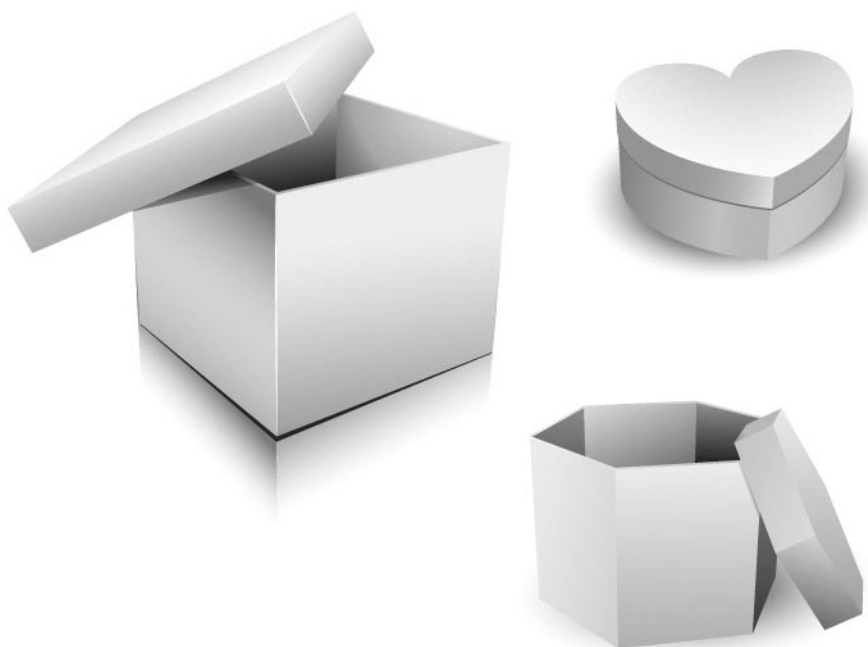


**Міністерство освіти і науки України
Клуб пакувальників України
Національний університет харчових технологій
АТ «Київський міжнародний контрактний ярмарок»**

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

Додаток до журналу «Упаковка®»



Київ — 2014

ЗМІСТ

Г.М. Радченко, В.В. Степанець, к.т.н., ВПІ НТУУ «КПІ», м. Київ Аналіз тенденцій у виготовленні та опорядженні пакувань.....	5
К.І. Золотухіна, О.М. Величко, д.т.н., НТУУ «КПІ», м. Київ Удосконалення технологій друкування на матеріалах для пакування.....	7
В.О. Кохановський, ВПІ НТУУ «КПІ», м. Київ Сучасні технології друку на пакувальних матеріалах із паперу та картону.....	9
І.С. Карпенко, В.Ф. Морфлюк, д.т.н., НТУУ «КПІ», м. Київ Метод цифрового контролю приведення фарб у аркушепередавальній системі під час друку на матеріалах для пакування.....	11
А.Д. Шепельова, О.І. Хмілярчук, к.т.н., ВПІ НТУУ «КПІ», м. Київ Оздоблення «тканинних» упаковок за допомогою фольги.....	13
О.О. Саранулова, В.П. Шерстюк, д.х.н., ВПІ НТУУ «КПІ», м. Київ Перспективи використання різних способів друкування для поліграфічного виготовлення нанофотонних і фотокаталітичних систем для пакувань.....	15
О.Д. Задорожна, О.О. Саранулова, ВПІ НТУУ «КПІ», м. Київ Пакування та етикетки з друкованими нанофотонними елементами.....	19
Є.С. Вальков, Р.А. Хохлова, к.т.н., НТУУ «КПІ», м. Київ Характеристика природних біорозкладальних полімерів для виготовлення флексографічних друкарських фарб.....	22
Я.В. Немеш, О.І. Лотоцька, к.т.н., ВПІ НТУУ «КПІ», м. Київ Узагальнення системи класифікації тари та пакувань.....	24
В.В. Зелений, УАД, м. Львів Аналіз кінематичних параметрів приводу натискної плити у штанцювальних машинах.....	27
Д.С. Гриценко, Ю.О. Шостачук, к.т.н., ВПІ НТУУ «КПІ», м. Київ Механізм періодичного руху транспортувальної системи подавання заготовок для виготовлення пакування.....	30
А.В. Деренівська, В.М. Любімов, к.т.н., О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ Дослідження геометрії шнекових конвеєрів для переміщення упаковки у формі паралелепіпеда.....	32

О.О. Бойко, А.І. Соколенко, д.т.н., С.А. Бут, к.т.н., НУХТ, м. Київ Динаміка та особливості виділення парогазової фази за вакуумного пакування.....	36
Н.І. Магерус, Ю.П. Шоловій, к.т.н., НУ «Львівська політехніка» Вплив геометрії лунки дозатора на швидкість витікання сипкого матеріалу.....	40
А.В. Деренівська, Я.О. Самченко, О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ Стабілізація потоку сипкої харчової продукції під час її переміщенні у зважувальну ємкість лінійного вагового дозатора.....	43
О.В. Коваль, В.А. Піддубний, д.т.н., НУХТ, м. Київ Особливості кінематики гравітаційних пристроїв у лініях пакування харчової продукції.....	47
К.В. Васильківський, к.т.н., В.М. Криворотько, к.т.н., НУХТ, м. Київ Гравітаційні енергоматеріальні системи в лініях пакування харчової продукції.....	50
А.В. Мудрак, І.Ф. Максименко, А.І. Соколенко, д.т.н., НУХТ, м. Київ Коефіцієнти корисної дії похилих площин.....	54
О.М. Арсенюк, І.В. Коваленко, к.т.н., НТУУ «КПІ», м. Київ Математична і фізична моделі гідравлічної сепарації полімерних пакувальних матеріалів.....	57

Аналіз тенденцій у виготовленні та опорядженні пакувань

Г.М. Радченко, В.В. Степанець, к.т.н., ВПІ НТУУ «КПІ», м. Київ

Красиве та якісне пакування приваблює споживачів, збільшує рівень продажів, надає продукції презентабельного вигляду і захищає його від пошкоджень. Саме тому більшість виробників приділяє значну увагу розробці та виробництву пакування для свого товару.

З кожним роком усе більшу частку ринку займає виробництво пакування з картону. Цей вид виробництва надзвичайно зручний. Пакування з картону дуже легке, в складеному вигляді займає мало місця, швидко збирається та розбирається. Також пакування з картону може мати яскравий та привабливий дизайн. Проте головною перевагою такого виду упаковки вважається екологічність і нешкідливість для здоров'я покупців, оскільки картон не засмічує навколишнє середовище шкідливими компонентами.

Для написання статті було проведено маркетингове дослідження в якому було проаналізовано пакування за матеріалами з яких виготовляється. Встановлено, що значна частка припадає на пакування з дизайнерського картону [1]. Тому для подальших досліджень було обрано саме цей вид поліграфічної продукції.

Ринок нових матеріалів, особливо дизайнерського картону сьогодні розвивається особливо динамічно. Дизайнерський картон може бути стилізований «під старовину», пергаментний, мати різні покриття, або відливатися вручну [2].

Основними поліграфічними методами, що застосовуються для оздоблення упаковки з картону є лакування, тиснення та висікання. У таблиці представлений порівняльний аналіз вказаних методів.

Таблиця.

Порівняльний аналіз поліграфічних методів оздоблення

Параметри і критерії оцінки	Лакування		Тиснення		Висікання	
	Технічна оцінка	Бальна оцінка	Технічна оцінка	Бальна оцінка	Технічна оцінка	Бальна оцінка
Вага 1 м ² (граматура)	40–400	10	100–400	8	150–400	6
Ціна 1 м ² формного матеріалу, \$	80	10	120	9	200	7
Ціна витратних матеріалів, \$	70 (за 1 кг)	6	1 (за м ²)	9	—	10
Екологічність	—	3	—	10	—	8
Кількість запитів у Google	57 300	9	61 900	10	7 440	4
Сумарний показник		38		46		35

На основі бальних оцінок, які представлені в таблиці, була побудована пелюсткова діаграма, що зображена на рисунку.

