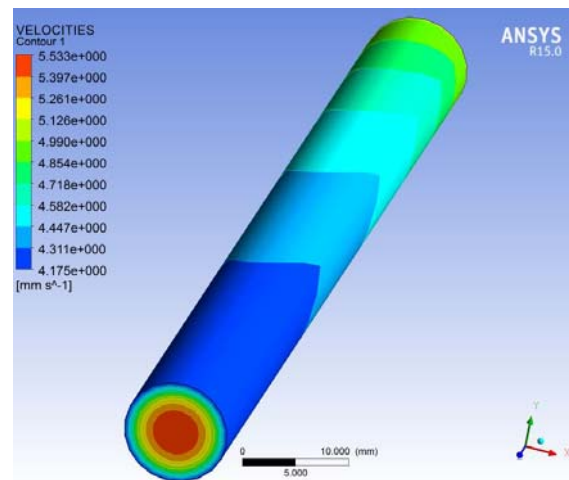
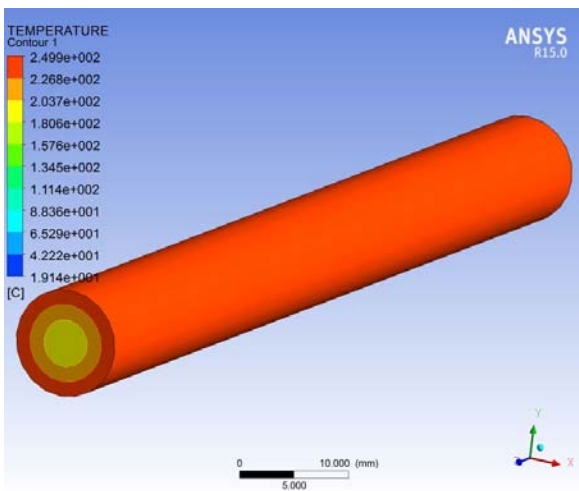
Критерій Фур'є:

$$Fo = \frac{a_m \tau}{l^2},$$

де a_m – коефіцієнт температуропровідності матеріалу виробу, $\text{м}^2/\text{с}$; τ – час нагрівання, с.

Для проведених розрахунків було прийнято такі вихідні дані:

$a_m = 1,17 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$; $l = 5 \text{ мм}$; $t_n = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{cep} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$; $\tau = 20 \text{ с}$ (відповідає швидкості руху прутка 5 мм/с). Діаметр прутка становив 10 мм , матеріал – поліетилен низької густини. Теплові граничні умови на стінці приймалися 3 роду: температура стінки дорівнює $250 \text{ }^\circ\text{C}$, коефіцієнт тепловіддачі з поверхнею для такої швидкості становить за дослідженнями [3] $70 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.



а)

б)

Рис. 1. Розподіл температур (а) та швидкостей руху (б) за вхідної швидкості прутка 5 мм/с

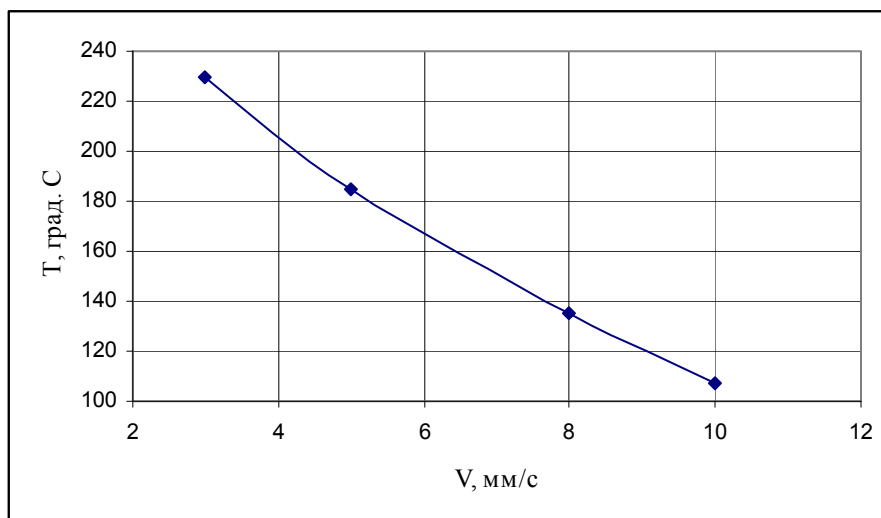


Рис. 2. Залежність температури на осі прутка від швидкості подачі

У результаті розрахунку значення кінцевої температури на осі прутка дорівнювало 146 °С. Проте такий розрахунок не враховує умов тертя прутка по стінці каналу та дисипативних ефектів, що виникають внаслідок цього.

Для уточненого дослідження ефективності плавлення прутка присадного матеріалу в циліндричному нагрівальному каналі було проведено серію числових експериментів у середовищі Ansys Polyflow [4] за різних значень швидкості подачі прутка в діапазоні 3–10 мм/с.

Приклад розподілу температур та швидкостей руху матеріалу за вхідної швидкості прутка 5 мм/с показано на рис. 1.

Зі збільшенням швидкості подачі температура прутка на виході зменшується і після досягнення швидкості 10 мм/с по осі становить 107 °С, що менше температури розм'якшення матеріалу – 110 °С. Залежність температури на осі прутка на виході між швидкістю його подачі показано на рис. 2.

Висновок

Оскільки з вище сказаного витікає, що температура матеріалу має становити не менш 150 °С, то швидкість подачі прутка не має перевищувати 7 мм/с.

Література

1. *Комаров Г.В.* Способы соединения деталей из пластических масс [Текст] / Г.В. Комаров. – М.: Химия, 1979. – 288 с.
2. *Коваленко І.В.* Розрахунки основних процесів, машин та апаратів хімічних виробництв [Текст]: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / І.В. Коваленко, В.В. Малиновський. – К.: Норіта-плюс, 2007. – 216 с.
3. *Самойлов М.С.* Тепло- и массообмен в неньютоновских жидкостях [Текст] / М.С. Самойлов, Н.В. Тябин. – М.: «Энергия», 1968. – 287 с.
4. ANSYS Polyflow User's Guide. – Canonsburg: ANSYS, Inc., 2013. – 790 p.

Спектральний метод оцінки світлозахисної дії типових барвників для скляної тари

С.Р. Костурко, М.М. Племянніков, к.т.н., НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

У наш час із розширенням обсягу виробництва фасованих продуктів зростає потреба в пакувальних матеріалах і їх асортименті. Продукти й речовини, які потребують пакування, висувають особливі вимоги до пакувальних матеріалів. Скло в основному відповідає цим вимогам.

Багато харчових продуктів, лікарські препарати, хімічні реактиви чутливі до ультрафіолетового випромінювання та короткохвильової частини видимого діапазону електромагнітного випромінювання. Під дією такого випромінювання у вмісті скляної тари можуть відбуватися фотохімічні й фотобіохімічні процеси. У результаті фармацевтичні і хімічні препарати можуть змінити свій склад, а харчові продукти втратити свої смакові якості й зовнішній товарний вигляд. Серед таких продуктів, що найбільш масово випускаються, варто назвати вино й пиво [1]. Якщо тарне скло практично непрозоре для ультрафіолету, то короткохвильова частина видимого діапазону чинить саме таку згубну дію. Це – так званий актинічний інтервал (380–500 нм; промені: фіолетовий, синій, блакитний).

Такі товари пакують у скляну тару, забарвлену, як правило, у коричневі або зелені кольори. Подекуди виробники продукції віддають перевагу створенню нового бренду, нового ексклюзивного зовнішнього вигляду скляної тари. Проте вони не мають забувати про світлозахисні властивості скла для такої тари.

Оцінка світлозахисної дії може бути зроблена органолептичним методом (дегустацією). Але для об'єктивної оцінки бажано використовувати кількісні показники. Нами був запропонований оригінальний метод, заснований на моделюванні такої дії світла на хімічну речовину, що також зазнає фотохімічне перетворення, а саме – галоїдне срібло [2].

У цій роботі на підставі спектроскопічних досліджень зроблено спробу дати якісну й кількісну оцінку світлозахисних властивостей спеціально синтезованих модельних зразків скла. Вони мали типовий хімічний склад пляшкового скла. Забарвлення здійснювалося барвниками: Cr_2O_3 ; Fe_2O_3 ; FeO ; FeS .

Спектрально-оптичні дослідження зразків проводили у видимому діапазоні 380÷750 нм з інтервалом 10 нм за наступним алгоритмом.

1. Експериментально визначили спектральну залежність монохроматичного

коефіцієнта пропускання T_λ при товщині скла $H = 2$ мм. $T_\lambda = \frac{I_\lambda}{I_{\lambda 0}}$, де

$I_{\lambda 0}, I_\lambda$ – монохроматичні інтенсивності випромінювання, що падає на зразок і проходить крізь нього.

2. Розрахували монохроматичний коефіцієнт поглинання K_λ на підставі

закону Ламберта-Бера: $K_\lambda = \frac{\lg(T_\lambda)}{\lg e \cdot H}$.

3. Розрахували інтенсивність випромінювання, що проходить крізь шар скла товщиною 2, 3 і 4 мм за формулою: $I_\lambda = B_{(\lambda,T)} \cdot e^{-K_\lambda \cdot H}$
4. Розрахували за законом Планка спектральну залежність інтенсивності випромінювання денного світла: $B_{(\lambda,T)} = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)}$
5. Розрахували початкову інтегральну інтенсивність випромінювання денного світла в діапазоні 380–500 нм: $I^0_{380-500} = \int_{380}^{500} \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} d\lambda$
6. Розрахували інтегральну інтенсивність випромінювання денного світла, що пройшло крізь пластину товщиною 2, 3 і 4 мм у діапазоні 380–500 нм: $I^H_{380-500} = \int_{380}^{500} \left[\left(\frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} \right) \cdot e^{-K_\lambda \cdot H} \right] \cdot d\lambda$
7. Розрахували коефіцієнт ослаблення для кожної товщини за формулою: $k = \frac{I^0_{380-500}}{I^H_{380-500}}$

Графічну інтерпретацію алгоритму розрахунків наведено на рис. 1.

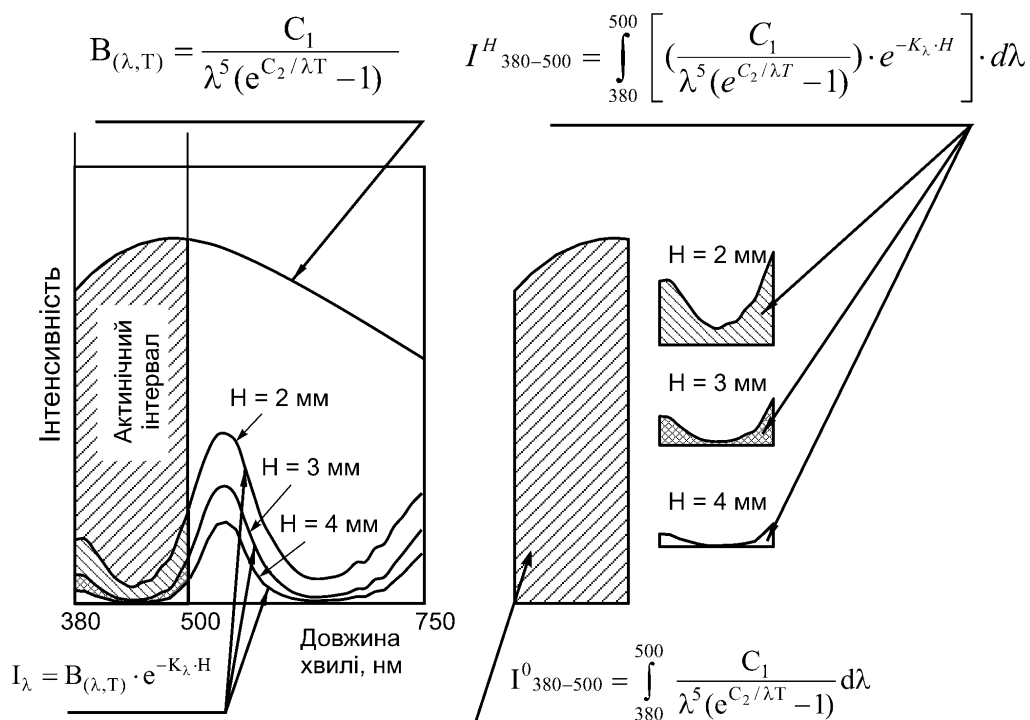


Рис. 1. Графічна інтерпретація розрахунків кратності ослаблення

Спектральні характеристики досліджених зразків скла, оброблені за вищевказаним алгоритмом, наведено на рис. 2.

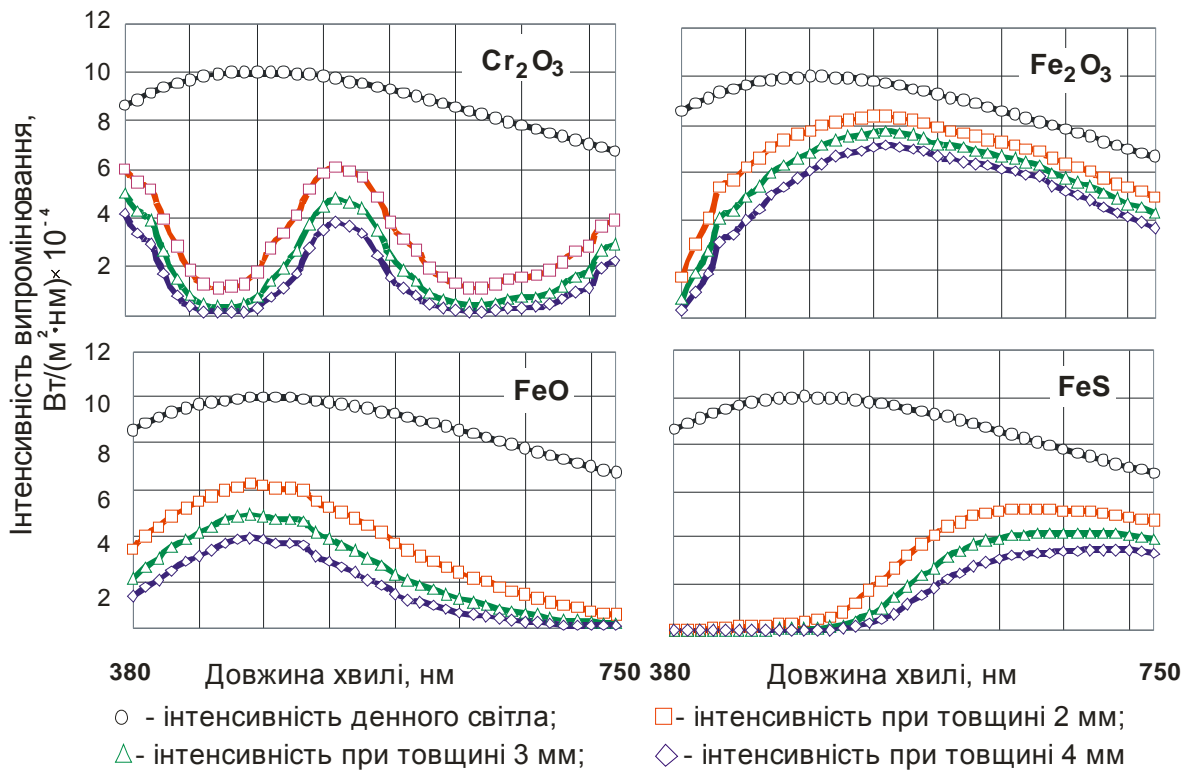


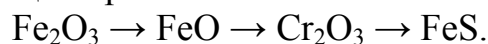
Рис. 2. Розрахунок показників світлозахисних властивостей зразків скла

Підсумкові значення коефіцієнта ослаблення світлової енергії в актинічному інтервалі 380–500 нм наведено в таблиці.

Таблиця.
Кратність ослаблення світлової енергії

Барвник	Коефіцієнт ослаблення світлової енергії при товщині, мм		
	2	3	4
Cr ₂ O ₃ (2 %)	3	6	9
Fe ₂ O ₃ (2 %)	1,6	1,9	2,3
FeO (2 %)	1,8	2,4	3,1
FeS (2 %)	46	253	1315

Як випливає з таблиці, модельні зразки скла в порядку зростання світлозахисних властивостей можна розташувати в наступному порядку (за умови сталості концентрації барвного компонента – 2 %):



Література

1. Влияние цвета стекла бутылки на качество вина / Н.Г. Сарисвили, В.Н. Новикова, А.Т. Горошкова, Г.И. Полякова. – ВиВ СССР, 1987. – № 2. – С. 35–37.
2. Племянников М.М., Костирко С.Р. Забарвлена скляна тара для вина та пива // Упаковка. – № 6. – 2015. – С. 23–27.