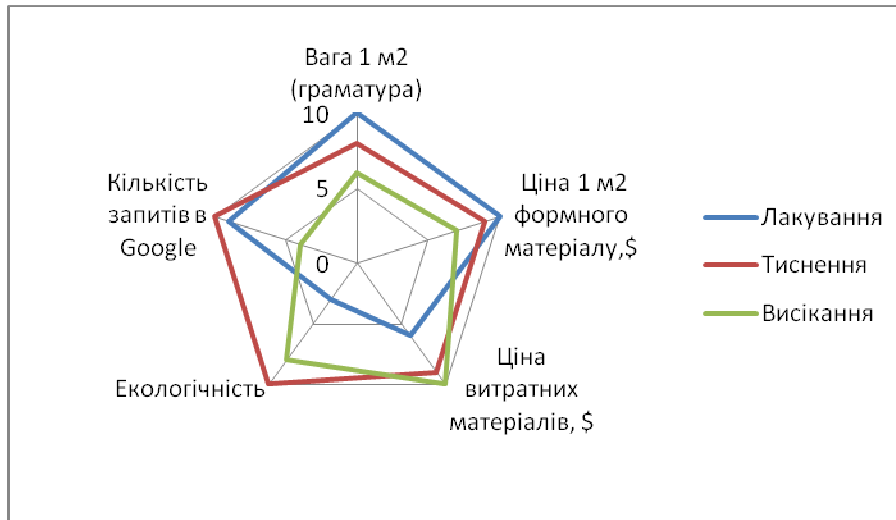


Рисунок. Діаграма розподілу поліграфічних методів оздоблення пакувань

З аналізу таблиці та діаграми видно, що найвища оцінка та максимальну площу займає тиснення.

Тиснення найбільш популярний спосіб опорядження поліграфічної продукції. Одним з ефективних методів є конгревне тиснення, що дає можливість отримувати рельєфні зображення разом з опуклими на поверхні матеріалу. Виготовлення пакування з таким тисненням усе частіше замовляють виробники чаю, шоколадних цукерок та парфумів.

Література

1. Горшкова Л.О. Влияние технологических режимов на качество тиснения фольгой на дизайнерських бумагах / Л.О. Горшкова, В.И. Бобров, Т.А. Проклова, Е.А. Степанова // Вестник МГУП. – 2007. – № 5. – С. 45–58.
2. Процесс одновременной высечки и холодного конгревного тиснения. – Режим доступу: <http://msd.com.ua/fleksografiya/process-odnovremennoj-vysechki-i-holodnogo-kongrevnogo-tisneniya>.

Удосконалення технологій друкування на матеріалах для пакування

К.І. Золотухіна, О.М. Величко, д.т.н., НТУУ «КПІ», м. Київ

Етикетко-пакувальний сегмент займає найбільшу частку поліграфічного ринку за темпами зростання впродовж останніх років. Підвищення попиту на оригінальне креативне пакування сприяє розширенню асортименту різноманітних пористих та невисотувальних матеріалів на ринку України. Розширення асортименту витратних матеріалів та різноманітної продукції сприяє поширенню технологій нанесення зображень на невисотувальні поверхні офсетним способом друкування, поштучне задруковування готових виробів із застосуванням трафаретного та струминного способів друкування, поєднанню різноманітних технологічних процесів тощо. Це стає можливим і доступним для багатьох друкарень завдяки розширенню матеріально-технічної бази, яка є достатньо розвиненою в Україні. Формування сюжетів зображень для поліграфічного оформлення різноманітних пакувань зумовлено особливостями поверхні, на яку наноситься зображення. Дедалі все більше це невисотувальний полімерний матеріал із різним ступенем шорсткості, змочування, непрозорий, прозорий або забарвлений із відтінком. А серед сучасних способів друкування на різного роду задруковуваних матеріалах продовжує тримати свої позиції офсетний спосіб.

За допомогою синтезу моделі критеріїв вибору режимів та параметрів управління перенесенням та закріпленням фарби на відбитку в офсетному друці визначено найвагоміші складники процесу. На підставі теорії графів та методів системного аналізу побудовано ієрархічну модель пріоритетності критеріїв вибору режимів та параметрів друкарського процесу.

До головних технологічних параметрів друкарського процесу, які суттєво впливають на характер перенесення фарбового шару є: товщина шару фарби на формі, тиск, швидкість друкування. Окрім того, в'язкість фарби та її колювання впродовж друкування, суміщення фарб, дотримання атмосферних умов у цеху, відповідність між використовуваними друкарськими формами, фарбою, задруковуваним матеріалом та друкарським обладнанням — ці та інші друкарсько-технічні параметри впливають на стабільність друкарського процесу та, як наслідок, якість готового пакування. За умови раціонально підібраних режимів друкування (тиску, кількості фарби, що подається на друкарську форму, швидкості друкування, в'язкості фарб) спотворення зображення на відбитку зводиться до мінімуму. Для забезпечення ідентичності відбитків упродовж всього тиражу встановлений оптимальний режим друкування має бути стабільним.

На підставі проведених досліджень і отриманих результатів, методами планування експерименту проведено аналітичне й емпіричне дослідження офсетного друкарського процесу, яке враховує одночасний вплив декількох чинників та їхньої зміни у широкому діапазоні на результат друкування на матеріалах для пакування. З багатьох факторів, які впливають на технологічний процес, були обрані: x_1 — в'язкість друкарської фарби, x_2 — мікронерівності

поверхні задруковуваного матеріалу, x_3 — товщина шару фарби на формі, x_4 — кількість зволожувального розчину, доданої до фарби.

Показники якості відбитків: Δy_1 , y_2 — середні значення оптичної густини плашок, які знаходяться на різних ділянках відбитка, зокрема клапана і хвоста, y_3 — середньоквадратичне відхилення оптичної густини.

У результаті проведених аналітичних та емпіричних досліджень отримані математичні моделі залежності y_1 – y_3 від x_1 – x_4 у широкому діапазоні значень факторів. Залежність оптичної густини плашок від факторів описується поліномом другого ступеня:

$$Y(x_1, x_2, x_3, x_4) = 1,14 - 0,2 x_1^2 - 0,14 x_1^2 x_2^2 - 0,18 x_3^2 x_4 - 0,18 x_2^2, \quad (1)$$

Отже, на якість відбитка найбільше впливає в'язкість фарби (x_1), її поєднання з мікронерівностями поверхні (x_1 , x_2), товщина шару фарби на формі у поєднанні зі всотувальною здатністю фарби до зволожувального розчину (x_3 , x_4). Тож формування відбитка зі стабільними колірними характеристиками описується рівнянням (1), що визначає засоби управління друкарським процесом. Регулювання в'язкості фарби можливе під час друкування для забезпечення її взаємодії з контактувальними поверхнями.

У підсумку необхідно зазначити, що дослідження властивостей компонентів технологічного середовища, зокрема фарб та параметрів їхнього застосування, для відтворення інформації з унормованими колірними характеристиками на пористих і невсотувальних поверхнях показали ефективність підходу формування моделей для прогнозування та керування технологічним процесом репродукування.

Сучасні технології друку на пакувальних матеріалах із паперу та картону

В.О. Кохановський, ВПІ НТУУ «КПІ», м. Київ

Поліграфічна промисловість тісно взаємопов'язана з пакувальною індустрією, і на сьогоднішній день друкування паковань вийшло на лідируючі позиції в загальному обсязі світових поліграфічних послуг. Це обумовлено наявною тенденцією сучасного ринку, яка полягає в тому, що будь-який товар повинен бути упакований. Упаковка стає потужним засобом реклами та маркетингу продукції, адже від її якості залежить попит споживачів на товар.

Упаковка характеризується великим різноманіттям класів, видів, типів і конструктивно-технологічних особливостей виконання. За матеріалом розрізняють упаковку з паперу, картону, пластмаси, металу, скла, кераміки, дерева. Найбільш економічні та широко використовувані матеріали — папір і картон.

Під час поліграфічного оформлення паперових та картонних паковань може бути використаний практично будь-який спосіб друкування й оздоблення, тому така упаковка відрізняється прекрасним зовнішнім виглядом, величезною різноманітністю дизайнерських рішень.

Кожна з технологій задруковування паковань має свої переваги і недоліки.

Офсетний друк дає можливість отримувати високоякісні відбитки з високою лініатурою растру. Головний недолік цього виду друку — високі затрати на налагодження і підтримку необхідних технологічних режимів через нестійкість балансу «фарба — зволоження».

Флексографічний друк є універсальною технологією, яка забезпечує якісний високошвидкісний друк середньо- і низьколініатурних зображень. Слабкою стороною флексографії виступає недостатньо якісне відтворення високолініатурних растрових зображень, дрібних штрихових елементів, шрифтів дрібних кеглів через високе розтискування та інші особливості цього виду друку. Проте ряд новацій, серед яких можна відзначити впровадження тонких фотополімерних друкарських форм із компресійним шаром і використання УФ-фарб, дали можливість суттєво підвищити рівень якості флексографічного друку. Це, разом з іншими перевагами цієї технології, підвищує ставки флексографії у конкурентній боротьбі за ринок виробництва паковань із паперу та картону.

Глибокий друк дає можливість отримувати відтиски дуже високої якості з плавними градаційними переходами. Цей спосіб відрізняється найвищою швидкістю друку, проте значні витрати на виробництво форм роблять його рентабельним лише під час друку великих накладів. Зокрема, спосіб глибокого друку широко використовується під час друку паковань для тютюнових виробів і рідин.

Трафаретний друк відрізняється можливістю отримання непрозорих графічних елементів завдяки використанню фарб із високою покрівельною здатністю та можливістю нанесення фарбового шару великої товщини. Проте відтворення за допомогою трафаретного друку високоякісних растрових зображень нині неможливе. Іншим його недоліком є досить низька швидкість друкування.

Цифровий друк — сукупність способів, за яких відсутня матеріальна друкарська форма. Найбільш поширені електрографія та струменевий друк. Головною перевагою цих способів є можливість оперативної зміни відтворюваної інформації. Недостатньо висока якість при високій вартості витратних матеріалів обмежує поки що їхнє застосування під час друку малотиражної продукції.

Однією з останніх тенденцій у сфері друкування пакувальної продукції стало поширення так званого комбінованого друку — поєднання в одному процесі декількох технологій друку. Метою цього поєднання є розширення можливостей друкарського процесу за рахунок використання переваг кожного з існуючих способів. Практична реалізація комбінованого друку можлива лише після рішення проблем напрацювання технологічного процесу, вибору устаткування і реорганізації виробництва.

Як відомо, упаковка несе в собі маркетингову функцію, тобто повинна спонукати покупця придбати з безлічі товарів саме той, який вона в собі містить. Отже, перед виробниками пакування встає завдання у якийсь спосіб виділити свою продукцію, надати їй особливі декоративні властивості. Окрім цієї функції, за допомогою оздоблюваних операцій вирішують й інші завдання: захисту друкарського відбитку (від стирання, від дії агресивного середовища), надання відбитку нових споживчих властивостей (блістерні та ароматизовані лаки), захисту продукції від підробок (стикерування голографічними наліпками) та ін.

Література

1. Техника флексографской печати: Учебное пособие/ Под ред. В.П. Митрофанова, Б.А. Сорокина; Пер. с нем. — Ч. 1–Ч. 2. — М.: МГУП, 2001. — 208 с.
2. Техника трафаретной печати: Учебное пособие / Под ред. В.П. Митрофанова. — М.: МГУП, 2000. — 102 с.
3. *Ярема С.М.* Офсетний друк: Навч. посіб. / Ярема С.М., Карлюк В.А. та ін. — Т. 2. — К.: ХаГар, 2002. — 507 с.
4. *Харин О.Р.* Современная электрофотография: Учебное пособие / Харин О.Р., Сувейздис Э. — М.: МГУП, 2002. — 316 с.
5. *Кипхан Г.* Энциклопедия по печатным средствам информации / Кипхан Г.; Пер. с нем. — М.: МГУП, 2003. — 1280 с.

Метод цифрового контролю приведення фарб у аркушепередавальній системі під час друку на матеріалах для пакування

І.С. Карпенко, В.Ф. Морфлюк, д.т.н., НТУУ «КПІ», м. Київ

Світовий ринок пакування постійно розширюється і внаслідок досягнутих успіхів та підвищення якості цей вид продукції займає значний сегмент ринку серед інших секторів поліграфічного виробництва. Тому сьогодні якісний друк на пакувальних матеріалах висуває особливі вимоги до аркушевих друкарських машин.

У процесі проведення аркуша через друкарські секції значний вплив на якість продукції має контроль орієнтації технологічних міток задрукованого аркуша та точність приведення фарб на друкарських відбитках, що в значній мірі залежить від точності функціонування аркушепередавальних систем друкарських машин.

Аналіз функціонування автоматизованих аркушепередавальних систем за останній час показав, що процес суміщення фарб базується на приведенні формного циліндра безпосередньо перед друком тиражу [1, 2]. Процес контролю поперечного, поздовжнього та діагонального приведення фарб виконується шляхом друку пробного відбитка, а його корекція виконується відповідно механізмами осьового, колового та діагонального приведення формного циліндра. При виявленні похибок приведення фарб під час друку тиражу ця проблема вирішується тільки повною зупинкою друкарської машини. У аркушевих друкарських машинах, які забезпечені засобами автоматизації приведення фарб на основі принципів аналогового керування [3, 4], визначається значний час для обробки та аналізу сигналів із датчиків на кожній друкарській секції.

Для організації процесів керування у аркушепередавальній системі по новій концепції на основі методу цифрового контролю приведення фарб застосовується наступне програмно-технічне забезпечення: електронно-обчислювальна машина, аналого-цифровий перетворювач, цифро-аналоговий перетворювач та оптичні датчики для ідентифікації параметрів орієнтації технологічних міток задрукованого аркуша.

Функціонування цифрової підсистеми контролю параметрів суміщення фарб у аркушепередавальній системі базується на формуванні та аналізі імпульсних сигналів [5] під час сканування правої та лівої технологічних міток у вигляді прямокутних трикутників, які друкуються на першій друкарській секції машини по обидві сторони аркуша. У процесі аналізу визначаються часові характеристики імпульсних сигналів для кожної з міток на основі статистичного методу визначення амплітуди імпульсного сигналу, яка обчислюється на основі різниці максимальних значень зрізаного розподілення. Визначення похибки орієнтації аркуша перед його входженням до друкарської секції виконується на основі аналізу визначених часових характеристик для кожної мітки.

Метод цифрового контролю процесу приведення фарб під час друку на матеріалах для пакування на основі визначення параметрів імпульсних

сигналів, які моделюють параметри орієнтації технологічних міток, забезпечує високу точність визначення параметрів приведення фарб у реальному масштабі часу, що визначає подальший напрям дослідження процесів стабілізації поперечного, поздовжнього та діагонального приведення фарб.

Література

1. *Мельников О.В.* Технологія плоского офсетного друку / О.В. Мельников; за ред. Е.Т. Лазаренка. — Львів: Афіша, 2003. — 383 с.
2. *Чехман Я.І.* Друкарське устаткування / Я.І. Чехман, В.Т. Сенкус, В.П. Дідич, В.О. Босак. — Львів: УАД, 2005. — 466 с.
3. *Дроздов В.Н.* Автоматизация технологических процессов в полиграфии / В.Н. Дроздов. — М.: МГУП, 2006. — 252 с.
4. *Штоляков В.И.* Печатные системы фирмы Heidelberg: Офсетные печатные машины / В.И. Штоляков, А.В. Федосеев, Л.И. Зирнзак, И.А. Егоров, С.П. Вартамян, Э.С. Артыков. — М.: МГУП, 1999. — 216 с.
5. *Морфлюк В.Ф.* Засоби цифрового визначення та стабілізації паралельності переднього краю листа у листових друкарських машинах / В.Ф. Морфлюк // Технологія і техніка друкарства: Зб. наук. праць ВПІ НТУУ «КПІ». — 2011. — № 3 (33). — С. 35–40.

Оздоблення «тканинних» упаковок за допомогою фольги

А.Д. Шепельова, О.І. Хмілярчук, к.т.н, ВПІ НТУУ «КПІ», м. Київ

Ринок упаковки сьогодні пропонує широкий асортимент товарів і послуг. Упаковку класифікують за такими характеристиками: призначення, цінова категорія, матеріали для виготовлення, конструкція тощо.

На ринку представлена також й елітна упаковка, що не лише захищає товар, а й презентує його на найвищому рівні. Такий вид упаковки може використовуватися як футляр для певних видів продукції: ювелірних прикрас, годинників, дорогих аксесуарів, ексклюзивних алкогольних напоїв, флаконів з парфумами та ін. Ще однією особливістю елітної упаковки є можливість персоніфікувати її або ж виготовити в унікальному одиничному екземплярі.

Ряд упаковки цього виду частково або повністю виготовлений із дорогого виду тканини: штучного або натурального оксамиту, замші, шовку тощо. Презентація товару у футлярі, оздобленому коштовною тканиною, на підсвідомому рівні формує в людини усвідомлення ексклюзивності цього товару. Окрім футлярів існують також мішечки з тканини, що є не тільки упаковкою, а й подарунковим атрибутом.

Для декорування тканини можуть використовуватись такі технології оздоблення як: ручна вишивка, друк, нанесення фольги чи плівки. Використання однієї із цих технологій надасть зовнішньому виглядові упаковки презентабельності й стильності.

У результаті проведених аналітичних досліджень вирішено зупинитися на декоруванні «тканинної» упаковки за допомогою фольги. Такий метод оздоблення має свої переваги та недоліки. Однією з головних переваг цієї технології є стійкість фольги до вицвітання. Зважаючи на те, що такий вид упаковки може простояти досить довгий час і не використовуватись, то цей фактор відіграє вагомий роль. Недоліком можна назвати складність процесу нанесення фольги. Проте фольга надає упаковці блиску, що робить її вигляд оригінальнішим. Отже, переваги перевищують можливі недоліки цієї технології.

Зазначена технологія базується на застосуванні термопреса для перенесення фольги та використанні трафаретної форми для нанесення шару клею, який формує зображення.

Під час застосування цієї технології повинен використовуватися спеціальний клей для тканини. На сьогодні відомо два види клею: на водній і пластизоловій основі. Клей на водній основі оптимально використовувати для одягу, адже під час прання він вимивається, й структура тканини перестає бути жорсткою, а пластизоловий клей цілком підійде для цього виду упаковки. Особливістю клеїв на пластизоловій основі є необхідність його підготовки до застосування шляхом додавання спеціальних розчинників.