Виготовлення нанофотонних маркувань для розумних пакувань трафаретним способом друку

О.О. Грищенко, ВПІ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

Для виготовлення пакувань з гнучких матеріалів широко використовують полімерні матеріали. Перспективним є їх використання для виготовлення розумних пакувань, здатних інформувати споживача про стан запакованого продукту (харчів, косметики тощо) шляхом зміни стану активного маркування. Як активні маркування для таких пакувань можна використовувати так звані нанофотонні компоненти, тобто нанорозмірні речовини з унікальними властивостями, які можуть змінювати колір і/або інтенсивність люмінесценції в результаті контакту з речовинами, які свідчать про псування харчових продуктів. Наночастинки карбону разом з наночастинками оксиду цинку і срібла можуть бути включені до складу фарбових композицій [1, 2] для подальшого нанесення поліграфічними методами на поверхні пакувань з метою виготовлення нанофотонних маркувань для розумних пакувань.

Трафаретний спосіб друку дає можливість наносити фарбу на задруковуваний матеріал відносно товстими шарами – до 100 мкм і навіть більше [3]. Використовуючи поліграфічні методи нанесення фарбових композицій з нанофотонними елементами, зокрема трафаретного друку, необхідно враховувати вплив технологічних факторів друкарського процесу на люмінесцентні властивості одержуваних відбитків.

Метою цього дослідження є встановлення впливу товщини фарбового шару на відбитку і властивостей поверхні поліпропіленової плівки як задрукованого матеріалу на люмінесцентні властивості відбитків за умови використання фарбових композицій з наночастинками карбону.

Було здійснено нанесення трафаретним друком розроблених фарбових композицій на два види поліпропіленової плівки: глянцева і матова; в 1, 2, 3 і 4 шари для варіювання товщини фарбового шару на відбитку; із вмістом люмінесцентної складової (водного розчину наночастинок карбону) 80 %.

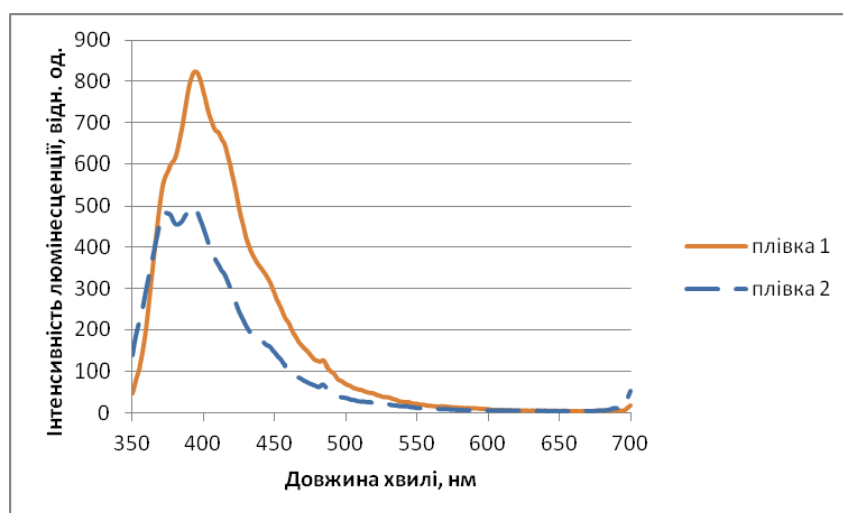
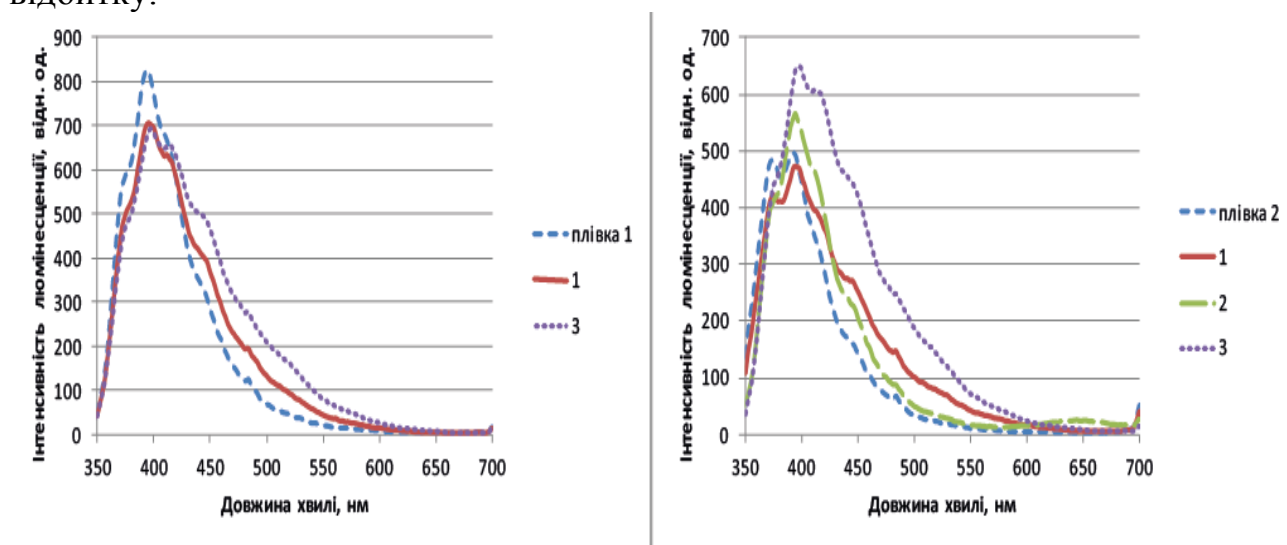


Рис. 1. Спектри люмінесценції поліпропіленових плівок: 1 – глянцева, 2 – матова. $\lambda_{збудж} = 330$ нм

Кожен наступний шар наносився після повного висихання попереднього шару. Товщина фарбових шарів була розрахована ваговим методом і становила: для 1 шару – 5 ± 1 мкм, для 2 шарів – 12 ± 1 мкм, для 3 шарів – 18 ± 2 мкм, для 4 шарів – 24 ± 2 мкм.

Для запису спектрів люмінесценції зразків було використано флуоресцентний спектрометр Perkin Elmer LS 55, довжина хвилі світла збудження люмінесценції $\lambda_{\text{збудж}} = 330$ нм.

Було обрано два типи поліпропіленової плівки, які мають однаковий ряд товщин, але різняться оптичними властивостями і шорсткістю поверхні. На рис. 1 наведено спектри люмінесценції обраних поліпропіленових плівок. На рис. 2 наведено спектри люмінесценції нанесених трафаретним друком фарбових композицій на полімерні плівки за різної товщини фарбового шару на відбитку.



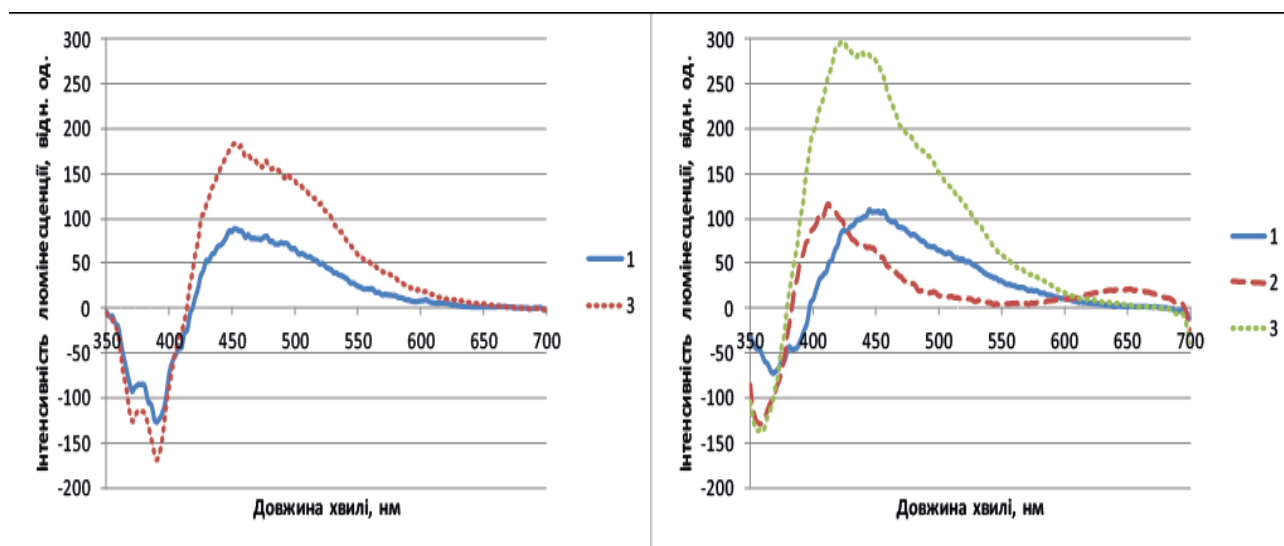
а) б)
Рис. 2. Спектри люмінесценції нанесених трафаретним друком фарбових композицій на полімерні плівки (а – плівка 1; б – плівка 2) за різної товщини фарбового шару на відбитку (кількість шарів фарби вказано на легенді рисунку). $\lambda_{\text{збудж}} = 330$ нм

Як видно з рис. 2, зі збільшенням товщини шару фарби на відбитку відбувається зростання інтенсивності люмінесценції відбитків в області видимого спектра $\lambda > 450$ нм.

Для вивчення впливу задрукованого матеріалу на люмінесценцію відбитків було розраховано спектри власної люмінесценції фарбових композицій із наночастинками карбону на полімерних плівках, одержані шляхом віднімання інтенсивностей люмінесценції задрукованих ділянок від інтенсивностей люмінесценції відповідного матеріалу в незадрукованих ділянках. Їх наведено на рис. 3.

Як видно з рис. 3, загалом форма (характер) спектра люмінесценції відбитків незначно залежить від типу плівки, на якій здійснювалося друкування, – спектри власної люмінесценції мають пік за $\lambda = 450$ нм. Від’ємна ділянка спектра означає, що в цій області спектра (до 400 нм) відбувається поглинання

люмінесценції плівки фарбовою композицією на відбитку. Однак, на відміну від друку на паперових матеріалах, під час друку на плівці з меншою інтенсивністю люмінесценції можна одержувати більшу інтенсивність власної люмінесценції фарбових шарів на відбитках.



а)

б)

Рис. 3. *Спектри власної люмінесценції нанесених трафаретним друком фарбових композицій на полімерні плівки (а – плівка 1; б – плівка 2) за різної товщини фарбового шару на відбитку (кількість шарів фарби вказано на легенді рисунку). $\lambda_{збудж} = 330$ нм*

Отже, встановлено, що в процесі виготовлення люмінесцентних маркувань трафаретним друком з використанням фарбових композицій на основі наночастинок карбону на поліпропіленових плівках варто враховувати наступне:

- зі збільшенням товщини шару фарби на відбитку відбувається зростання інтенсивності люмінесценції відбитків в області видимого спектра $\lambda > 450$ нм;
- форма (характер) спектра люмінесценції відбитків незначно залежить від типу полімерної плівки, на якій здійснювалося друкування, – спектри власної люмінесценції мають пік за $\lambda = 450$ нм;
- у разі друкування на полімерній плівці з меншою інтенсивністю люмінесценції можна одержувати більшу інтенсивність власної люмінесценції фарбових шарів на відбитках.

Встановлені закономірності дають змогу керувати кольором та інтенсивністю люмінесценції друкованих маркувань для розумних пакувань на поліпропіленових плівках шляхом варіювання товщини шару фарби на відбитку і типу поверхні поліпропіленової плівки.

Публікація містить результати досліджень, проведених за грантової підтримки Держаного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом Ф64/10-2016 від 28.03.16.

Література

1. *Сарапулова О.О.* Нанопотонні та нанофотокаталітичні системи для друкованих пакувань. Проблеми створення / О.О. Сарапулова, В.П. Шерстюк // Упаковка. – 2013. – № 6. – С. 30–34.
2. *Sarapulova O.* Luminescent hybrid nanocomposites and prospects of molecular and nanophotonic systems in modern packaging and printing / O. Sarapulova, V. Sherstiuk // Electronic Processes in Organic Materials. 9th International Conference Abstracts. May 20–24, 2013, Lviv, Ukraine. – Lviv, 2013. – 122 p. – P. 106–107.
3. *Ткачук М.П.* Трафаретний друк: Навчальний посібник. – Київ: «ХаГар», 2000. – 264 с.

Вплив зниження тиску на руйнування стінок клітин продукту в процесі вакуумування

О.О. Бойко, к.т.н., С.М. Мироненко, НУХТ, м. Київ

На термін зберігання запакованої харчової продукції значний вплив має інтенсивність хімічних та біологічних перетворень у поверхневому шарі. Суттєве значення при цьому відіграють наявність та склад газової фази, яка перебуває в контакті з продукцією. Особливе значення має концентрація кисню та вуглекислого газу. Найбільш економним та надійним шляхом зниження їх впливу на заповнений продукт є вакуумне пакування.

Водночас однією з проблем під час пакування харчової продукції в герметичну упаковку зі створенням зниженого тиску в її об'ємі є поява певної кількості рідини в упаковці. Її поява серед інших причин пов'язана з виділенням клітинної рідини внаслідок руйнування клітинних мембран, яка викликана різницею тисків усередині продукту та в об'ємі самої тари.

До початку вакуумування тиск у навколишньому просторі та всередині клітин перебуває в стані рівноваги, але вона порушується з моменту початку відкачування повітря з упаковки. При досягненні в тарі рівня розрідження, який буде відповідати початку адіабатного кипіння рідини за поточної температури продукту, відбувається руйнування клітинних оболонок. Цей процес пов'язаний з виділенням усередині клітин зародків бульбашок газової фази та їх розширенням внаслідок адіабатного випаровування рідкої фази та виділення розчиненої газової фази.

Розмір критичного (мінімального) зародку R_{min} можна визначити за рівнянням, яке можна подати в наступному вигляді:

$$R_{min} = \frac{2\sigma_{p-g}}{k\Delta C} = \frac{2\sigma_{p-g}}{\Delta p}$$

де σ_{p-g} – поверхневий натяг на межі поділу фаз рідина–газ; k – константа Генрі; ΔC – пересичення розчину газом; Δp – різниця між парціальним тиском усередині клітини та упаковки.

Так, швидкість випаровування речовини в замкнений простір визначається за наступним рівнянням [5]:

$$K_{вип}^1 = \alpha (p_{парц}^{нас} - p_{парц}^{ном}) \sqrt{\frac{M_{вип}}{2\pi RT}}$$

де α – коефіцієнт випаровування, який враховує чистоту розчину та умови випаровування; $p_{парц}^{нас}$ – парціальний тиск усередині клітини; $p_{парц}^{ном}$ – поточне значення парціального тиску в об'ємі газової бульбашки; $M_{вип}$ – молекулярна маса речовини, яка випаровується. Оскільки в нашому випадку випаровується вода, то $M_{вип} = 18$.

При цьому коефіцієнт випаровування α можна обчислити, використовуючи наступну залежність:

$$\alpha = \left(\frac{p_{розч}^0}{p_{вип}^0} \right) \sqrt{\frac{M_{вип}}{M_{розч}}},$$

де $p_{розч}^0$ та $p_{вип}^0$ – тиск чистих парів розчинника та речовини, яка випаровується, за температури T ; $M_{розч}$ – молекулярна маса розчинника.

Як видно з наведених вище залежностей, значення R_{min} та $K_{вип}^1$, а, відповідно, і початок процесу адіабатного кипіння всередині клітин залежать від параметрів клітинної рідини. Це означає, що для кожного продукту за однакової температури тиск початку адіабатного кипіння клітинної рідини буде різним.

Варто зазначити, що за повільного зниження тиску всередині упаковки на процес починає впливати ще один фактор – швидкість дифузії рідкої та газової фази через клітинну оболонку. У цьому разі частина газової фази може бути видаленою клітиною в навколишнє середовище.