При цій технології використовується фольга суто для текстилю, адже інші види фольги можуть відшаровуватись або тріскатися, в наслідок чого упаковка втратить презентабельний вигляд. Фольга для тканин має специфічну структуру металізованого шару, яка не призводить до таких руйнувань.

Були проведені дослідження технологічних режимів процесу: температури та часу, які повинні використовуватися під час нанесення фольги на тканину. Вони показали, що для таких тканин, як оксамит та замша, температура варіюється в межах 140–170 °С, а час — 15–25 с.

Під час проведення досліджень було виявлено, що товщина шару клею є важливим фактором процесу. Згідно з проведеними експериментами товщина шару для «гладких» тканин не повинна перевищувати 0,1 мм, якщо він буде більшим, то може ламатися, що призведе до погіршення зовнішнього вигляду вже готового зображення. Натомість шар клею для структурованих тканин варіюється в межах 0,1–0,2 мм, оскільки за меншої кількості покриття зображення фольгою може бути неповним. Також важливим моментом є ступінь висихання клею, адже він впливає на якість перенесення фольги та зовнішній вигляд зображення.

Важливим питанням при цьому методі оздоблення є лініатура трафаретної форми. Дослідження показали, що вона не повинна перевищувати 40 ниток на см, бо за більш дрібної сітки клей просто не продавиться на тканину. Оптимально — 34 нитки на см.

Перспективи використання різних способів друкування для поліграфічного виготовлення нанофотонних і фотокаталітичних систем для пакувань

О.О. Саранулова, В.П. Шерстюк, д.х.н., ВПІ НТУУ «КПІ», м. Київ

Нанофотонні та фотокаталітичні системи у вигляді друкованих елементів є перспективними для забезпечення функціональності новітніх пакувань [1] — «активних» і «розумних» пакувань, які збільшують термін зберігання харчових продуктів без необхідності додаткової обробки і повідомляють про поточний стан запакованого продукту, тобто його придатність до вживання, шляхом зміни певних властивостей друкованого шару (кольору, параметрів люмінесценції, електричних, механічних, геометричних властивостей тощо). Використання того чи іншого способу друкування може суттєво вплинути на вихідні властивості такого шару та на характер зміни цих властивостей у процесі роботи системи.

Офсетний друк дає можливість якісно і швидко виготовляти паперові пакування великими накладками. Проте цей спосіб має ряд недоліків стосовно його використання для виготовлення нанофотонних і фотокаталітичних систем. Використання офсетного друку зі зволоженням може призвести до взаємодії нанофотонної композиції з водою у складі зволожувального розчину. Залежно від походження наночастинок, які містяться у композиції, використання офсетного друку зі зволоженням може призводити до зміни властивостей наночастинок наприклад, до зменшення або повної втрати люмінесцентних властивостей наночастинок оксиду цинку (ZnO), який є перспективним для використання в композиціях для виготовлення нанофотонних і фотокаталітичних систем завдяки своїй безпечності та низці специфічних властивостей [2]. Вищевказаний недолік відсутній в офсетному друці без зволоження. Крім того, офсетний друк без зволоження має більшу роздільну здатність. Ще одним недоліком такого друку винятково для виготовлення нанофотонних систем є невелика товщина шару фарби на відбитку (1–2 мкм), через що може знадобитися нанесення шару композиції декілька разів або модифікація складу композиції (наприклад, підвищення концентрації нанорозмірної речовини), що не завжди можливо.

Флексографічний друк є надзвичайно популярним щодо виготовлення гнучких пакувань великими накладками; нині він дає можливість отримувати відбитки досить високої якості. На якості відтворення друкованих шарів може позначитися те, що мініатюрна точка на друкарській формі у процесі друкування із часом під впливом тиску поступово руйнується та зникає, а по краях друкувальних елементів унаслідок ефекту розтискування утворюється непотрібне видиме зображення через притискання друкарської форми до задруковуваного матеріалу, незважаючи на невисокий тиск. Ці фактори можуть позначитися на роботі друкованих електронних компонентів, а також призвести до неточності позиціювання — якщо відгук нанофотонної системи буде фіксуватися інструментально. Проте для виготовлення систем, які надаватимуть оптичний відгук на зміни стану запакованого продукту,

перевагою цього способу друкування є товщина шару фарби на відбитку (6–8 мкм), яка є більшою, ніж в офсетному друці.

Трафаретний друк має безперечну перевагу перед іншими способами друкування для виготовлення нанофотонних і фотокаталітичних систем на поверхні пакувань, яка полягає у можливості отримувати велику товщину шару фарби (20–100 мкм), що є допустимим також і для друкованої електроніки. До недоліків цього способу друкування відносять невисоку роздільну здатність, проте це не матиме значення у випадку виготовлення нанофотонних систем з оптичним відгуком. А от відносно невисока продуктивність порівняно з традиційними способами друкування може накладати певні обмеження на швидкість виготовлення новітніх пакувань великими накладками.

Глибокий друк має обмеження застосування для друкування на гнучких основах через високий тиск. Також через те, що зображення складається з окремих чарунок, неможливо надрукувати пряму суцільну лінію, що небажано для нанофотонних систем, відгук яких фіксується інструментально. Неможливість отримати суцільне покриття також впливає і на функціонування систем з оптичним відгуком, наприклад, призводить до певних змін кольору й інтенсивності люмінесценції, які слід враховувати під час планування функціональних характеристик нанофотонних систем.

Використання тампонного способу друкування як різновиду глибокого друку з непрямым контактом друкарської форми і задрукованого матеріалу через проміжну ланку (тампон) має подібні особливості для виготовлення нанофотонних і фотокаталітичних систем. Тампонний друк є перспективним для виготовлення пакувань невеликими тиражами за умови, що геометричний розмір нанофотонної друкованої ділянки коливається в межах декількох сантиметрів.

Струминний друк є одним із найперспективніших експериментальних методів поліграфічного виготовлення нанофотонних і фотокаталітичних систем. Хоча роздільна здатність струминного способу друкування залишається досить невисокою для друкованої електроніки, для нанофотонних систем як з інструментальним, так і з оптичним відгуком вона є достатньою. Недоліком струминного друку є ризик помилкового розміщення крапель та ефект «паразитних» крапель, які потрапляють на ділянки, що не мають бути задрукованими. Помилка позиціонування складає 10 мкм на 1 мм, також можливі ефекти по краях друкованих елементів, особливо у термальному струминному друці [3]. Проте можливості цього способу друкування постійно зростають. Компактні струминні принтери можуть поєднуватися з пакувальними лініями для друкування невеликих ділянок досить швидко і на різних матеріалах.

Були проведені експериментальні дослідження формування нанофотонних ділянок на поверхні різноманітних матеріалів, які використовуються для виготовлення пакувань для харчових продуктів (папір, плівки). Було використано тампонний і трафаретний способи друкування та вивчено вплив технологічних параметрів нанесення на оптичний відгук виготовлених систем (інтенсивність та колір люмінесценції). Як наноконпоненти було використано колоїдний розчин нанокристалів оксиду цинку (ZnO), а як середовище, в якому

диспергувалися наночастинки для подальшого поліграфічного нанесення, — полівінілпіралідон і поліметилметакрилат. Усі компоненти є безпечними для використання в контакті із харчовими продуктами, а склад композиції було оптимізовано для поліграфічного нанесення. Було визначено оптимальні технологічні параметри друкарського процесу для отримання найбільшої інтенсивності люмінесценції нанофотонних шарів і визначено способи регулювання кольору люмінесценції.

Оскільки мова йде про виготовлення паковань для харчових продуктів, одним із найголовніших питань є безпечність використання нанофотонних і фотокаталітичних систем для таких паковань. Наночастинки у складі композицій, які наносяться друкарськими методами на поверхню паковань, мають бути безпечними, бо можливе їхнє потрапляння в запакований харчовий продукт і до споживання. Попри надзвичайно малі розміри наноречовин, їхню кількість, яка потрапляє в продукт, залежно від типу речовини, слід обмежувати. Крім інших факторів (таких як концентрація наночастинок у композиції, товщина шару нанесення композиції тощо), вибір способу поліграфічного відтворення нанофотонних елементів новітніх паковань також впливає на швидкість потрапляння (міграції) наночастинок із друкованої поверхні, яка знаходиться в прямому контакті із запакованим продуктом, до самого продукту. Таке явище міграції пришвидшується зі збільшенням площі контакту системи з продуктом. Окрім того, що для обмеження процесів міграції нанорозмірних речовин у запакований продукт варто обмежити розміри друкованих ділянок до мінімально можливих, на площу контакту друкованої ділянки із харчовим продуктом також впливають такі технологічні фактори, як суцільність і гладкість друкованого шару. Друкарські форми деяких способів друкування не дають можливості отримати високої гладкості нанесеного шару (наприклад, сітка трафаретного друку) чи суцільної плашки без растру (глибокий, тампонний друк), що призводить до збільшення площі контакту друкованої наносистеми з продуктом і прискорює небажану міграцію наноречовин. За низької в'язкості композиції, яка наноситься, вплив цих факторів значно зменшується. Використання ж способів друкування, які дають можливість отримати гладкі, але тонкі шари (офсетний друк), може призводити до необхідності нанесення друкованих ділянок у декілька шарів для отримання потрібної товщини шару або до необхідності збільшувати концентрацію функціональної наноречовини в композиції.

Отже, важливим є вибір способу друкування для нанесення композиції з нанорозмірними речовинами з метою формування нанофотонних і нанофотокаталітичних друкованих ділянок на поверхні новітніх харчових паковань, оскільки цей вибір впливає на властивості отриманих наносистем і на їхнє правильне функціонування у складі «активних» і «розумних» паковань. Дослідження проводилися за підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень України (проект № Ф54.2/005).

Література

1. *Сарапулова О.О.* Нанопотонні та нанопотокаталітичні системи для друкованих пакувань. Проблеми створення / О.О. Сарапулова, В.П. Шерстюк // Упаковка. — 2013. — № 6. — С. 30–34.
2. *Bahnemann D.W.* Preparation and characterization of quantum size zinc oxide: a detailed spectroscopic study / D.W. Bahnemann, C. Kormann, M.R. Hoffmann // Journal of Physical Chemistry. — 1987. — Vol. 91. — P. 3789–3798.
3. Hurme E. Printed intelligence in packaging / E. Hurme, T. Sipilainen-Malm // Paper 360. — 2007. — P. 25.

Пакування та етикетки з друкowanими нанофотонними елементами

О.Д. Задорожна, О.О. Саранулова, ВПІ НТУУ «КПІ», м. Київ

Поява нанотехнологій на сучасному етапі стрімкого розвитку НТП дала принципово нові високотехнологічні матеріали з властивостями, що раніше не були доступні людству.

У перспективі планується розробка нових економічно вигідніших методів синтезу наноматеріалів для різних галузей народного господарства, впровадження наноматеріалів в інформаційні технології, складовою частиною яких є поліграфія.

Нанотехнології — міждисциплінарна галузь науки, яка вивчає закономірності фізико-хімічних процесів у просторових ділянках нанометрових розмірів із метою управління окремими атомами, молекулами, молекулярними системами під час створення нових наноструктурованих матеріалів зі спеціальними фізичними, хімічними і біологічними властивостями [1].

Одним із пріоритетних напрямків розвитку нанотехнологій є нанофотоніка, наука, що вивчає поведінку світла в нанометровому масштабі. Основними напрямками розвитку нанофотоніки є: метаматеріали, фотонні кристали, плазмоніка, оптичне захоплення та маніпулювання нанооб'єктами, наномодельовання, фотодетектори, сонячні елементи, датчики, оптичні схеми і обробка сигналів, різні сенсори, нанолітографія та ін. [2].

Перспективним є застосування нанофотоніки в поліграфії, зокрема під час виготовлення пакувань. Нанофотонні системи можуть виготовлятися у вигляді композицій для нанесення нанофотонних елементів на різноманітні поверхні поліграфічними методами. Такі композиції містять нанорозмірні речовини, що мають спеціальні властивості поглинання та випромінювання енергії, наприклад, нанорозмірні люмінофори. Дія систем, виготовлених шляхом поліграфічного нанесення нанофотонних композицій, що містять люмінофори, заснована на зміні інтенсивності або кольору люмінесценції, а також спеціальних властивостях функціональних речовин у складі композицій, наприклад, нанокристалів оксиду цинку (ZnO). Надзвичайно перспективним є використання нанофотонних систем для виготовлення новітніх пакувань для харчових продуктів. Так, нанесені нанофотонні мітки на пакування могли б надавати споживачу обширну інформацію про сам товар, умови навколишнього середовища, в якому знаходиться товар, про стан товару за цих умов навколишнього середовища, здійснювати моніторинг зберігання товару за певних умов у певному проміжку часу, тобто забезпечувати функціональність так званих «розумних» пакувань. Нанофотонні ділянки, нанесені друкарськими методами на внутрішню поверхню харчових пакувань, також можуть забезпечувати функціональність «активних» пакувань, тобто вивільнювати речовини, які сприяють збереженню запакованого продукту протягом довшого часу без необхідності виконувати над ним додаткові технологічні операції (нагрівання, додавання консервантів тощо).

Під час використання нанофотонних композицій у технологічному процесі можуть з'явитися певні проблеми, оскільки нанорозмірні речовини мають свої особливості. Такі проблеми пов'язані як із підбором задруковуваного матеріалу та його підготовкою до друку, так і із самим процесом друкування. Технологічні особливості зумовлюють вибір способу друкування нанофотонних міток. Найбільш перспективним є струминний метод друку, особливо з використанням наносистемних розчинів. Проте під час такого друку є вірогідність помилкового розміщення крапель та ефекту «паразитних» крапель, які потрапляють на ділянки, що не мають бути задрукованими. Флексографія має недолік, який полягає у тому, що мініатюрна точка не витримує тиску протягом часу друкування і поступово руйнується та зникає. Разом із тим по краях друкувальних елементів утворюється непотрібне видиме зображення (ефект розтискування) через притискання друкарської форми до задруковуваного матеріалу, незважаючи на невисокий тиск, що може призводити до неточності позиціонування елементів. Можливе застосування глибокого друку, проте існуватимуть обмеження в залежності від виду задруковуваного матеріалу. Також, оскільки зображення складається з окремих чарунок, унеможлиблюється друк прямої суцільної лінії. В офсетному друці наявність води у зволожувальному розчині створює вірогідність негативного впливу на провідникові властивості отриманого шару фарби. Але цей недолік відсутній в офсетному друці без зволоження, який також має високу роздільну здатність, але вимагає більших економічних затрат. Трафаретний друк забезпечує виготовлення товстошарових друкованих плат, що є допустимим для друкованої електроніки. Цей спосіб має нижчу роздільну здатність та продуктивність, ніж традиційні способи друку [3]. У разі правильного вибору способу друкування можливо забезпечити оптимальні початкові властивості нанофотонної системи. Проте не слід забувати також і про післядрукарські процеси, наприклад, забезпечення оптимальної температури сушіння або інших умов закріплення, оскільки деякі нанорозмірні речовини можуть втрачати або змінювати свої властивості під впливом підвищеної температури, певних значень вологості, різноманітних типів випромінювання (ультрафіолетового, інфрачервоного) тощо. Тож може виникнути необхідність збільшення часу закріплення нанесених на поверхні шарів або зміни умов закріплення.

Отже, використання друкованих нанофотонних міток у пакувальній промисловості дозволить донести до споживача значний об'єм інформації про товар за менших об'ємів друку, що зрештою дасть економічний, валеологічний та екологічний ефекти.

Дослідження проводилися за підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень України в рамках проекту № Ф54.2/005.

Література

1. Давыдов А.А. В преддверии нанообщества / А.А. Давыдов // СОЦИС. — 2007. — № 3. — С. 119–125.

2. *Prasad P.N. Nanophotonics / P.N. Prasad // Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. — 2013. — P. 1–10.*
3. *Сарапулова О.О. Проблеми поліграфічного виготовлення новітніх пакувань з нанорозмірними фотоактивними елементами / О.О. Сарапулова, В.П. Шерстюк // Технологія і техніка друкарства. — 2013. — № 2. — С. 46–57.*

Характеристика природних біорозкладальних полімерів для виготовлення флексографічних друкарських фарб

Є.С. Вальков, Р.А. Хохлова, к.т.н., НТУУ «КПІ», м. Київ

Розширення асортименту товарів призводить до збільшення як назв, так і кількості пакувань, для виготовлення яких можуть використовуватися одношарові та багатошарові полімерні плівки, папір, картон, гофрокартон та інші пакувальні матеріали. Якісний друк на такій кількості різноманітних основ переважно здійснюється на машинах флексографічного друку. Саме завдяки друкарсько-технічним властивостям і технологічним характеристикам флексографічних фарб досягаються необхідні для багатьох пакувань візуальні показники яскравості, насиченості кольору, глянце; забезпечується стійкість до дії світла, хімічних речовин, фізико-механічних впливів заморожування, термозварювання тощо. Проте однією з актуальних проблем пакувальної індустрії є безпечність друкарських фарб стосовно запакованих продуктів, зокрема харчових, та їхня екологічність.

Також вже тривалий час світовою проблемою визнано утилізацію пакувань, тому все більше уваги приділяється новітнім полімерним матеріалам, що біорозкладаються, які випускаються на основі природних поновлюваних речовин та синтетичних полімерів, яким за допомогою певних модифікацій надається здатність до біоруйнування. Такі полімери вже доволі широко використовуються у пакувальній індустрії як за кордоном, так і вітчизняними виробниками. Але постає необхідність у застосуванні друкарських фарб, що біорозкладаються, якими коректно було б проводити опорядження екологічно чистого пакування.