Обґрунтування реалізації ротаційного виламування обрізків з відштанцьованих картонних заготовок у штанцювальному обладнанні

В.Ю. Олішкевич, І.І. Регей, д.т.н., УАД, м. Львів

У сучасних аркушевих штанцювальних машинах інтегровано автономні операційні технічні модулі. Вони укомплектовані пневматичним самонакладом, пресом, секціями виламування обрізків та роз'єднування розгортки, приймальним пристроєм. У секцію виламування обрізків відштанцьований картонний аркуш потрапляє цільним, хоча після попередньої операції в ньому висічені контури розгортки, а в них – пробіговані лінії згину. Незалежно від конфігурації розгортки P (рис. 1а) складовими картонного аркуша є переднє $ПП$ та бокові $БП$ поля, внутрішні обрізки $ВО$, заднє поле $ЗП$. Технологічним процесом секції передбачено виламування внутрішніх обрізків $ВО$ та видалення заднього поля $ЗП$. До наступної секції відштанцьована картонна заготовка потрапляє з висіченими розгортками P (рис. 1б), з'єднаними між собою, з боковими полями та переднім полем вузькими перемичками.

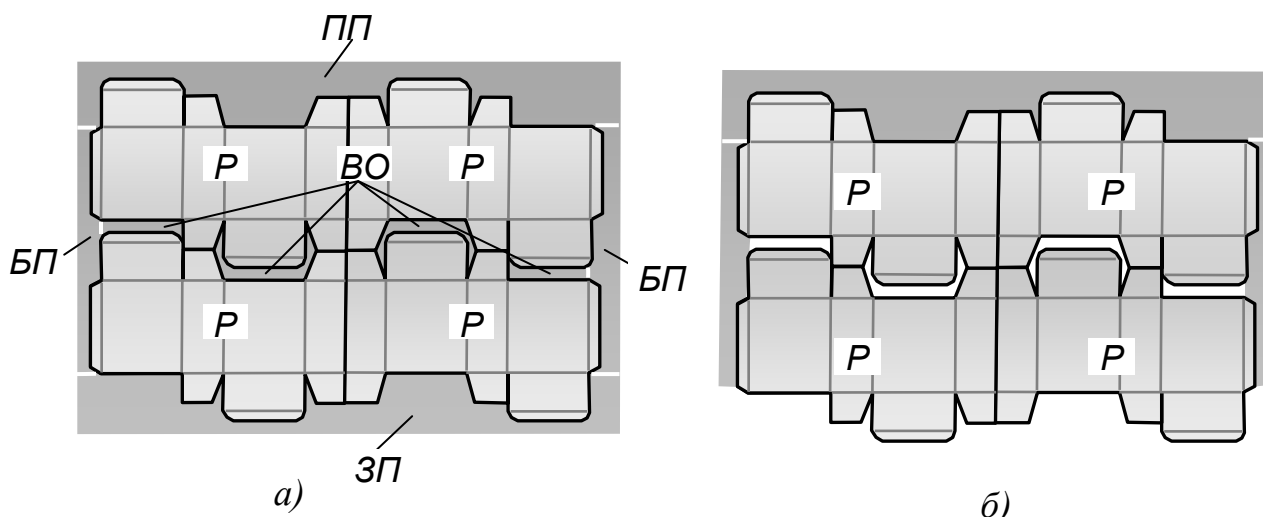


Рис. 1. Відштанцьований картонний аркуш (а); відштанцьований картонний аркуш з видаленими внутрішніми обрізками та заднім полем (б)

Секція виламування обрізків складається з верхньої рухомої плити 1 (рис. 2), на якій зафіксовані інструменти 2, нерухомої матричної плити 3 з отворами, конфігурація яких повторює форму картонних обрізків, нижньої рухомої рами 4 з підпружиненими телескопічними штифтами 5. Видалення обрізків відбувається за повної зупинки відштанцьованого картонного аркуша $ВКЗ$ на матричній плиті 3. Зустрічний рух інструментів 2 і штифтів 5 призводить спочатку до фіксування ділянок картону, що підлягають виведенню, далі – до руйнування тонких перемичок та проштовхування обрізків через отвори матричної плити 3. Така конструкція секції реалізує статичний спосіб виламування картонних обрізків, який ґрунтується на їх фіксуванні парою інструментів з верхнього та нижнього боків. На підприємствах з продукуванням картонної тари набув поширення динамічний спосіб, що ґрунтується на використанні тільки одного комплексу інструментів, розташованих на верхній плиті. Ефект нового способу полягає в примусовому проштовхуванні

різнопрофільних обрізків через отвори матриці меншого розміру і пов'язаний з пружною деформацією картонних елементів.

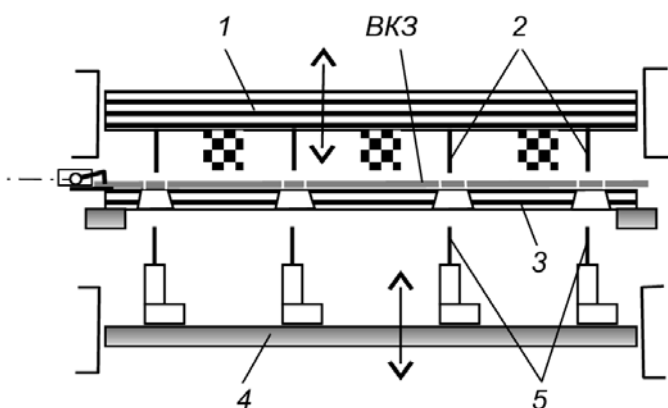


Рис. 2. Схема секції виламування обрізків з відштанцьованої картонної заготовки

Практика експлуатації аркушевих штанцювальних автоматів свідчить, що секції з пристроями виламування обрізків, роз'єднування та виведення розгорток з відштанцьованих картонних заготовок за габаритами аналогічні секції штанцювання, що в сукупності зумовлює значні габарити обладнання та його металомісткість, а наявність циклових механізмів ускладнює конструкцію пристроїв і викликає інерційні навантаження рухомих мас.

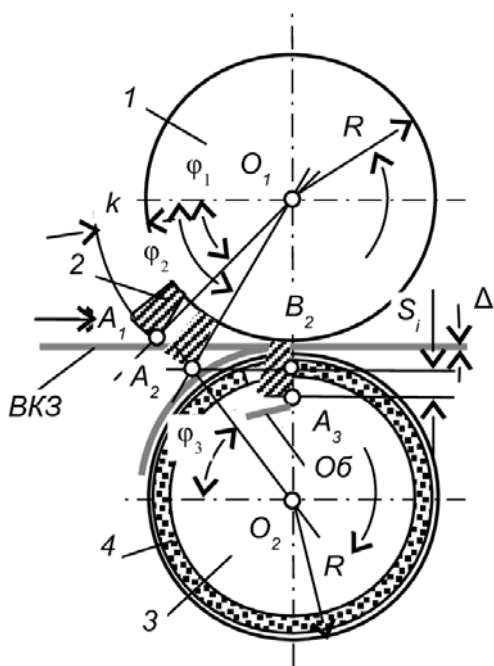


Рис. 3. Схема до розрахунку параметрів процесу ротаційного виламування обрізків з відштанцьованого аркуша

Запропоновано метод та пристрій ротаційного виламування обрізків [1], що включає верхній циліндр 1 (рис. 3) з центром обертання O_1 із інструментами 2 (зображено один), нижній циліндр 3 з центром обертання O_2 із матрицею 4, що являє собою рукав з отворами відповідно до конфігурації обрізків. Процес виламування обрізків з відштанцьованої картонної заготовки ВКЗ відбувається протягом трьох фаз: обертання верхнього циліндра 1 на кут φ_1 супроводжується контактом інструмента 2 з поверхнею аркуша ВКЗ у точці A_1 ; поворот циліндра на кут φ_2 призводить до подачі ділянки картону, що підлягає виламуванню, до отвору матриці 4 (точка A_2); виламування ділянки Об шляхом проникнення інструмента 2 у профільований отвір (на рисунку не позначено). При цьому

робочий інструмент переміщується з точки A_2 в точку A_3 (вертикальне переміщення складає S_i).

Для проведення аналітичних досліджень використано метод застосування відносних геометричних параметрів елементів ротаційного засобу. Прийнято, що радіус циліндрів $R_i = 1,0$. Тоді відносний розмір інструментів $k_i = 0,05; 0,075; 0,1$, а відносна товщина картону $\Delta_i = 0,005; 0,0075; 0,01$.

Для визначення кута φ_2 розглянемо трикутник $O_1A_2O_2$. У ньому:

$$(R_i + \Delta_i)^2 = (R_i + k_i)^2 + (2R_i + \Delta_i)^2 - 2(R_i + k_i)(2R_i + \Delta_i)\cos(90^\circ - \varphi_2). \quad (1)$$

З виразу (1) знаходимо шуканий кут:

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{2R_i^2 + R_i \cdot k_i + R_i \cdot \Delta_i + 0,5k_i^2}{(R_i + k_i)(2R_i + \Delta_i)}. \quad (2)$$

Кут φ_3 повороту циліндра 3 з матрицею 4 визначаємо з цього ж трикутника:

$$\varphi_3 = \arcsin \frac{2R_i^2 + 3R_i \cdot \Delta_i + \Delta_i^2 - R_i \cdot k_i - 0,5k_i^2}{(R_i + \Delta_i)(2R_i + \Delta_i)}.$$

Вертикальне зміщення S_i ділянки картону Ob інструментом 2 відбувається протягом фази повороту верхнього циліндра на кут від φ_2 до $\varphi = 90^\circ$, а нижнього – від φ_3 до $\varphi = 90^\circ$.

Окрім того, $S_i = O_1A_3 - O_1B_2$, або поточне значення:

$$S_i = (R_i + k_i)(\sin \varphi_{2i} - \sin \varphi_2), \quad (3)$$

де $\varphi_2 \leq \varphi_{2i} \leq 90^\circ$.

Відносну швидкість вертикального виламування обрізків знайдемо диференціюванням виразу (3):

$$V_i = \frac{dS_i}{dt} = \frac{dS_i}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = (R_i + k_i)\omega_1 \cdot \cos \varphi_{2i}, \quad (4)$$

де ω_1 – кутова швидкість верхнього циліндра 1.

Важливим параметром процесу ротаційного виламування обрізків є відносне вертикальне прискорення робочої поверхні інструментів. Його знайдемо диференціюванням виразу (4):

$$W_i = \frac{dV_i}{dt} = (-1)(R_i + k_i)\omega_1^2 \cdot \sin \varphi_{2i}. \quad (5)$$

Отримані залежності для визначення кінематичних параметрів процесу ротаційного виламування картонних обрізків з відштанцьованих аркушів формують аналітичну базу для обґрунтування конструкції ротаційного пристрою.

Література

1. Патент на винахід № 113365 України, МПК В26F 1/02, В26F 1/40, В31В 1/24. Спосіб видалення обрізків з відштанцьованих картонних заготовок та пристрій для його реалізації / І.І. Регей, В.Ю. Олішкевич; заявник та власник пат. Укр. академ. друкарства. – № а2015 12662; заявл. 21.12.2015; опубл. 10.01.2017. Бюл. № 1. – 2 с.

Дослідження різної транспортної упаковки для вершкового масла на молочних підприємствах

В.Ф. Могутова, к.с.-г.н., ЛНАУ, м. Харків

Транспортне пакування – це та тара, у якій перевозять та зберігають молочний продукт. Першою чергою її використовують під час транспортування. Крім того, цей різновид упаковки застосовують і на складах. Транспортне пакування може захищати безпосередньо сам молочний продукт або споживче пакування із продуктом від впливу зовнішніх факторів і призначене для забезпечення зручності транспортування та зберігання. До транспортної тари належать картонні і полімерні коробки.

За сферою обігу транспортну тару розділяють на разову та багатооборотну. Коли в транспортне пакування розміщують споживче пакування з продуктом, матеріал транспортного пакування безпосередньо не контактує з молочним продуктом. У цьому разі транспортне пакування насамперед захищає від впливу зовнішніх факторів та ушкоджень споживче пакування, створює необхідні умови для його транспортування і зберігання [1].

Якщо молочну продукцію безпосередньо пакують у транспортне пакування, пакувальний матеріал не тільки захищає продукт, але й може впливати на якість упакованого продукту і забезпечення його безпеки. Безпосередньо в транспортну тару можна фасувати вершкове масло, спреди, сир, сметану, згущене молоко та інші продукти переробки молока, що мають пастоподібний або твердий стан [2].

Попередньо транспортну тару, як правило, вистилають пергаментом або підпергаментом різних марок, або використовують пакети-вкладиші з полімерних матеріалів. У цьому разі дуже важливо правильно вибрати пакувальний матеріал, який безпосередньо контактує з молочною продукцією. При цьому варто враховувати не тільки основні вимоги, висунуті до таропакувальних матеріалів, такі як висока механічна міцність, низька водо- і світлопроникність, жиростійкість, харчова нешкідливість, гарні технологічні показники, привабливий зовнішній вигляд, порівняно низька вартість, але й температурні параметри, за яких продукт пакується і буде зберігатися протягом передбачуваного періоду його зберігання [3].

Дослідженням упаковки для вершкового масла встановлено, що як транспортну тару для вершкового масла масою до 20 кг використовують ящики з тарного склеєного картону і гофрованого картону декількох типорозмірів. Перед пакуванням масла (моноліт) картонні ящики вистилають пакувальним матеріалом, використовуючи при цьому пергамент або пакети-вкладиші з полімерних матеріалів. Перевагою пергаменту є можливість нанесення на нього логотипів широкою гамою кольорів та різноманітного дизайну. Такий матеріал служить своєрідною візитівкою виробника, що дозволяє відрізнити його продукцію від інших та уникнути фальсифікації.

Вершкове масло зберігається за низьких позитивних і негативних температур. При цьому внутрішня поверхня ящиків з вершковим маслом вистелена пергаментом або пакетом-вкладишем з полімерної плівки.

У таблиці наведено зміну складу масла вершкового залежно від виду упаковки.

Таблиця.
Зміна складу масла вершкового залежно від виду упаковки

Показники	Пакувальні матеріали	
	полімерні пакети-вкладиші	пергамент
Масова частка вологи на поверхневі (штаффу масла, %)		
• свіжого	25,0	25,0
• після зберігання	23,9	12,7
Природні втрати, г	3,8	35,0
Кількість штаффу, г	150,0	278,0
Кількість штаффу, %	0,70	1,44

Дані таблиці свідчать про переваги пакета-вкладиша: порівняно з пергаментною упаковкою масова частка вологи в маслі зберігається краще, втрати в процесі зберігання та штаффу мінімальні.

За умови використання пакета-вкладиша на поверхні моноліту практично не утворюється штаффу (за мінусових температур) або утворюється в невеликій кількості (за низьких плюсових температур).

Дослідження показали, що в разі використання пергаменту для вистилання ящика відбувається інтенсивніше утворення штаффу. Природна втрата вершкового масла в разі заміни пергаменту на пакет-вкладиш скорочується в середньому в 5–6 разів.

Застосування пакетів-вкладишів дозволяє знизити витрати на підготовку тари на 10–12 % (внаслідок виключення ручних операцій (розрізання пергаменту і вистилання ящиків) і, відповідно, підвищити санітарну культуру виробництва і продуктивність праці. Зручність використання пакетів-вкладишів з полімерних плівок під час фасування масла монолітами, їх висока ефективність як пакувального матеріалу і низька вартість забезпечать їм широке застосування і перспективу.

Встановлено, що в процесі зберігання вершкового масла, упакованого в пакет-вкладиш, за низьких позитивних температур на поверхні моноліту іноді розвивається пліснява. Пліснявіння поверхневого шару вершкового масла може бути викликане наявністю сприятливих умов для розвитку плісняви навіть за умов незначної її наявності в продукті. У процесі зберігання відбувається випаровування вологи з моноліту масла. Плівка перешкоджає видаленню цієї вологи, внаслідок чого під нею підтримується парниковий ефект, що є сприятливою умовою для розвитку плісняви.

За мінусових температур вершкове масло в пакетах-вкладишах не пліснявіє. Тому їх рекомендують використовувати на підприємстві як пакувальний матеріал для вершкового масла, що пакується на тривале зберігання за мінусових температур.

У процесі зберігання вершкового масла за низьких позитивних температурних режимів використовують пергамент або підпергамент для вистилання ящиків з маслом.