Є чимало закордонних фірм, які займаються виготовленням друкарських фарб для пакувальної індустрії на основі синтезованих та поновлювальних природних полімерів, що здатні до біорозкладання, проте відсутні вітчизняні розробки таких матеріалів. Тому актуальним питанням залишається пошук та дослідження властивостей і характеристик природних біорозкладальних полімерів, які можна використовувати для виробництва вітчизняних флексографічних друкарських фарб, здатних до розкладання в природних умовах, із сировини власного виробництва.

За мету роботи було поставлено пошук природних плівкотвірних речовин для виготовлення флексографічних друкарських фарб, що біорозкладаються.

У відповідних умовах до технології використання готувалися водні розчини широкого асортименту природних полімерів, що виробляються на базі вітчизняної поновлювальної сировини, зокрема таких як: казеїн, картопляний крохмаль, крохмаль кукурудзяний модифікований (ККС), пшеничний білок, що були взяті у сухому стані; та окремо досліджено кукурудзяний крохмаль у вигляді пасти (ККП).

Для флексографічного друку технологічно необхідним рівнем рН друкарських фарб є значення 8,2–8,5; в'язкість має бути в межах 18–24 с за ВЗ–4. Саме тому проведені дослідження зміни в'язкості розчинів дослідних зразків природних біополімерів від температури, концентрації плівкоутворювачів, впливу

концентрації нейтралізуючої речовини на рН розчинів, були спрямовані на досягнення цих вимог.

Так, під час первинного додавання казеїну у воду спостерігається його погане розчинення та формування кислих розчинів. Нагрівання покращує розчинення казеїну у воді та підвищує рН розчину. Основними недоліками водного розчину казеїну є його нестабільність у часі: на поверхні формується густа плівка, на дні — рихлий осад, також коричневий колір, що може змінювати колір та відтінок фарби. За мінімально допустимої концентрації картопляного крохмалю в розчині в межах 11 % формується в'язкість 22 с, при чому необхідна робоча в'язкість водного розчину, що має відповідати 18–24 с, забезпечується тільки за температур, близьких до 45 °С. Одночасно збільшення концентрації сухого крохмалю призводило до згущення розчинів, що унеможливлювало визначення в'язкості, однак із часом в'язкість розчину знижувалася до 16 с та відслідковувалося розшарування окремих гелеподібних згустків та води. За умови зниження концентрації крохмалю понад 10 % формуються ще більш нестабільні розчини.

Приготування розчину кукурудзяного крохмалю ККС при концентрації сухої речовини в межах 2,6–5,0 % відбувалося за вихідного значення рН 6,3 та в'язкості 35 с та температури 18 °С. Після розчинення крохмалю розчин структурувався в масі з утворенням водяних прошарків. Було встановлено, що з часом (понад 10 діб) в'язкість розчину ККС зменшується з 38 с до 12 с за ВЗ–4. Отже, встановлені мала концентрація кукурудзяного крохмалю, що забезпечує в'язкість до 40 с, розшарування та нестабільність розчину не дають можливості застосування його під час виготовлення флексографічної фарби, яка біорозкладається.

На основі сухого порошку пшеничного білка готували водні розчини 18–24 %-ї концентрації при різних ступенях рН 6,4–8,2 та нагріванні до 35 °С. Після введення у воду сухого порошку та під час перемішування досягти однорідної структури було неможливо, бо утворювалися окремі згустки клейстеру. При подальшому розбавленні водою формувалися розчини білого кольору, які під час зберігання розшаровувалися з виокремленням білого осаду. За час проведення досліджень (понад тиждень) грибків на поверхні розчинів не було виявлено. Зважаючи на вимоги до водних розчинів, подальша робота із пшеничним білком призупинена.

Водорозчинна паста ККП відрізняється концентрацією сухого крохмалю, вмістом багатоатомного спирта, консерванта та антисептика. Встановлено, що максимально наближені результати до встановлених вимог дає саме розчин кукурудзяного крохмалю ККП за умови його вмісту у вихідній рецептурі 48–50 %, що формує в'язкість розчину до 30 с за температури до 25 °С. Технологічно необхідного рівня рН розчину (8,2–8,5), який відповідає вимогам до флексофарби, можна досягти за умови введення триетаноламіну в кількості 460–500 мг на 100 г розчину.

Подальші дослідження щодо відпрацювання оптимальних параметрів водних розчинів природних полімерів для виготовлення екологічно чистих флексографічних друкарських фарб, що біорозкладаються, буде продовжено на основі пасти кукурудзяного крохмалю ККП.

Узагальнення системи класифікації тари та пакувань

Я.В. Немеш, О.І. Лотоцька, к.т.н., ВПІ НТУУ «КПІ», м. Київ

Тара характеризується різноманіттям видів, типів конструкцій, що застосовуються для її виготовлення, матеріалів і широтою сфер застосування. Це обумовлює її класифікацію.

Мета роботи — дослідити існуючі державні стандарти та фіксовані класифікації пакувань і тари. Створити єдину систему класифікації пакувань, враховуючи новинки технологій та дизайну.

Запропонована загальна класифікація пакувань (рис. 1).

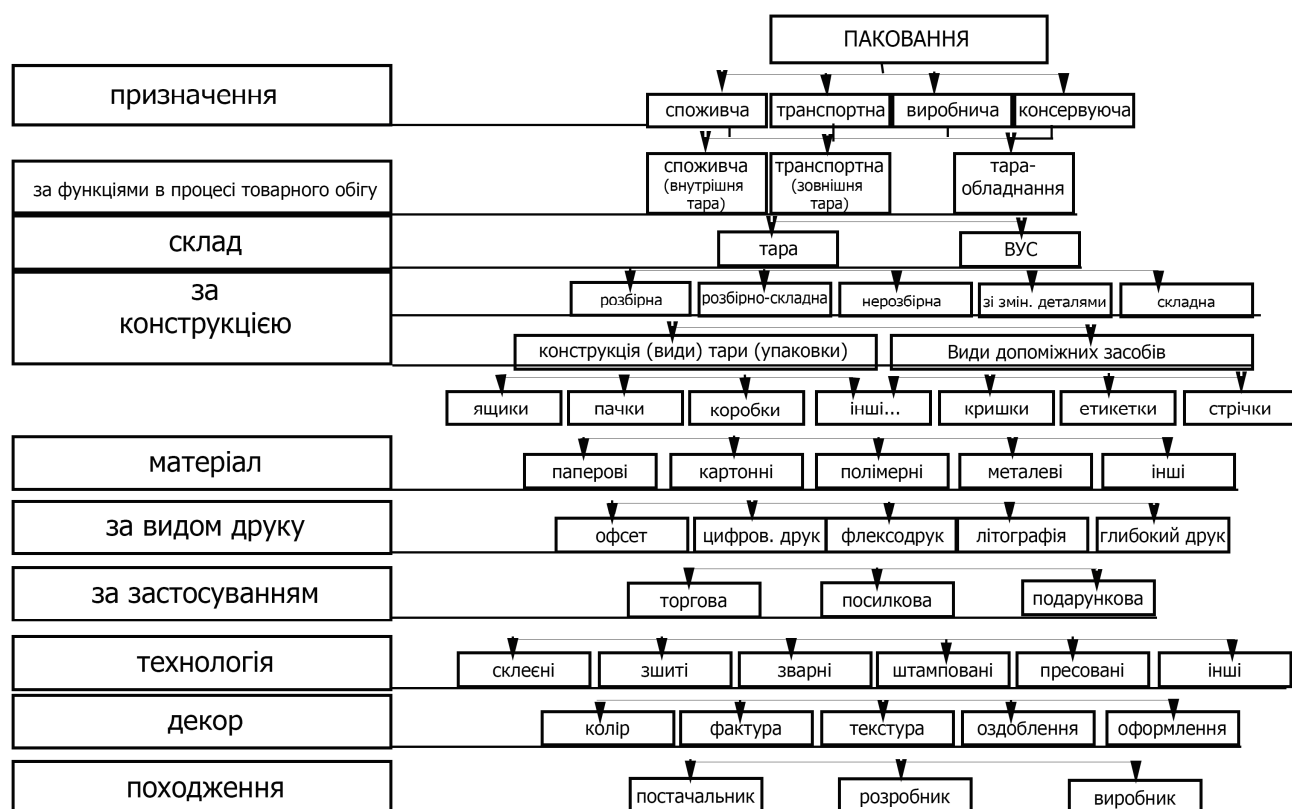


Рис. 1. Загальна класифікація пакувань

Для спрощення сприймання інформації та зручності класифікації було розроблено графічну схему класифікації тари та пакувань, беручи до уваги сучасні матеріали, які використовуються для виготовлення тари та пакувань. Класифікація металевої тари (рис. 2) одна із найпростіших та нерозгалужених. Найбільша частина класифікації припадає на основні та допоміжні матеріали, з яких виготовляють тару.