Таким чином, на молочних підприємствах пакування вершкового масла проводять за допомогою як пакета-вкладиша з полімерної плівки, так і пергаменту, але перевагу віддають пакету-вкладишу для зберігання вершкового масла за мінусових температур.

Література

1. *Федотова О.А.* Об упаковке цельномолочной продукции / О.А. Федотова // Тара и упаковка. – 2001. – № 2. – С. 16–17.
2. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры: в 3-х томах. – Т. 2. Масло. – СПб.: ГИОРД, 2002. – 336 с.
3. *Сухарева Л.А.* Тароупаковочные материалы в производстве и хранении пищевой продукции // Л.А. Сухарева, В.С. Яковлев, Е.И. Мжачик. – М.: Пищепромиздат, 2003. – 556 с.

Застосування інтелектуальних датчиків під час контролю цілісності упаковки для небезпечних вантажів

І.І. Івіцький, к.т.н., В.І. Сівецький, к.т.н., О.Є. Колосов, д.т.н., О.Л. Сокольський, к.т.н., НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

Згідно з [1], перевозячи небезпечні вантажі будь-яким видом транспорту, необхідно здійснювати контроль цілісності упаковки, незалежно від її типу, на кожному проміжному пункті прямування вантажу.

До традиційних методів контролю цілісності упаковки належать візуальний, ультразвуковий та радіаційний. Проте зазначені методи можна здійснювати лише періодично, із застосуванням людських ресурсів, крім того, вони займають певний час.

Здійснення неперервного онлайн-моніторингу цілісності упаковки для небезпечних вантажів дозволить вирішити цілу низку проблем, пов'язаних з їх транспортуванням.

Введення в упаковку, зокрема полімерну, інтелектуальних датчиків дозволить проводити дистанційний контроль та моніторинг напружено-деформованого стану упаковки безпосередньо під час транспортування та зберігання в режимі реального часу.

Інтелектуальний датчик – це мініатюрний вимірювальний пристрій у вигляді конструктивної сукупності одного або декількох вимірювальних перетворювачів величини, яка вимірюється і контролюється. Датчик виробляє вихідний сигнал, зручний для дистанційного передавання, зберігання та використання в системах керування, і має нормовані характеристики [2].

Датчики, які отримують і обробляють сигнали, що виникають в умовах механічного впливу на матеріал, використовують процеси акустичної, електронної, молекулярної, електромагнітної емісії.

Імпульси електромагнітного поля реєструються під час зародження та розвитку тріщин, розриву волокон, розшарування матеріалу. Електромагнітна емісія дозволяє прогнозувати з високою точністю міцність упаковки, граничні навантаження, залишковий ресурс роботи упаковки, що експлуатується в умовах статичного, динамічного, вібраційного навантаження. У разі дії на матеріал динамічних навантажень (удар, імпульсний акустичний або тепловий вплив) емісія виникає як у точці впливу, так і в напрямку поширення акустичних хвиль і несе інформацію про внутрішню будову матеріалу.

На рисунку зображено схему контролю цілісності упаковки для небезпечних вантажів. Вона складається з корпусу упаковки 1 та введеного в нього інтелектуального датчика 2, комбінованого приймача сигналу, підсилювача та аналого-цифрового перетворювача 3, бездротових передавача 4 та приймача 5, комп'ютера для приймання та аналізу даних 6.

При цьому інтелектуальних датчиків та приймачів сигналу може бути декілька, по кількості необхідних точок контролю.

Бездротова передача даних з блока приймання сигналу до комп'ютера може здійснюватися за допомогою технології Bluetooth, що дає змогу встановлювати зв'язок у межах 15 м.

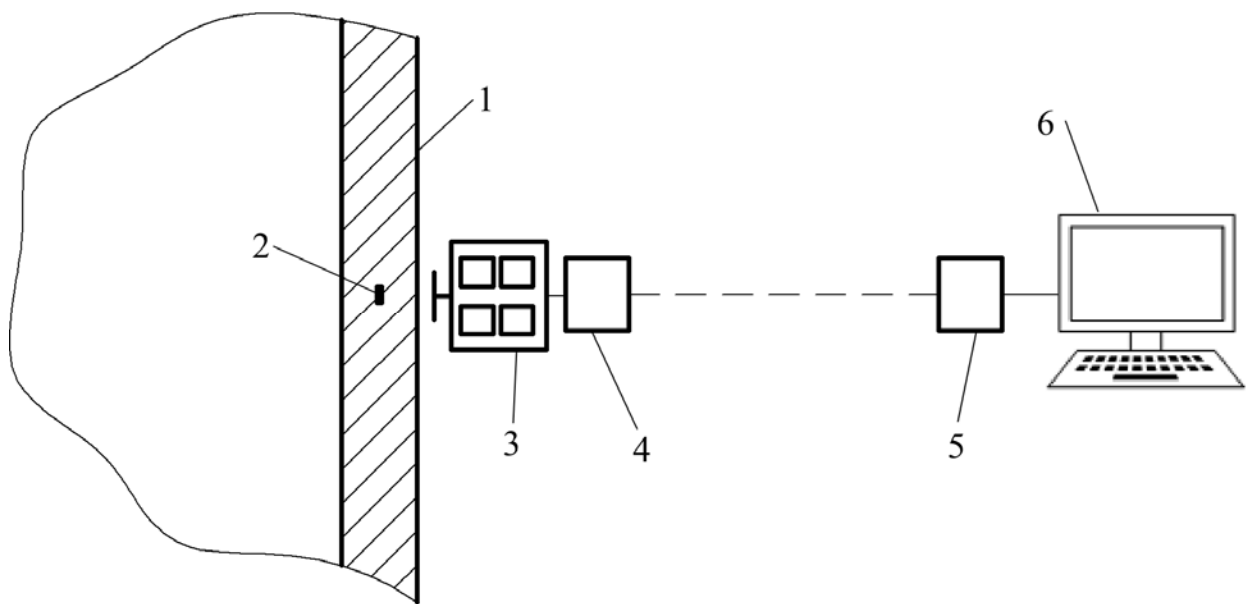


Рисунок. *Схема контролю цілісності упаковки для небезпечних вантажів*

Такий підхід уможлиблює контроль декількох упаковок для небезпечних вантажів, з декількома інтелектуальними датчиками в кожній, у режимі реального часу та дистанційно, з прийманням всіх сигналів одним комп'ютером.

Висновки

Застосування інтелектуальних датчиків під час виготовлення упаковки для небезпечних вантажів дозволяє здійснювати неперервний контроль цілісності з моніторингом напружено-деформованого стану в процесі її транспортування та зберігання. Такий контроль дозволяє вчасно реагувати на порушення цілісності упаковки, що значно підвищує рівень безпеки.

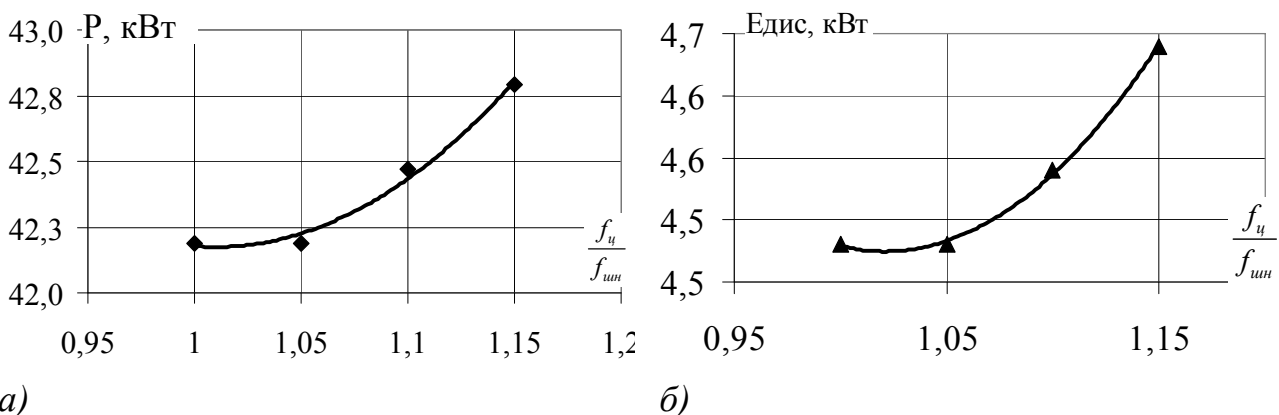
Література

1. Рекомендации по перевозке опасных грузов / Организация объединенных наций. – Женева, 2009. – 420 с.
2. Сівецький В.І. Методи та пристрої для виготовлення виробів з інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів / В.І. Сівецький, О.Л. Сокольський, І.І. Івіцький, О.Є. Колосов, В.М. Куриленко // Вісник НТУ «ХП». Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2016. – № 4. – С. 95–101.

Розрахунок процесу транспортування гранульованих матеріалів у шнекових машинах

В.М. Витвицький, І.О. Мікульонок, д.т.н., О.Л. Сокольський, к.т.н., НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

Системи дозування сипких матеріалів широко застосовуються в будівельних, харчових та фармацевтичних галузях промисловості, у тому числі і для приготування різних сумішей. Точність дозування в цих системах є функцією значної кількості систематичних і випадкових чинників: величини, форми і взаємного розташування окремих частинок матеріалу; коефіцієнтів тертя та зчеплення частинок одна з одною і з конструктивними елементами дозатора; відносної вологості матеріалу і повітря в приміщенні; величини нахилу дозатора до рівня горизонту тощо [1]. Наведені чинники є визначальними для розрахунку технологічних режимів переробки матеріалу та проектування нового обладнання. Зокрема, величини і співвідношення сил тертя, що діють між матеріалом і робочими органами шнекових машин, у поєднанні з іншими параметрами визначають тиск, температурний режим переробки, продуктивність та витрати потужності процесу.



*а) б)
Рис. 1. Залежність потужності привода (а) та дисипації механічної енергії (б) від співвідношення коефіцієнтів тертя гранул сополімеру етилену з вінілацетатом по циліндру та шнеку $f_c/f_{шн}$*

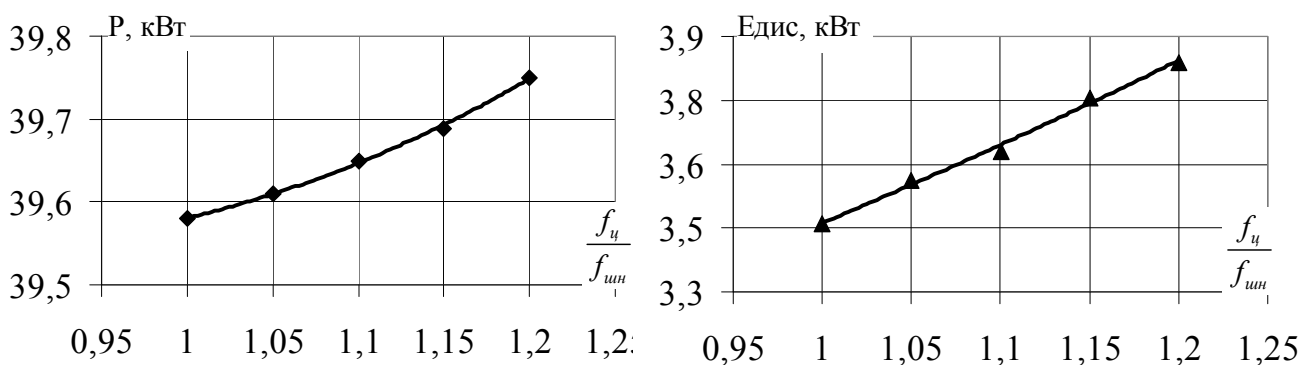
Під час використання сучасних методів розрахунку шнекового обладнання матеріал, що транспортується, зазвичай розраховується як суцільний потік. Наприклад, коефіцієнт тертя між матеріалом і робочими органами машин задається як константа, тобто несущільність матеріалу не враховується.

Метою проведених досліджень є вдосконалення методики та алгоритму розрахунку процесу екструзії з урахуванням параметрів руху гранульованих полімерних матеріалів врахуванням коефіцієнтів тертя полімеру з урахуванням його несущільності.

Авторами були проведені експериментальні дослідження коефіцієнтів тертя деяких гранульованих полімерів по металу і показано їхню залежність від прикладеного навантаження та температури, а також від глибини каналу робочої зони для різних типів полімеру, що були отримані в результаті

дослідження руху полімерних гранул у каналі екструдера з використанням плоскопаралельної моделі дослідження процесу екструзії [2]. Отримані результати дозволили вдосконалити методику та алгоритм розрахунку процесу екструзії із врахуванням параметрів руху гранульованих матеріалів шляхом введення до цієї методики визначення коефіцієнтів тертя полімеру як функціональну залежність від навантаження та температури.

Під час виконання розрахунків для процесу неізотермічного живлення черв'ячного екструдера найбільш характерні результати отримано для значень потужності привода P , кВт, та потужності дисипації механічної енергії $E_{\text{дис}}$, кВт, у процесі переробки полімерної сировини (рис. 1, 2).



а)

б)

Рис. 2. Залежність потужності привода (а) та дисипації механічної енергії (б) від співвідношення коефіцієнтів тертя гранул полістиролу по циліндру та шнеку f_c/f_{sh}

Висновки

З аналізу проведених розрахунків видно, що значення потужності привода та потужності дисипації механічної енергії зростають зі збільшенням відношення коефіцієнтів тертя, причому характер залежності різниться для різних матеріалів.

Література

1. Ляпушкин С.В. Повышение эффективности управления электроприводом автоматизированного комплекса дозирования сыпучих материалов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.09.03. – Томск, 2015. – (Автореферат). – 146 с.
2. Витвицький В.М., Сокольський О.Л., Мікульонок І.О. Вплив тиску та температури на коефіцієнт тертя гранульованих полімерних матеріалів по металевій поверхні // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2016. – № 12 (1184). – С. 12–16.

Оптимізація компонентного складу зволожувального розчину для друкування пакування офсетним способом

К.І. Золотухіна, к.т.н., ВПІ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

Продуктивність і якість друкування плоским офсетним друком зі зволоженням друкарських форм залежать від багатьох факторів, а якість відбитків різноманітної пакувальної продукції вимагає в нинішніх умовах найменшого агресивного впливу на навколишнє середовище і сферу діяльності людини. Уведення ізопропилового спирту для посилення поверхнево-активних властивостей проміжних елементів і стабілізації зволоження в процесі друкування в межах 10–20 % до складу зволожувального розчину та методів і засобів контролю його кількості хоча і сприяє деякій стабілізації параметрів друкування, однак обмежує використання відбитків у деяких видах пакувальних виробів, оскільки він може мігрувати в контактні шари і викликати хімічні реакції, що супроводжуються шкідливими викидами [1–3].

Метою роботи є створення нового композиційного складу зволожувального розчину для удосконалення технологічного процесу друкування плоским офсетним друком зі зволоженням друкарських форм і забезпечення антибактеріальних властивостей друкованих відбитків у виробництві пакувальної продукції.

Стабілізація електропровідності зволожувального розчину та зниження пліснявіння під час зберігання в міжопераційний період, наприклад, у разі обслуговування друкарської техніки, зміни замовлень, зупинки процесу друкування тощо, забезпечуються уведенням до складу зволожувального розчину антибактеріальних добавок.

У роботі виконано оптимізацію компонентного складу зволожувального розчину на основі симплекс-методу.

Матриця дослідів вихідного симплекса багатofакторного простору в кодованих змінних та координати матриці розраховано за методикою, наведеною в [4, 5].

Результати розрахунків умов проведення перших п'яти дослідів зведено в табл. 1.

Таблиця 1.
Умови початкової серії дослідів

Номер дослідів	x_1	x_2	x_3
1	0,5	0,289	0,204
2	-0,5	0,289	0,204
3	0	-0,578	0,204
4	0	0	-0,612
5	0	0	0

Наступний етап полягає в переході до матриці з іменованими величинами, враховуючи інтервали варіювання незалежних змінних і координат центра, що вивчаються. За допомогою даних табл. 1 розраховано матрицю вихідної серії дослідів у фізичних змінних, користуючись формулою (1) [4, 5]:

$$x_i = x_{0i} + \Delta x_i \cdot X_i, \quad (1)$$

де x_i – натуральне значення i -го фактора; x_{0i} – натуральне значення i -го фактора на нульовому рівні; Δx_i – інтервал варіювання i -го фактора.