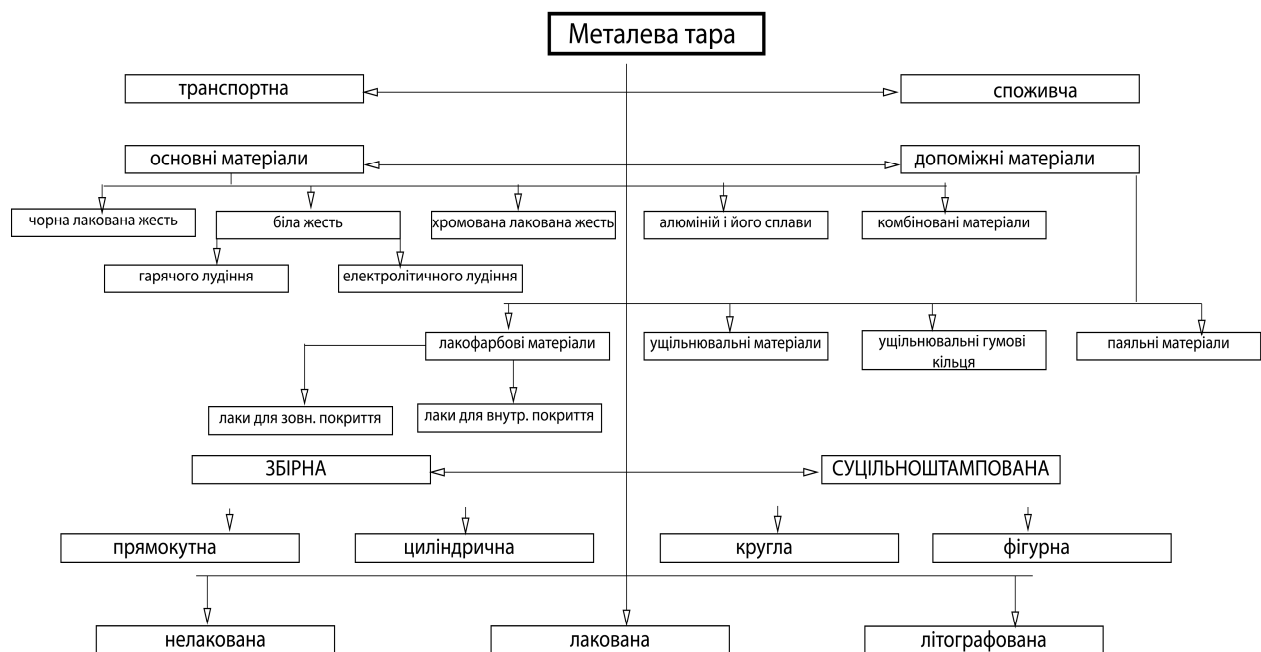


Рис. 2. Класифікація металевої тари

Під час розробки єдиної класифікації скляної тари (рис. 3) вона має найбільше розгалуження лише при поділі за призначенням.

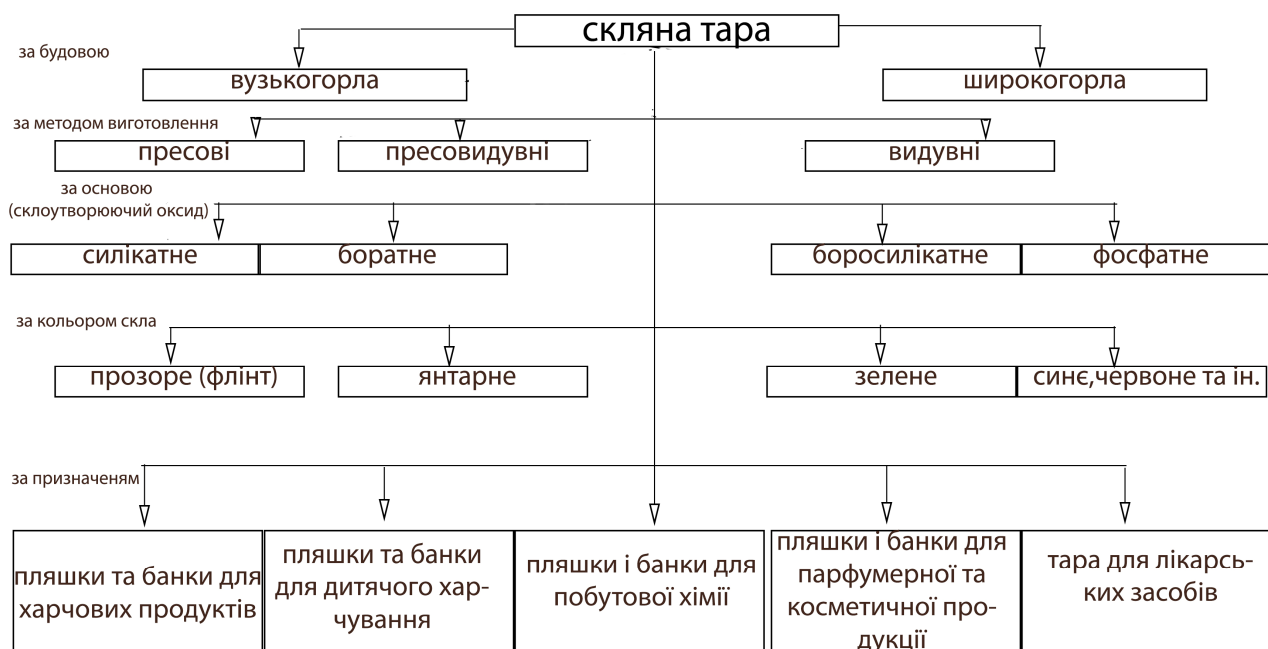


Рис. 3. Класифікація скляної тари

Запропоновано класифікацію для картонної та паперової тари (рис. 4).

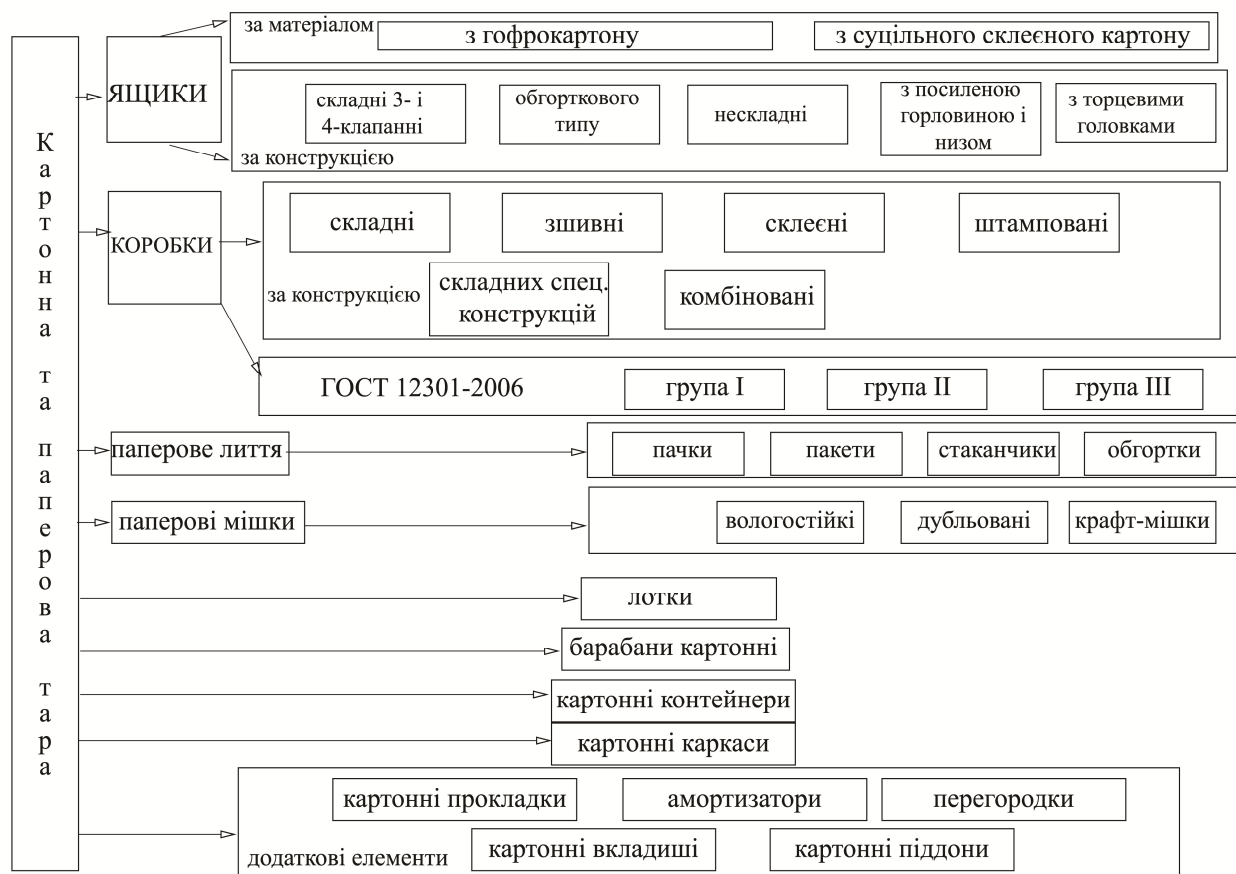


Рис. 4. Класифікація картонної та паперової тари

Через велику кількість різновидів тари і пакувань важко визначити приналежність якогось виробу до певної групи. Але в цій роботі було розроблено загальну класифікацію, а також окремі класифікації пакувань і тари залежно від матеріалу, з якого вони виготовлені.