Оптимізацію виконано для композиційного складу зволожувального розчину для досягнення рівня електропровідності в межах 800–1500 мкСм/см. На рівень електропровідності зволожувального розчину будуть впливати такі фактори (табл. 2):

- С1 – кількість ізопропилового спирту в композиції, %;
- С2 – кількість антибактеріальної добавки в композиції, %;
- рівень рН зволожувального розчину.

Таблиця 2.
Інтервали та рівні варіювання факторів

Фактор	Основний рівень	Інтервал варіювання
С1 – кількість ізопропилового спирту в композиції, %	8	4
С2 – кількість антибактеріальної добавки в композиції, %	6	6,5
Рівень рН зволожувального розчину	5	0,5

Використовуючи співвідношення (1), побудовано матрицю вихідного симплекса в натуральних значеннях факторів (табл. 3).

Таблиця 3.
Матриця вихідного симплекса в натуральних значеннях факторів

№ досліді	Фактори			Дані експерименту, електропровідність, мкСм/см
	С1, %	С2, %	рН	
1	10,0	7,9	5,1	1700
2	6,0	7,9	5,1	1950
3	8,0	2,2	5,1	950
4	8,0	6,0	4,7	1440
5	8,0	6,0	5,0	1440
6	16,7	6,9	8,2	1350
7	6,0	7,9	5,1	1950

Провівши досліді у вершинах вихідного симплекса (табл. 3), встановлено, що рівень електропровідності не задовольняє вимогам у другому випадку, тому цю точку можна «відкинути» і побудувати нову, дзеркально розташовану до неї. Умови кожного нового досліді розраховано за формулою (2) [4, 5]:

$$x_i = \frac{2}{n} \left(\sum_{j=1}^{n+1} x_{ji} - x_i^* \right) - x_i^*, \quad (2)$$

де n – число факторів у матриці планування; j – номер дослід; i – номер фактора; x_i^* – значення i -го чинника в самому «невдалому» досліді попереднього симплекса.

Провівши шостий дослід видно, що найгірше значення параметра оптимізації спостерігається саме в ньому. І це незважаючи на те, що рівень електропровідності знаходиться в межах норми, проте кислотність зволожувального розчину перевищує допустимі значення, а кількість ізопропилового спирту є занадто високою. Відкинувши дані шостого дослід, знаходимо координати точки сьомого дослід, підраховані значення якої заносимо до табл. 3.

Таким чином, вимогам стабільного процесу друкування відповідають дослід 3, 4, 5, відповідно для встановлення рівня електропровідності в межах 800–1500 мкСм/см при збереженні кислотності розчину в межах 4,5–5,5, потрібно 2–6 % антибактеріальної добавки в складі розчину. При цьому можна зменшити кількість ізопропилового спирту з 10 до 8 %.

Як показали експериментальні дослідження, наявність у складі зволожувального розчину антибактеріальних добавок у визначеній кількості забезпечує стабілізацію електропровідності зволожувального розчину упродовж 360 годин і в 5 разів підвищує час зберігання в міжопераційний період, що сприяє підвищенню продуктивності виробництва пакувальної та поліграфічної продукції.

Література

1. Мельников О.В. Технологія плоского офсетного друку [Текст] / О.В. Мельников. – Львів: Українська академія друкарства, 2007. – 388 с.
2. Орлова Е.Ю. Исследование подачи увлажняющих растворов с малым содержанием изопропилового спирта питающей группой увлажняющего аппарата / Е.Ю. Орлова, Е.В. Вулканов // Вестник Московского государственного университета печати. – 2014. – № 1. – С. 144–147.
3. Нечипоренко Н.А. Выбор концентрата и определение оптимальной рецептуры увлажняющего раствора для листовой офсетной печати / Н.А. Нечипоренко, А.В. Бердовщикова, М.А. Бозоян // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – Москва, 2013. – № 6. – С. 30–42.
4. Хемди А. Таха. Симплекс-метод. Введение в исследование операций. – 7-е изд. – М.: «Вильямс», 2007. – С. 95–141. – ISBN 0-13-032374-8.
5. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій. – Київ: ЗАТ «ВІПОЛ», 2000. – 688 с.

Пошук антибактеріальних речовин для екологічно чистих флексографічних фарб

В.В. Пустова, Р.А. Хохлова, к.т.н., НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

Формування високої якості відбитків на широкому спектрі матеріалів, що задруковуються, універсальність та гнучкість технології забезпечують тотальне розповсюдження флексографічного способу друку для оформлення паковань. Це спричиняє зростання попиту на матеріали, які використовуються під час друкування, насамперед на друкарську фарбу. Саме завдяки друкарськотехнічним властивостям і технологічним характеристикам флексографічних фарб досягаються необхідні для багатьох паковань візуальні показники яскравості, насиченості кольору, глянце; забезпечується стійкість до дії світла, хімічних речовин, фізико-механічних впливів заморожування тощо.

Аналіз сучасного використання основних типів флексографічних друкарських фарб вказав на сталу популярність впродовж десятиліття фарб на основі органічних розчинників, переважно спиртів. Постійне вдосконалення складу фарб цього типу пояснюється великим попитом на них через їх універсальність, дешевизну та зручність використання на широкому спектрі основ для задруковування. Також широко використовуються фарби на водній основі для друкування на всотувальних матеріалах, виготовлених пакуваннях, які безпосередньо контактують із харчовою продукцією. Сучасні флексографічні УФ фарби здатні забезпечити на всіх видах упаковки високу точність передачі кольору, миттєве закріплення відбитку, високу адгезію до широкого асортименту полімерних плівкових матеріалів [1].

Але всі ці фарби не мають здатності розкладатися на простіші сполуки, що спростило б та прискорило їх безпечну утилізацію. Тому останнім часом все більше приділяють увагу розробці матеріалів, зокрема друкарських фарб, що мають здатність розкладатися під дією природних умов: вологи, сонячних променів, ґрунту тощо.

Було здійснено дослідження властивостей плівкотвірних та антисептичних речовин для розробки рецептури флексографічних друкарських фарб, що біорозкладаються, із використанням вітчизняної поновлюваної сировини. Вибір плівкоутворювача для біорозкладальної фарби включав дослідження водних розчинів таких природних полімерів, як: казеїн, картопляний крохмаль, крохмаль кукурудзяний модифікований, сухий пшеничний білок, кукурудзяний крохмаль у вигляді пасти [2]. Як антисептики були досліджені: азотнокисле срібло, алюмокалієвий галун, хромовий галун, триетаноламін, бура, етиловий спирт.

Експериментально визначено, що плівкоутворювальні речовини на основі пасти кукурудзяного крохмалю дають максимально наближені результати до встановлених технологічних вимог до фарби для флексографічного друку. Як розчинник у розробленій фарбі використовується вода. Для забезпечення стабільності друкарської фарби в процесі зберігання і запобігання її псуванню задовільні результати показали триетаноламін і етиловий спирт у досліджуваній пропорції.

Для екологічно чистої друкарської фарби однією з основних проблем є забезпечення стабільності їх властивостей у часі з одночасним дотриманням високого ступеня висихання на відбитку і відповідності їх до механічного впливу. Саме тому головним вектором подальших розробок екологічно чистих лакофарбових матеріалів для упаковки є підбір комбінації органічних сполук для вирішення проблеми швидкого закріплення фарбовідбитків і формування їх глянцю, світлостійкості з реалізацією умови стабільності, екологічності та доступності матеріалів.

Література

1. *Хохлова Р.А.* Сучасний стан розвитку флексографічних фарб для пакувань // Технологія і техніка друкарства: збірник наукових праць. – 2014. – Вип. 1 (35). – С. 156–163.
2. *Хохлова Р.А., Вальков Є.С.* Властивості природних плівкотвірних речовин для виготовлення лаків та фарб, що біорозкладаються // Технологія і техніка друкарства: збірник наукових праць. – 2014. – Вип. 1 (43). – С. 89–96.

Обґрунтування параметрів фрикційного механізму повороту блока відсічних дисків вібраційного об'ємного дозатора

Ю.П. Шоловій, к.т.н., Н.І. Магерус, В.Д. Червоняк, НУ «ЛП», м. Львів

Важливим етапом проектування вібраційних дозаторів для сипких матеріалів (СМ) є забезпечення не лише високої точності та продуктивності процесу дозування, а й економічності конструкції обладнання, що вимагає мінімальних матеріальних та технічних витрат. Для дозування дрібнодисперсних СМ запропоновано удосконалену конструкцію вібраційного дозатора [1], у якій обертання блока відсічних дисків реалізується завдяки фрикційному механізму. Це дозволяє уникнути витрат на додатковий привод.

Фрикційний механізм призначений для перетворення кутових коливань чаші дозатора, необхідних для реалізації процесу вібротранспортування СМ до мірника, у плавний обертовий рух дисків. Передача руху від фрикційного механізму до блока відсічних дисків здійснюється через циліндричну прогумовану поверхню обойми. Блок відсічних дисків складається з верхнього та нижнього дисків з отворами, розташованими в шаховому порядку. Коли мірник сходиться з отвором у верхньому диску, відбувається його наповнення, а з отвором у нижньому диску – випорожнення.

Тому на етапі проектування вібраційного дозатора важливо обґрунтувати та визначити параметри фрикційного механізму (рисунок) повороту блока відсічних дисків. Важливою умовою ефективної роботи фрикційного механізму є реалізація стійкого контакту між робочими поверхнями, тобто забезпечення відсутності проковзування.

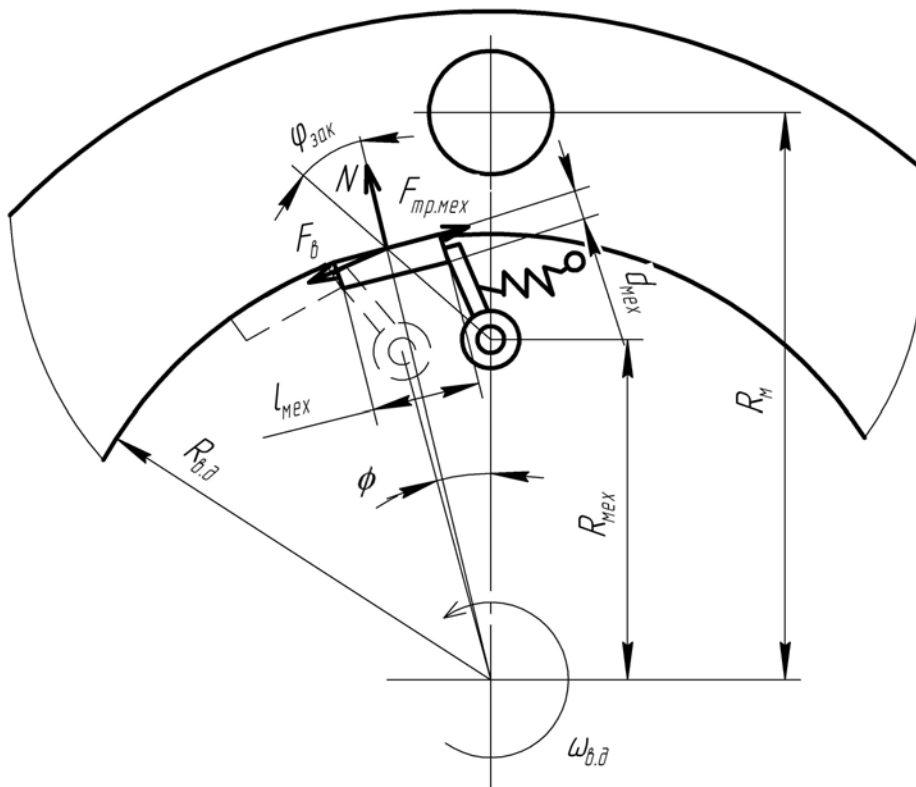


Рисунок. Розрахункова схема фрикційного механізму

Умова роботоздатності фрикційного механізму визначається за розрахунковою схемою та має вигляд:

$$F_{тр.мех} = F_6,$$

де $F_{тр.мех}$ – сила тертя, що виникає в зоні контакту фрикційного механізму та блока відсічних дисків; F_6 – вимушуюча сила.

Сили тертя та вимушуюча сила визначаються за залежностями:

$$F_{тр.мех} = N \cdot f, \quad F_6 = N \cdot \tan(\varphi_{зак}),$$

де N – сила притискання фрикційного механізму до блока відсічних дисків; f – коефіцієнт тертя контактуючих поверхонь; $\varphi_{зак}$ – кут заклинювання фрикційного механізму (оскільки кут заклинювання дуже малий, тому можна приймати $\tan(\varphi_{зак}) = \varphi_{зак}$).

Використовуючи умову роботоздатності фрикційного механізму та вирази для визначення сил, що діють у зоні контакту, встановлено, що значення кута заклинювання механізму рівне:

$$\varphi_{зак} = a \tan(f).$$

Використовуючи умову контактної міцності, можна знайти необхідну довжину робочої частини фрикційного механізму [2]:

$$l_{мех} = \frac{Z_m^2 \cdot F_6}{2 \cdot r_{мех} \cdot \varphi_{зак} \cdot [\sigma]_н^2},$$

де Z_m – коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалів контактуючих тіл; $r_{мех} = 0,5 \cdot d_{мех}$ – радіус робочої частини фрикційного механізму; $[\sigma]_н$ – допустиме напруження на контактну міцність.

Необхідне значення коефіцієнта Z_m визначається за формулою [2]:

$$Z_m = \sqrt{\frac{2 \cdot E_1 \cdot E_2}{(\pi \cdot (E_2(1 - G_1^2) + E_1(1 - G_2^2)))}},$$

де E_1, E_2 – модуль пружності матеріалів деталей; G_1, G_2 – модуль пружності другого роду матеріалів контактуючих деталей.

Крім геометричних параметрів фрикційного механізму, важливе значення має також його кінематика, що безпосередньо впливатиме на швидкість обертання відсічних дисків і тим самим на продуктивність дозатора. Кут, на який повертаються відсічні диски за один період коливань чаші дозатора, визначається за формулою:

$$\phi = a \tan\left(\frac{a_2}{R_{мех}}\right),$$

де $R_{мех}$ – радіус встановлення осі фрикційного механізму.

Повний оберт відсічні диски здійснять за час: $t = \frac{T \cdot 2\pi}{\phi}$, де T – період коливань

чаші дозатора. Тому, нехтуючи тертям, що виникає між ущільнюючим елементом та блоком відсічних дисків, кругову частоту коливань відсічних дисків можна визначити за залежністю:

$$\omega_{\phi, \delta} = \frac{\phi}{T} = a \tan\left(\frac{a_2}{R_{\text{мех}}}\right) \cdot \nu,$$

де ν – частота коливань конічного днища.

Лінійна швидкість мірників знаходиться за формулою:

$$V_m = \omega_{\phi, \delta} \cdot R_m,$$

де R_m – радіус розміщення мірників.

Таким чином, використавши залежності, наведені вище, можна визначити основні параметри фрикційного механізму повороту блока відсічних дисків. Це дає можливість правильно підібрати геометричні та кінематичні параметри фрикційного механізму для реалізації ефективної роботи вібраційного дозатора для СМ.

Література

1. Шоловій Ю.П. Вібраційний об'ємний дозатор для дрібнодисперсних сипких матеріалів / Ю.П. Шоловій, Н.І. Магерус // XI-а Науково-практична конференція молодих вчених «Новітні технології пакування»: матеріали доповідей. Тези доповідей. – Додаток до журналу «Упаковка». – К.: ІАЦ «Упаковка», 2015. – С. 58 – 60.
2. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин: підручник / В.Т. Павлице. – Львів: Афіша, 2003. – 558 с.

Явище склепіння під час пакування матеріалу

І.В. Коваленко, к.т.н., Є.М. Глинський, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

Статичні склепіння можуть виникати в процесі заповнення ємності сипким матеріалом. Склепіння можуть утворюватися в процесі витікання матеріалу, якщо напруга, яка виникає в матеріалі, не перевищує його міцності. Якщо площа отвору не досягає граничного значення, спостерігається утворення стійкого склепіння. При цьому з отвору висипається тільки частина матеріалу, який знаходиться всередині склепіння, далі витікання припиняється. Якщо тиск маси матеріалу перевищує силу зчеплення частинок, склепіння руйнується і починається рух.

Сучасні теорії недостатньо повно відображають фізичну картину утворення статичних склепінь над отвором. Частота виникнення стабільного склепіння залежить від параметрів ємності, властивостей і стану матеріалу (дисперсності, сил зчеплення і форми часток тощо), а також від технологічних причин, оскільки фізичні процеси, які змінюють фізико-механічні властивості сипкого середовища, проявляються з часом.

Вплив цих факторів неможливо передбачити теоретично. Склепіння визначається випадковим взаємним просторовим розташуванням частинок, які опиняються безпосередньо над отвором у цей момент. Чіткої межі між стійким і нестійким станом склепіння немає. Тривалість існування склепіння обумовлена положенням частинок у масі склепіння і над ним, а також навантаженням.

На практиці руйнування стійких склепінь найчастіше пов'язане з труднощами через відсутність прямого доступу до склепінь. Дослідження явища склепіння в процесі витікання сипкого матеріалу з ємності, вплив різних взаємозалежних факторів на процес склепіння, а також визначення заходів щодо попередження і ліквідації склепіння становлять велику наукову і практичну цінність.

Розрізняють два типи перешкод у процесі витікання сипкого матеріалу [1]: склепіння (припинення витікання – закупорка) і утворення перемичок (обмеження витікання – як її функція, що утворює гальмівні імпульси).

На процес склепіння впливають фізико-механічні властивості сипкого матеріалу. Крім цього, процес склепіння залежить від геометричних параметрів бункера (залежності між розмірами випускного отвору і частинок матеріалу, кута нахилу стінок бункера тощо).

Склепіння залежить від зв'язаності матеріалу, яке характеризується початковим опором зсуву (τ_0) [2–4]. Вплив інших факторів на процес склепіння буде мати значення тільки в тих випадках, коли під їх впливом змінюється початковий опір зсуву.

Розрізняють два різновиди стійких статичних склепінь, які утворюються в бункерах:

1. **утворення склепінь у кусковому матеріалі в результаті заклинення кусків**, які мають випадкове розташування. Таке склепіння утримується в рівновазі внаслідок тертя між окремими кусками, п'ятою склепіння і

стінками бункера. На стійкість впливають прогін склепіння, кут нахилу стінок донця тощо.

2. **утворення склепінь у дрібнофракційному матеріалі внаслідок зв'язаності** (зчеплення частинок). У цьому випадку на процес склепіння впливають не тільки перераховані фактори, але й фізико-механічні властивості сипкого матеріалу.

Основні розміри склепіння (максимальна висота і граничний отвір склепіння), а також його розташування відносно отвору залежать від кута нахилу стінок до горизонту і розміру випускного отвору. Склепіння являє собою комбінацію послідовно з'єднаних кусків, які знаходяться в умовах рівноваги. Порушення рівноваги одного з елементів склепіння призведе до руйнування всієї системи. Припустимо, що ймовірність порушення вимог рівноваги μ однакова для всіх елементів склепіння, тоді ймовірність їх збереження буде рівна 1. Ймовірність утворення статичного склепіння системи послідовно з'єднаних елементів η можна виразити у вигляді:

$$\eta = (1 - \mu)^n, \quad (1)$$

де n – число кусків, з яких складається склепіння.

Ступінь зменшення ймовірності стійкого склепіння знаходиться у залежності від абсолютної величини μ . Так, якщо $\mu = 0,8$ і n збільшується від 3 до 6, то η зменшиться в 125 разів, якщо ж n збільшиться від 4 до 8 – η зменшиться в 625 разів.

Розглянемо залежність процесу склепіння від кута нахилу до горизонту стінок бункера.

Для параболічного склепіння горизонтальна складова тиску P , яка від склепіння передається на стінки бункера, дорівнює:

$$P = \frac{Gb}{2 \operatorname{tg} \beta_0}, \quad (2)$$

де G – навантаження на одиницю горизонтальної проекції склепіння, Н/м; b – горизонтальна проекція склепіння, м; β_0 – кут нахилу дотичної до склепіння у точці його дотику до стінок бункера, град.

Рівняння (2) показує, що на величину P впливає кривизна склепіння, яка характеризується кутом β_0 . Однак навіть при постійному куті нахилу склепіння можуть по-різному розташовуватися всередині бункера і мати різну кривизну, тобто $\beta_{0\max} \geq \beta_0 \geq \beta_{0\min}$.

При крутих склепіннях, коли $\beta_0 > \beta_{0\max}$, п'ята склепіння, опираючись на стінку бункера, сповзає по цій стінці вниз і рівновага склепіння порушується.

При пологих склепіннях (рисунок б), коли $\beta_0 < \beta_{0\min}$, п'ята склепіння може переміститися вгору.

При крутих склепіннях (рисунок а) сила F_1 , яка спрямована вгору, долає силу зсуву G_1 , і умови рівноваги визначають рівнянням:

$$\beta_0^* = 90^\circ - \alpha_1 + \chi, \quad (3)$$

де α_1 – кут нахилу стінок бункера; χ – кут між напрямом тиску п'яти склепіння на стінку бункера і нормаллю до стінки.

При пологих склепіннях (рисунок б) сила тертя F_2 , яка спрямована вниз, утримує п'яту від переміщення нагору:

$$\beta_0'' = 90^\circ - \alpha_1 - \varphi. \quad (4)$$

Рівновага зберігається за умови, що утримувальні і зсувні сили рівні між собою. Тоді формули (3) і (4) мають вигляд:

$$\rho_{0\max} = 90^\circ - \alpha_1 + \varphi, \quad (5)$$

$$\rho_{0\min} = 90^\circ - \alpha_1 - \varphi. \quad (6)$$

де φ – кут тертя матеріалу по стінках бункера.

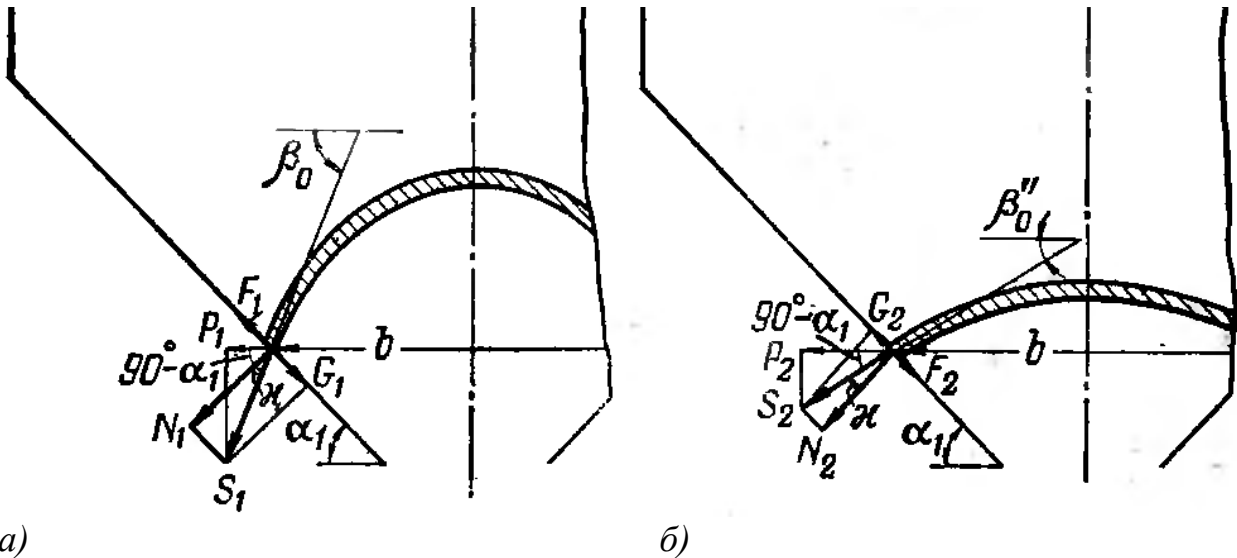


Рисунок. Рівновага п'яти при крутому (а) та пологому (б) склепінні

Величина розпору для крутих склепінь буде дорівнювати:

$$\rho_{\min} = G \left(\frac{b}{2} \right) \operatorname{tg} (\alpha_1 - \varphi). \quad (7)$$

для пологих склепінь:

$$\rho_{\max} = G \left(\frac{b}{2} \right) \operatorname{tg} (\alpha_1 + \varphi). \quad (8)$$

З рівнянь (7) і (8) випливає, що розпір склепіння збільшується у разі збільшення кута нахилу стінок донця α_1 . У роботі [5] вказується, що при $\alpha_1 \geq 60^\circ$ пологі склепіння, що утворюються, володіють високою міцністю і важко піддаються руйнуванню, оскільки сили тертя, що виникають у таких випадках, набагато перевищують сили, які зсувають п'яту.

Отже, рівняння (7) і (8) мають практичне значення під час розрахунку бункерів.

Література

1. Гячев Л.В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах / Л.В. Гячев. – М.: «Машиностроение», 1968. – С. 16–21.
2. Иванов Г.И. Записки ЛГИ. – Т. 44. – Вып. 1. – 1961. – С. 98.
3. Голубков К.Н. Труды УНИИПроммедь. – Вып. 7. – 1963. – 149 с.
4. Васильев А.В., Олевский В.А. В кн.: Транспортные устройства и складское хозяйство обогатительных фабрик. – М.: Углетехиздат, 1954. – С. 238–239.
5. Олевский В.А. Информационный бюллетень Механобра. – 1938. – № 7. – С. 29.

Визначення коефіцієнтів витрат у дозувальних пристроях для рідкої продукції

О.М. Горчакова, М.В. Якимчук, д.т.н., О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ

Одним із пріоритетних науково-технічних напрямків розвитку пакувальної індустрії є вдосконалення фасувального обладнання для пакування харчових рідин з використанням новітніх конструкцій пристроїв фасування та дозування з метою підвищення продуктивності без збільшення кількості пристроїв для фасування [1].

Для розробки таких пристроїв актуальним і важливим завданням є проведення ґрунтовного дослідження щодо коефіцієнта витрат μ у разі витікання рідинних продуктів із насадок різних типів. Оскільки кожен пристрій для фасування можна навести як сполучення різних за формою і розмірами насадок, то буде вірним припущення, що дійсний час роботи дозатора в технологічному циклі залежить від величини коефіцієнта витрат системи зливного тракту, що характеризує пропускну спроможність каналів для рідин, а також від числа Рейнольдса та коефіцієнта кінематичної в'язкості.

Залежно від конструкції фасувального пристрою насадки бувають циліндричними зовнішніми та внутрішніми; конусними, які сходяться або розходяться. Рідина, спрямована в насадку з резервуара, вже на самому початку утворює стиснутий струмінь, який в подальшому, завдяки достатній довжині насадки, розширюється та заповнює весь переріз насадки.

При витіканні рідини через зовнішній циліндричний діаметр насадок – коротка трубка довжиною $l = (3 \dots 4)d$, без заокруглення вхідної кромки або через отвір, що виконаний у пластинці, будь-якого корпусу відповідної товщини, витрати рідини є більшими, ніж при витіканні через отвір у тонкій пластинці. Це обумовлено тим, що стискання струменя на виході з насадки відсутнє. Науковці провели широкі експериментальні дослідження з урахуванням залежності [2]:

$$\mu = f(Re; l/d), \quad (1)$$

де l – довжина насадки, м; d – діаметр насадки, м.

Дослідження проводили з насадками діаметром від 4 до 12 мм при $l/d = 1 \dots 50$ у діапазоні чисел Рейнольдса від 1 до 200000.

Коефіцієнт витрат μ безперервно зростає зі збільшенням Re . Градієнт його росту уповільнюється в зв'язку зі зменшенням сил в'язкості та при $Re > 10000 \dots 1 \cdot 10^5$ (залежно від l/d). При цьому різко вираженої границі, що характеризує перехід від ламінарного до турбулентного руху, не спостерігається.

Для визначення коефіцієнта витрат на основі проведених дослідів науковці [2] рекомендують емпіричну формулу (в інтервалі $Re = 1 \cdot 10^2 \dots 1,5 \cdot 10^5$ та $l/d = 2 \dots 5$):

$$\mu = \frac{1}{1,23 + \frac{56}{Re} \cdot \frac{l}{d}}, \quad (2)$$

За цією формулою можна визначити максимальне значення коефіцієнта витрат при витіканні із зовнішньої циліндричної насадки. Отже, критеріальне рівняння для коефіцієнта витрат можна навести у вигляді:

$$\mu = f\left(\text{Re}; \frac{l}{d}; \frac{\delta}{d}\right), \quad (3)$$

де δ – товщина стінки насадки, м.

Досліди, проведені для визначення виду функції $\mu = f(\text{Re}; \delta/d)$, при $l/d = 3$ на насадках діаметрами 10, 15 та 30 мм та при δ/d від 0,0032 до 0,2, показали, що при $10^4 < \text{Re} < 1,5 \cdot 10^5$ та $l/d = 1$, як і при $\text{Re} > 2 \cdot 10^4$ та $l/d < 1$, коефіцієнт витрат не залежить від Re , а визначається лише відносною товщиною стінки насадки.

Коефіцієнт витрат зростає лінійно при збільшенні δ/d від 0,0032 до 0,038, після чого градієнт росту його уповільнюється. При $\delta/d > 0,1$ та $l/d = 1$ коефіцієнт μ не залежить від δ/d , тобто отримуємо те ж значення, що й для зовнішніх циліндричних насадок.

Для витікання з конічних насадок, що сходяться (конфузор), має місце залежність:

$$\mu = f\left(\text{Re}; \alpha; \frac{l}{d}\right), \quad (4)$$

де α – кут конусності, град; d – діаметр насадки у вузькому перерізі, м.

Вплив кута конусності α виявляється лише при $\text{Re} > 3000$, причому максимальне значення коефіцієнта витрат відповідає $\alpha = 14^\circ$.

Досліди підтверджують вище наведені дані, а саме те, що максимальне значення коефіцієнта витрат спостерігається при куті конусності $\alpha = 12-14^\circ$, з ростом l/d коефіцієнт μ також зростає, що можна пояснити тим, що рух рідини в насадці більш сталий.

Для визначення коефіцієнта витрат у каналі з перерізом, що поступово розширюється (дифузором), пропонується наступна емпірична формула:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\lambda}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \cdot \left(1 - \frac{l}{n^2}\right) + K_{n.p} \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2}}, \quad (5)$$

де $K_{n.p}$ – коефіцієнт поступового розширення.

У цих виразах значення коефіцієнта гідравлічного опору для гладких труб можна вирахувати за формулою Блазіуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}, \quad (6)$$

а для шорстких труб – за формулою Б.Л. Шифринсона [3]:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K_s}{d}\right)^{0,25}, \quad (7)$$

де K_s – висота еквівалентної рівнозернистої шорсткості:

$$K_s = 1,46 \cdot \sigma, \quad (8)$$

σ – абсолютна висота шорсткості, визначається за номограмою Г.С. Хованського.

При цьому зовсім шорсткими трубами називають ті, у яких коефіцієнт гідравлічного тертя не залежить від в'язкості рідини (числа Рейнольдса), а тільки від відносної шорсткості. Більш універсальною формулою для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя є формула, запропонована А.Д. Альтшулем [4]:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K_2}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (9)$$

Формула особливо зручна для розрахунків, оскільки обчислення за нею зводяться до елементарних алгебраїчних дій. Ця формула переходить у відомі

залежності для коефіцієнта гідравлічного тертя. Дійсна за умови $\text{Re} \frac{K_2}{d} < 10$, формула (9) практично збігається з формулою (7) Блазіуса для гідравлічних гладких труб, а за умови $\text{Re} \frac{K_2}{d} > 500$, – з формулою (8) Б.Л. Шифринсона [3] для зовсім шорстких труб.

Таким чином, знаючи елементарні об'єми, середні напори рідини, площі вихідного отвору для рідини (за кресленнями), час наповнення тари рідиною, за наведеною методикою можна визначити коефіцієнт витрат μ пристроїв фасування рідкої продукції.

Література

1. Пакувальне обладнання: підручник / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. – К.: ІАЦ «Упаковка», 2010. – 746 с.
2. Скобельцин Ю.А. Истечение жидкостей через насадки, отверстия, распылители, водовыпуски, капельницы: Учебное пособие / Ю.А. Скобельцин // Кубанский с-х. ин-т. – Краснодар, 1989. – 120 с.
3. Борисенко О.А. Исследование расходных характеристик сливных насадков разливочных устройств для пищевых жидкостей / О.А. Борисенко, Ю.Г. Борисенко, В.В. Костин // Сб. науч. трудов. Сер. Продовольствие. Сев. – Кавк. гос. техн. ун-т, 2002. – № 5. – С. 64–66.
4. Альтшуль А.Д. Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль, П.Г. Киселёв. – М.: Стройиздат, 1965. – 276 с.

Аналіз та дослідження вагових дозаторів періодичної дії для рідкої продукції

В.М. Якимчук, Б.В. Михайлик, О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ

Розвиток способів дозування харчової продукції безпосередньо пов'язаний із вдосконаленням технології виробництва, з підвищенням вимог до точності дозування, надійності та швидкодії дозаторів. Основними вимогами до нових зразків дозаторів є забезпечення як традиційних показників: продуктивності, економічності (мінімальної вартості), надійності, так і технологічних показників: стабілізації миттєвих або середніх витрат при заданому їх значенні; зміна витрат за заданим законом (програмно) залежно від зміни параметрів технологічного процесу або об'єкту дозування (рис. 1).

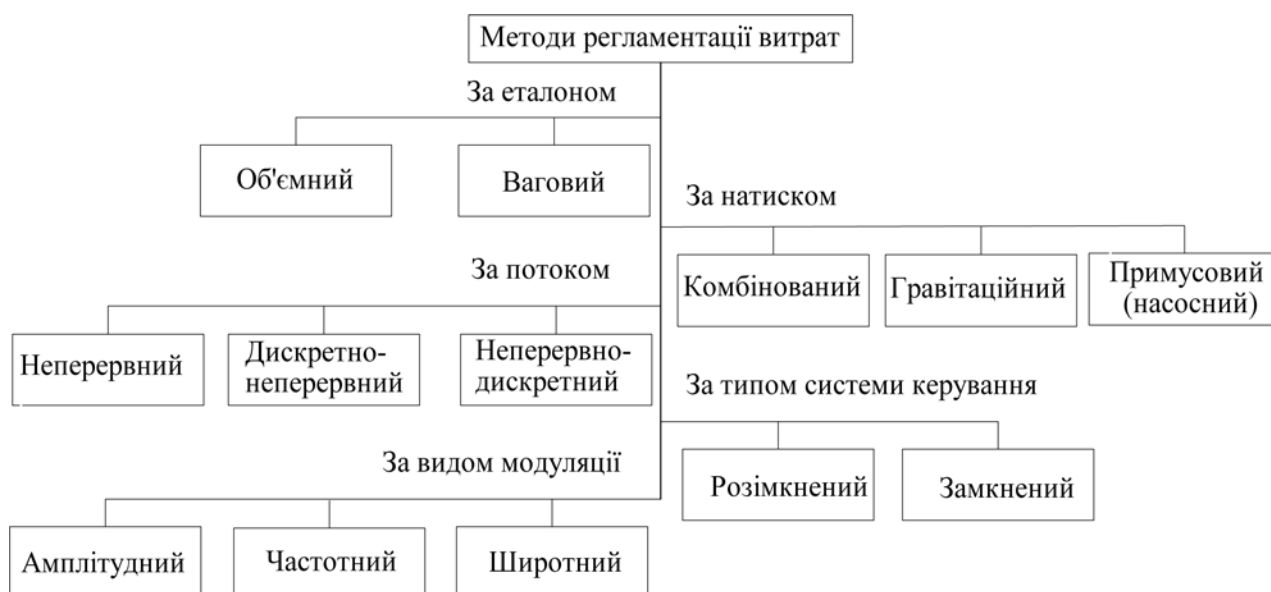


Рис. 1. Системи дозування безперервної і дискретної дії

Будь-який спосіб регламентації витрат або формування одиничної дози може мати безліч структурних і конструктивних рішень дозаторів, які відображають специфіку технологічного процесу, властивості дозованих середовищ тощо [1].

З різноманітності відомих систем автоматичного дозування найбільш перспективними є вагові системи, інтерес до яких останнім часом значно зріс і пов'язаний з науковими здобутками в області мікро- і нанотехнологій.

Класифікацію вагових систем автоматичного дозування (рис. 2), що охоплює основні області застосування дозаторів напірного і безнапірного принципу переміщення рідини, побудовано на основі технологічних вимог виробничих процесів [2].

Під час дозування харчових продуктів найбільш відповідальною ланкою системи вагового дозування є робочий орган, що знаходиться в безпосередньому контакті з дозуючою рідиною (рис. 3). Встановлено, що робочі органи з електромагнітним приводом мають більшу швидкодію порівняно з пневматичним приводом і можуть працювати при підвищених тисках.



Рис. 2. Класифікація вагових систем автоматичного дозування

Так, сучасна електронна система керування рухом робочого органа (клапана) прецизійного дозатора включає набір датчиків положення та пристрої для отримання і оброблення інформації, виконавчі механізми, робочі органи і допоміжні пристрої (рис. 4) [3].

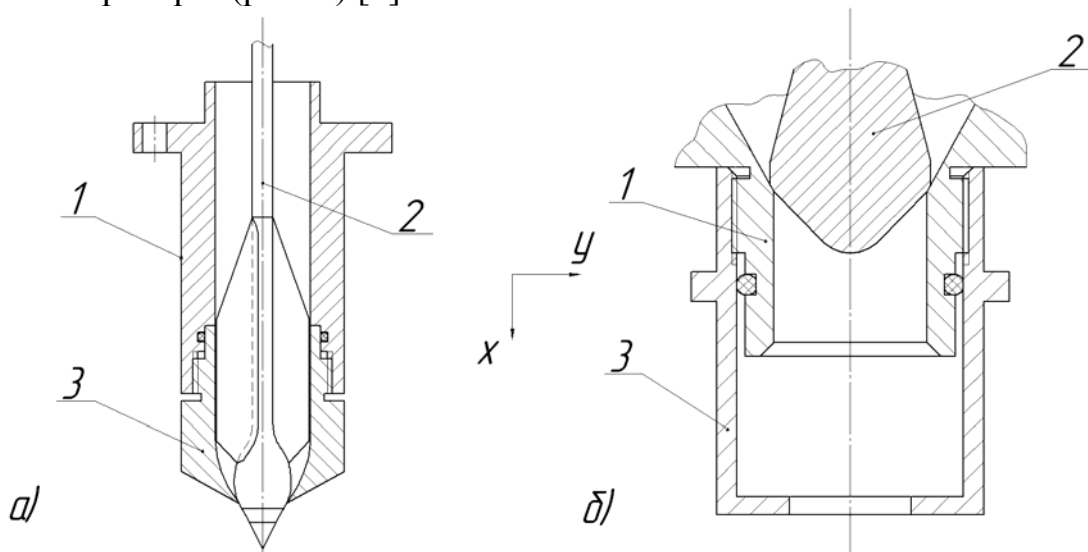


Рис. 3. Приклад робочого органа у вагових дозаторах: а) конічна; б) циліндрична насадка: 1 – корпус; 2 – клапан; 3 – насадка

Точність дозування в такій системі керування забезпечується, наприклад, наявністю зворотного зв'язку по масі з урахуванням швидкості потоку рідини та її фізико-хімічних характеристик та зрівнюванням отриманого результату з еталонним значенням на кожному етапі вимірювання. Автоматичні системи управління таких пристроїв є адаптивними та забезпечують необхідний рівень надійної роботи прецизійного дозатора в умовах швидкої зміни навколишніх характеристик шляхом розрахунку та подачі електричного сигналу, що впливають на положення робочого органа системи [4].

У зв'язку з цим метою роботи є підвищення точності прецизійних вагових дозаторів електро-, пневмо-, механічних систем, що базуються на виявленні

закономірностей функціонування, і створення інструментальних засобів розрахунку керованих нестационарних режимів руху робочого органа.

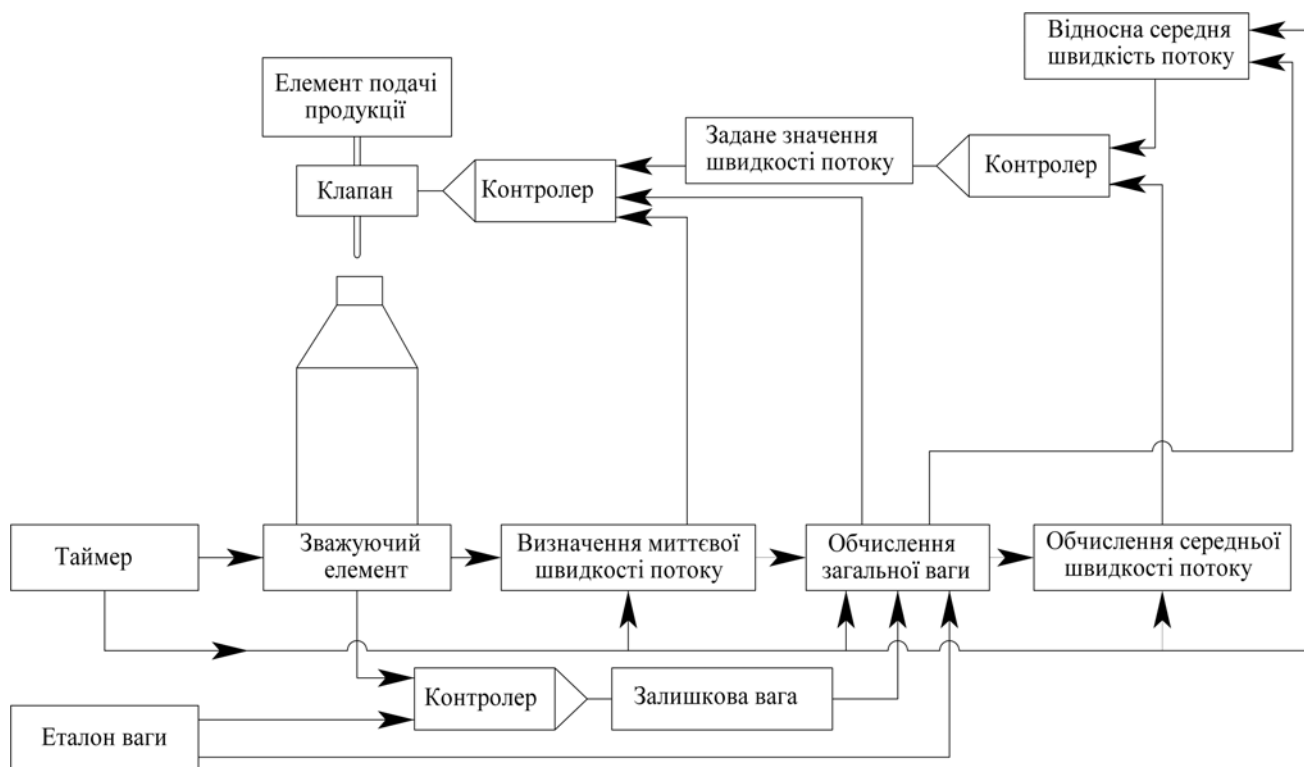


Рис. 4. Структурна схема системи управління рухом робочого органа (клапана) прецизійного дозатора

У роботі розглянуто моделювання динаміки руху робочого органа з електромагнітним приводом з програмним керуванням. Система диференціальних рівнянь, що описують рух виконавчого пристрою прецизійного дозатора, отримана на основі рівняння Лагранжа-Максвелла [5]:

$$\begin{cases} m\ddot{x} + \mu\dot{x} + P(x) + mg = F(e) \\ \dot{\Phi} + \frac{R_1}{z_1^2} \left[\frac{2(h-x)}{\mu_0 S} + R_c \right] \Phi = U(t), \end{cases}$$

де x , \dot{x} , \ddot{x} – відповідно узагальнена координата, швидкість, прискорення переміщення клапана; μ – коефіцієнт в'язкого тертя; m – маса голки клапана; $P(x)$ – лінійна сила пружності; $F(e)$ – електромагнітна сила; R_1 , R_c – опори котушки і магнітопроводу; z , S – число витків і площа котушки електромагніту; Φ – магнітний потік, U – керуюча напруга.

Запропонована математична модель руху клапана дозатора дає можливість реалізувати оптимальний закон пропускної здатності дозатора при формуванні дози ваговим способом. Для підтвердження результатів математичного моделювання розроблена експериментальна установка.

Результати роботи можуть бути цікавими для розробників нового покоління машин для пакування рідкої продукції в споживчу тару.

Література

1. Пакувальне обладнання: підручник / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. – К.: ІАЦ Упаковка, 2010. – 746 с.
2. *Мачихин Ю.А.* Инженерная реология пищевых материалов / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 216 с.
3. Pat. US4711277 A. Int. Cl⁴ B65B 3/04. Filler nozzle with capillary action and its method of operation // Robert J. Clish. – № 4711277; Eing. 23 Juli 1982; Ver. 8 Dez. 1987.
4. Pat. US5228604 A. Int. Cl⁵ B65D 3/00. Dosage dispensing device for filling machines// Gianpietro Zanini, Carlo Corniani, Athos Rippa. – № 5228604; Eing. 7 Okt. 1991; Ver. 20 Juli 1993.
5. *Kowalczyk P.* Two-parameter degenerate sliding bifurcations in Filippov systems / P. Kowalczyk, M. Bernardo // *Physica D.* – 2005. – № 204. – P. 204–229.

Дослідження динамічних параметрів функціонального модуля виділення одиничного піддона зі стопи в пакетоформуючих машинах

С.П. Лисенко, А.В. Деренівська, к.т.н., О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ

Для більшості технологічних схем машинного пакетування тарних вантажів характерними є операції виділення одиничного піддона зі стопи і подача його до місця формування пакета вантажів.

Для реалізації такого процесу в пакетоформуючих машинах широке застосування знайшли функціональні модулі виділення одиничного піддона зі стопи, основою яких є підйомно-опускний пристрій з електромеханічним приводом і пристрій захоплення, що здійснює обертальний рух від дії пневмопривода.

У таких модулях кожний рух робочих органів забезпечується вмиканням індивідуального привода, що суттєво ускладнює систему автоматизації, зменшує надійність роботи, збільшує початкову вартість модуля і витрати на його експлуатацію. Тому була запропонована нова конструкція модуля виділення одиничного піддона зі стопи, у якій рух від одного електромеханічного привода передається одночасно до двох робочих органів. Послідовність спрацювання робочих органів забезпечують кінематичні зв'язки елементів.

Модуль виділення одиничного піддона (рисунок) складається з вилокподібної каретки 1, яка своїми роликівими опорами 2 розташована на вертикальних напрямних 3 і може здійснювати за допомогою тягових ланцюгів 4 вертикальне переміщення на висоту, яка перевищує висоту піддонів. Привод 5 для вертикального переміщення каретки 1 подібний приводу переміщення каретки підйомно-опускного пристрою модуля формування транспортного пакета.

На вилах каретки встановлено чотири шарнірні опори по дві на кожній парі вил. У них встановлені коливальні захвати 6, 7, які з'єднані між собою двома штангами 8. Кінці штанги виконані у вигляді вісі, на які вільно посаджені ролики 9 (по два на кожній штанзі). Ролики 9 можуть обертатись відносно штанги 8 і разом зі штангами переміщуються по напрямним 10. Напрямні виконані у вигляді замкнутого контура з підпружиненими відсікачами 11, які забезпечують вертикальне прямолінійне переміщення роликів 9 під час руху каретки 1 вниз і переміщення по криволінійній траєкторії під час руху каретки вгору. У разі такої траєкторії руху роликів штанги 8 будуть розвертати захвати 7 навколо осей їх закріплення таким чином, що під час руху каретки вниз упори втримують стопу піддонів, а під час руху каретки вгору огинають нижній піддон, вводяться в другий знизу піддон і трохи підіймають стопу над нижнім піддоном. Таким чином нижній піддон є виділеним зі стопи і його можна відвести з магазину магістральним конвеєром 12. Із поопераційного аналізу процесу і принципу роботи модуля встановлено, що підйомно-опускний пристрій за період виділення одного піддона здійснює два робочих цикли.

Перший робочий цикл характеризується переміщенням стопи піддонів вертикально вгору, тим самим здійснюється відокремлення піддона зі стопи, а другий робочий цикл – переміщення стопи піддонів вниз і встановлення її на магістральний конвеєр. При цьому електродвигун на першому робочому циклі

працює в режимі двигуна, а на другому – в генераторному паралельно з мережею.

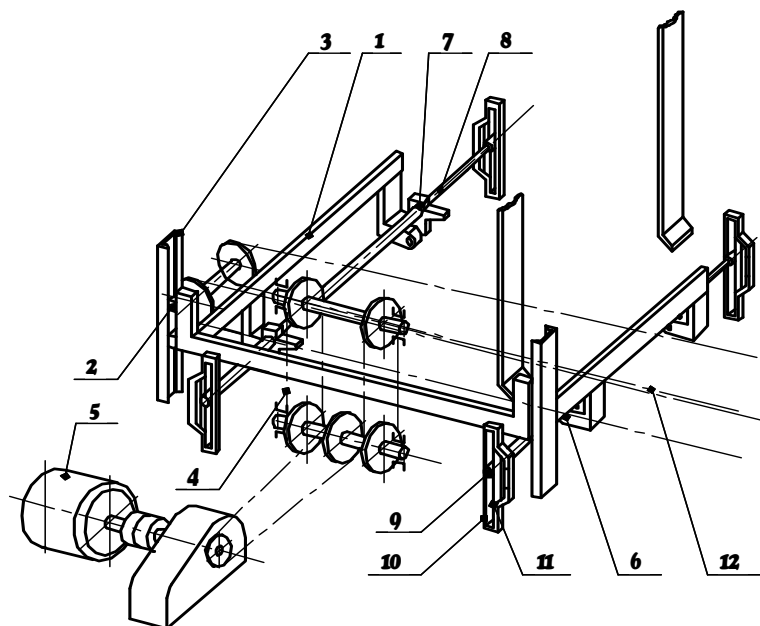


Рисунок. *Схема конструктивного виконання механізму виділення одиничного піддону зі стопи*

Для дослідження динамічних процесів у модулі виділення одиничного піддону зі стопи наведену конструкцію можна розглядати як тримасову коливальну систему. Ця динамічна система складається з маси стопи піддонів, яка з'єднана за допомогою пружних елементів з двома приведеними масами підйомно-опускного пристрою.

На основі проведеного математичного моделювання режимів роботи модуля виділення одиничного піддону зі стопи одержано розрахункові формули для визначення кінематичних і динамічних параметрів процесу виділення одиничного піддону зі стопи.

Застосування одержаних рівнянь дає можливість здійснювати як проектні, так і перевірні розрахунки функціонального модуля виділення одиничних піддонів, в основі конструкції яких є підйомно-опускний пристрій.

Література

1. *Кривопляс А.П.* Пакетоформирующие машины / А.П. Кривопляс, А.А. Кукибный, А.П. Беспалько и др. – М.: Техника, 1982. – 239 с.
2. *Соколенко А.І.* Моделювання процесів пакування / А.І. Соколенко, В.Л. Яровий, В.А. Піддубний та ін. – Вінниця: «Нова книга», 2004. – 272 с.
3. *Гавва О.М.* Наукові основи розрахунку параметрів потоково-транспортних систем харчових виробництв: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.18 / Гавва О.М.; УДУХТ. – К., 1996. – 659 с.
4. *Гавва О.М.* Пакувальне обладнання: підруч. для студ. ВНЗ / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. – К.: ІАЦ «Упаковка», 2010. – 744 с.

Інтегровані рішення компоновки пакувальних машин-автоматів у технологічних системах

Л.О. Кривопляс-Володіна, к.т.н., О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ

Науково-технічний прогрес безперервно ставить перед машинобудівниками нові, все складніші завдання, пов'язані зі створенням якісно нової сукупності властивостей виробів, підвищенням ефективності виробництва, автоматизацією виробничих процесів, екологічною безпекою. На підставі виконаного аналізу загальних принципів компоновки відомих типів технологічних систем розроблено нові підходи створення, проектування та функціонування якісно нових високопродуктивних та високоефективних технологічних систем безперервної дії, до складу яких входять пакувальні машини-автомати для харчових продуктів [1]. Такі системи належать до технологічних систем із просторовим компонованням. На рис. 1 наведено структуру технологічних машин та систем безперервної дії.



Рис. 1. Структура технологічних машин та систем безперервної дії: 1, 2, n – функціональні технологічні модулі

На базі цієї структури технологічних машин і систем особливо ефективно вирішуються питання комплексної автоматизації процесів пакування. Рівняння динаміки руху виробів у пакувальних машинах можна скласти як рівняння статички в абсолютних величинах, відхиленнях і відносних величинах. Одночасно, складаючи ці рівняння, доречно застосовувати операторну форму запису диференціальних рівнянь, згідно з якою вводиться символ похідних і

інтегралів, що визначається за допомогою оператора Лапласа – p , значення загальної статичної характеристики залежності вихідної величини (Y) обробленого продукту – від вхідної (X) матеріального потоку: $Y = f(X)$.
 Приклад формування складових матеріального потоку в пакувальній системі [2] наведено на рис. 2.

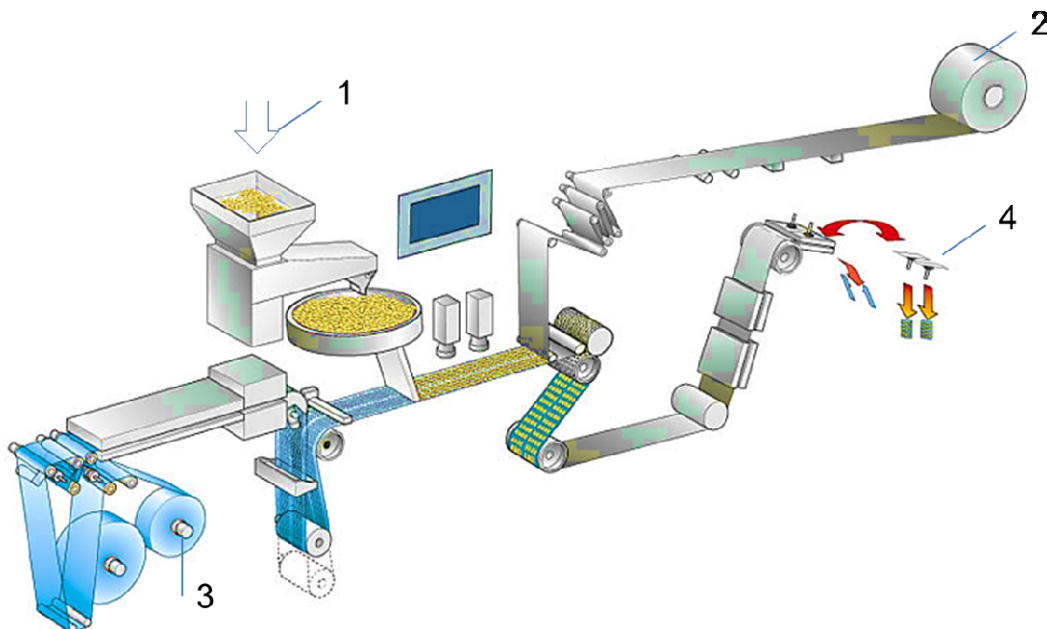


Рис. 2. Технологічна схема пакування дрібноштучних продуктів у блістери з прикладом формування матеріального потоку:
 $X \rightarrow 1$ – харчовий продукт; 2, 3 – рулонний пакувальний матеріал;
 $Y \rightarrow 4$ – оброблений продукт (сформована упаковка)

Тоді похідні в операторній формі можна записати так:

$$\frac{d}{dt} = p; \frac{d^2}{dt^2} = p^2; \dots, \frac{d^n}{dt^n} = p^n, \text{ тобто}$$

$$\frac{dX}{dt} = pX; \frac{dY}{dt} = pY; \frac{d^2X}{dt^2} = p^2X; \frac{d^3Y}{dt^3} = p^3Y; \dots, \frac{d^{n-1}X}{dt^{n-1}} = p^{n-1}X; \frac{d^nY}{dt^n} = p^nY.$$

Інтегралі в операторній формі записують як:

$$\int dt = \frac{1}{p}; \int X dt = \frac{1}{p} X; \int dt \int X dt = \frac{1}{p^2} X \text{ і т. д.}$$

При операторній формі запису оператор Лапласа p розглядають як деяку величину, на яку поширюють усі алгебраїчні дії.

На основі проведених досліджень параметрів пакувальних машин і систем різних компонувань зроблено такі висновки:

1. Для забезпечення комплексної автоматизації та інтенсифікації пакувальних процесів перспективними є технічні системи безперервної дії, у яких операції пакування виконуються в процесі безперервного транспортного руху предметів обробки разом із робочими органами машини.

2. Принципи проектування роторних, роторно-конвеєрних і просторових машин базуються на елементарних структурах блоків технологічного впливу і лінійності їх компонування в функціональних модулях і автоматичних лініях.
3. Створюючи автоматизовані технологічні системи, варто прагнути до збільшення продуктивності, зменшення використання обсягів технологічного простору та мінімізації загальних витрат.

Література

1. *Whelan P.F.* Development of a vision system for the flexible packing of random shapes / P.F. Whelan, B.G. Batchelor // Proc. SPIE Machine Vision Applications, Architectures and Systems Integration. – 2000. – P. 223–232.
2. *Wegrzyn T.F.* Food Layered Manufacture: A new process for constructing solid foods // Trends Food Sci. – 27. – Technol., 2012. – P. 66–72.

Періодичний привод транспортувальної системи тамподрукарської машини

Д.С. Гриценко, к.т.н., ВПІ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

У поліграфічній промисловості необхідно декорувати пакування складної конфігурації. Для цього використовують тамподрукарське обладнання. Технологічний процес тамподруку передбачає нанесення зображення в період вистою. А отже, під час подачі паковань у зону друку необхідно здійснювати періодичний рух транспортувального пристрою. Причому поверхня транспортувального пристрою також буде й опорною під час друку. Тому до таких пристроїв висуваються наступні вимоги: точність вистою в зоні друку; плавність періодичного руху без різких прискорень і коливань; можливість здійснення необхідного періоду вистою до повного кінематичного циклу за вимогами технологічного процесу.

Проведений аналіз різних механізмів, за допомогою яких здійснюється періодичний рух, показав, що для таких транспортувальних пристроїв доцільно використовувати кулачкові механізми періодичного повороту. Отже, актуальним є створення нових структурних побудов таких механізмів з урахуванням особливостей технологічного процесу тамподруку.

Для здійснення періодичного руху пропонується представлений на рисунку кулачковий механізм [1], який перетворює постійний обертовий рух у періодичний обертовий із тривалою зупинкою. Такий механізм містить корпус 1, ведучий вал 2 зі встановленим на ньому основним 3 та додатковим 4 кулачками, пов'язану з валом 5 ведену ланку 6 та основну шестерню 7 з роликками 8, 9, які взаємодіють з основним кулачком 3, механізм замикання кулачкової пари, який включає пружний елемент у вигляді пружини 10, додаткові шестерні 11, 12, встановлені на коромислі 13, вільно розташованому на веденому валу 5, який взаємодіє з додатковим кулачком 4. Пружний елемент 10 за допомогою гнучких ланок 14, 15, які обгинають ролики 16, 17, встановлені на коромислі 13, сполучений з ексцентрично встановленими пальцями 18, 19 на додаткових шестернях 11, 12. Робочий профіль основного кулачка 3 виконаний розімкненим по мінімальних радіусах-векторах.

Пристрій для періодичного обертального руху веденої ланки працює таким чином. У початковому положенні, коли ролик 8 контактує з точкою А основного кулачка 3, коромисло 13 повернуто на кут β щодо горизонтального положення. Причому додаткові шестерні 11, 12 повернуто на кут γ відносно положення рівноваги, чим забезпечується створення крутного моменту на веденому валу 5, який при подальшій взаємодії ролика 8 з ділянкою А-В профілю основного кулачка 3, радіус-вектори якого зменшуються в міру обертання кулачка, повертає ведену ланку 6. При цьому деформація пружини 10 зменшується, і накопичена нею енергія за програмою, яка визначається профілями кулачків 3, 4, передається веденій ланці 6. У положенні переходу веденої ланки 6 від розгону до вибігу коромисло 13 займає горизонтальне положення ($\beta = 0$), за яким крутний момент дорівнює нулю.

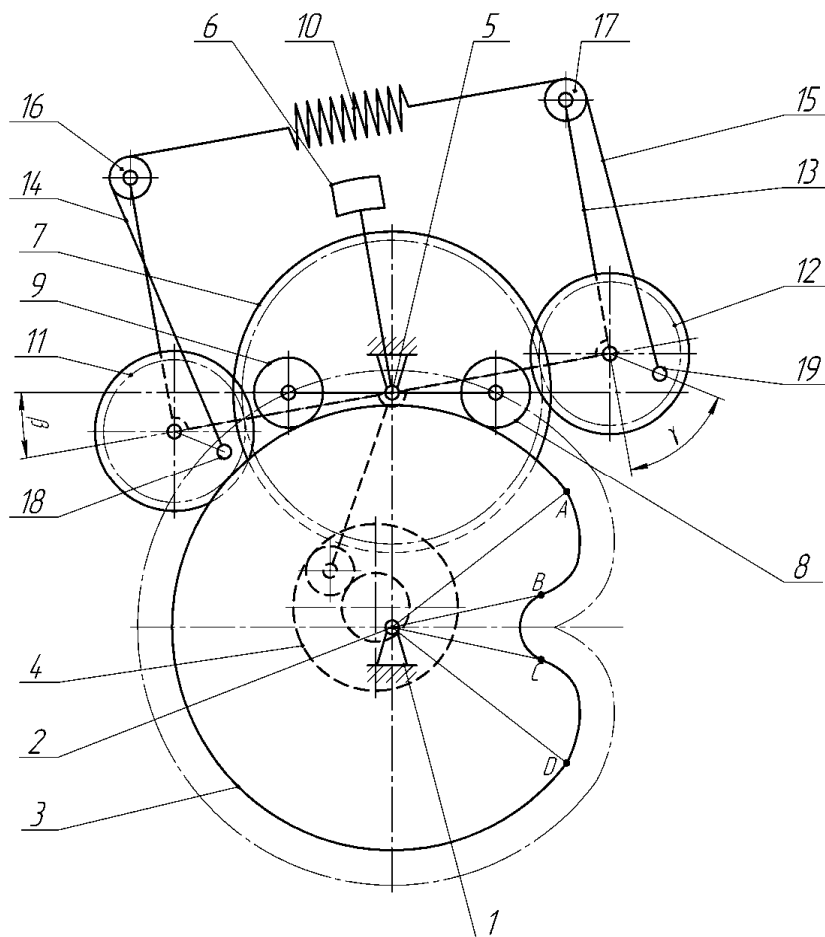


Рисунок. Кулачковий механізм періодичного повороту

При вибіганні під впливом ділянки С-Д профілю основного кулачка 3, радіус-вектори якого збільшуються в міру обертання кулачка, який контактує з роликком 8, деформація пружини 10 збільшується і відбувається акумуляція нею енергії, яка віддається веденою ланкою 6. А коромисло 13 за допомогою додаткового кулачка 4 повертається на кут β відносно горизонтального положення, і додаткові шестерні 11, 12 залишаються повернутими на кут γ відносно положення рівноваги.

Під час вистою веденої ланки 6 коромисло 13 повертається на кут 2β , при цьому додаткові шестерні 11, 12, обкатуючись по нерухомій основній шестерні 7, повертаються на кут 2γ і займають початкове положення, чим забезпечується зміна знака крутного моменту.

Таким чином, за один оберт ведучого вала 2 відбувається поворот на 180° веденого вала 5 з веденою ланкою 6. При наступному циклі з ділянками змінної крутизни робочого профілю основного кулачка 3 взаємодіє ролик 9. Пристрій може бути виконаний з можливістю повороту веденої ланки на 120° , 90° і менше.

Основною особливістю такого механізму є врахування всіх вищеперерахованих вимог, а також можливість здійснення за допомогою додаткового пазового кулачка програмного розвантаження транспортувальної системи із встановленими на ній виробами для покращення динаміки системи, збільшення часу безвідмовної роботи та зменшення енерговитрат у приладі.

Література

1. Пат. 42592 України, МПК (2009) F 16 Н 25/00. Пристрій для періодичного обертального руху веденої ланки / А.І. Петрук, Д.С. Гриценко, К.Ю. Кривенко, В.В. Шибунін. – № u200901609; заявл. 24.02.2009; опубл. 10.07.2009, Бюл. № 13. – 3 с.

*Загальна редакція к.х.н. В.М. Кривошей
Наукова редакція д.т.н., проф. О.М. Гавва
Верстка та коректура Л.М. Андріянова*

Організатори конференції не завжди поділяють погляди авторів. За зміст доповідей та достовірність інформації відповідальність несуть автори.