Література

1. Хведчин Ю.Й. Основи пакувальної справи. Скляна тара: навч.-метод. посіб. / Ю.Й. Хведчин, Я.М. Угрин, І.І. Регей. — Львів: Укр. акад. друкарства, 2011. — 108 с.
2. Хведчин Ю.Й. Основи пакувальної справи. Металева тара: навч.-метод. посіб. / Ю.Й. Хведчин, Я.М. Угрин, І.І. Регей. — Львів: Укр. акад. друкарства, 2011. — 221с.
3. Хведчин Ю.Й. Основи пакувальної справи. Паперова тара: навч.-метод. посіб. / Ю.Й. Хведчин, Я.М. Угрин, І.І. Регей. — Львів: Укр. акад. друкарства, 2011. — 198 с.
4. Данилевский В.А. Картонная и бумажная тара / В.А. Данилевский. — М.: Леспром, 1979. — 216 с.

Аналіз кінематичних параметрів приводу натискної плити у штанцювальних машинах

В.В. Зелений, УАД, м. Львів

Для виготовлення розгорток для картонних паковань використовується різноманітне устаткування, яке могли класифікувати за способом розділення матеріалу, формою контактуючих поверхонь, характером їхнього розташування, видами руху пресувальної плити, ступенем механізації тощо [1]. Найбільше поширення у виробництві мають машини для плоского штанцювання розгорток. Одним із найважливіших вузлів цього обладнання є механізм пресу, який забезпечує висікання розгорток по контуру та бігування ліній згину. Преси комплектують горизонтальними плитами, одна з яких рухома. Для приводу плит використовують важільні та ексцентрикові механізми. Висікання відбувається, коли плита досягає верхнього положення і створює у зоні штанцювання сумарне технологічне навантаження F_{Σ} , яке необхідне для подолання зусиль висікання розгортки F_v , бігування F_b і перфорування F_n ліній згину та деформації ежекторного матеріалу F_d :

$$F_{\Sigma} = F_v + F_b + F_n + F_d.$$

Прес складається із плоскої штанцювальної форми 1 (рис. 1), закріпленої на нерухомій плиті 2, натискної плити 3, важільних розклинювальних 4, 5, 6, 7, 8, 9 та ексцентрикових механізмів 10.

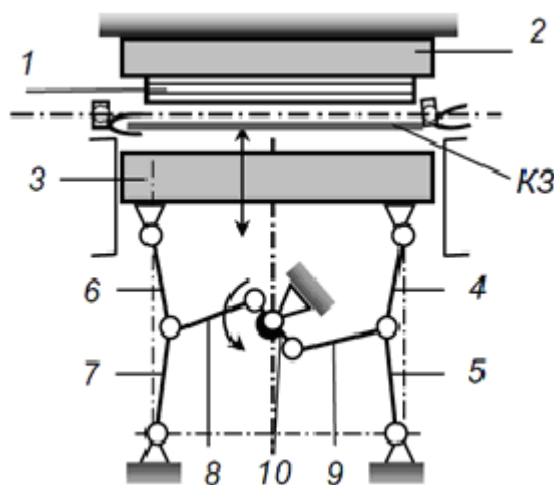


Рис. 1. Схема механізму преса

Після подачі картонної заготовки (КЗ) у робочу зону преса ексцентриковий механізм 10 приводить у дію важелі 8, 9 розклинювальних механізмів 4, 5, 6, 7, які забезпечують натискній плиті вертикальне переміщення (робочий хід) вгору. Процес штанцювання картонної заготовки завершується в момент, коли важелі 4 та 5 справа і 6 та 7 зліва займають вертикальне положення.

Подібні механізми з розклинювальними парами широко використовуються в інших галузях виробництва, де потрібно створити велике технологічне навантаження в кінці робочого ходу, наприклад, у пресах для тиснення фольгою і в пресах чеканення.

Тому цей механізм піддано детальному кінематичного аналізу. Для дослідження було використано графічно-модельний метод. Він полягає у графічному моделюванні руху механізму приводу натискної плити у штанцювальному автоматі. Положення натискної плити розраховувалося через кожні 5° повороту приводного валу з точністю до мікрометра. Аналіз виконувався із застосуванням програми AutoCad — визначалось положення лівого та правого повзуна натискної плити під час робочого та холостого ходів. Для механізму, який складається із чотириланковиків $OABC$ із нашарованим кривошипно-повзунним механізмом, під час дослідження його кінематичних параметрів були прийняті радіус кривошипа $OA = 57,2$ мм, параметр бази — $432,9$ мм, параметри коромисел OB і BC — 192 мм, шатунів $AB = 322,8$ мм. Результати оброблені у Microsoft Excel 2010. Аналіз даних і графіків переміщення повзунів C показав, що рух натискної плити відбувається з відхиленням від горизонталі. Причиною такого становища є те, що кути повороту кривошипів під час робочого і холостого ходів лівого механізму мають різну величину — відповідно 170° і 190° , тобто робочий хід менше за холостий на 20° .

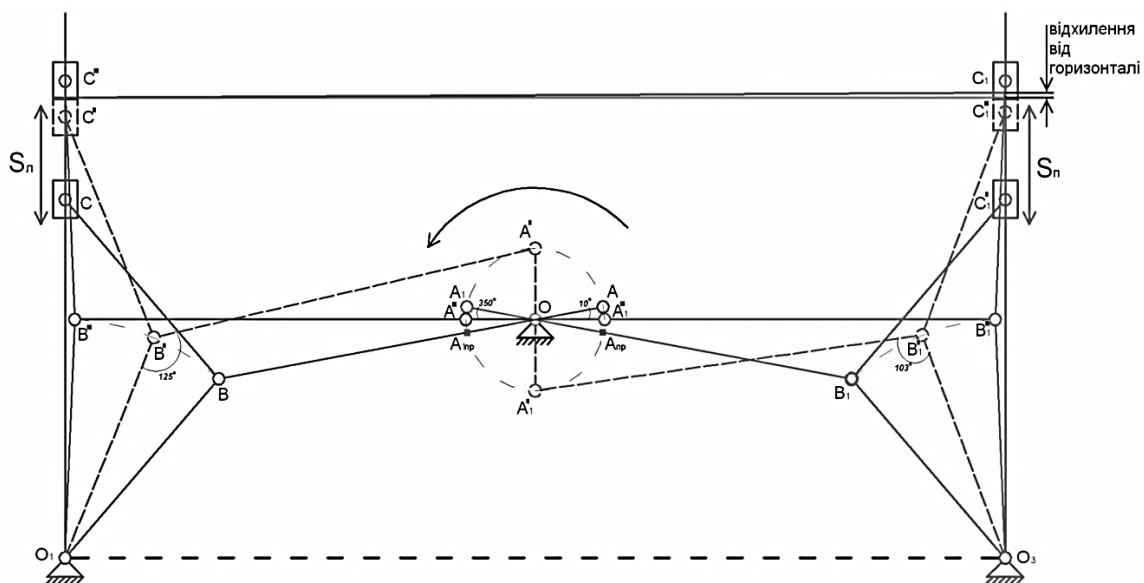


Рис. 2. Кінематична схема механізму преса

Правий механізм навпаки, має кут повороту кривошипа під час робочого і холостого ходів відповідно 190° і 170° , тобто на 20° більше. Отже, до початку руху ліва частина механізму починає свій робочий хід на 20° пізніше.

Ще одна особливість цього механізму полягає в тому, що кривошип лівої частини під час робочого ходу рухається по верхній траєкторії, а правої частини — по нижній. Через це кути передачі руху в обох механізмів будуть також різні: наприклад, у лівій — $\gamma = 125^\circ$, а у правої — $\gamma = 103^\circ$.

Проведено дослідження поведінки натискної плити в зоні контакту з матеріалом розгортки. Залежно від товщини картону одна зі сторін натискної плити буде контактувати з ним при різних кутах повороту φ ексцентрика (рис. 3). Наприклад, під час оброблення картону хром-ерзац, товщина якого $\delta \leq 1,5$ мм,

контакт плити зі штанцформою буде при куті повороту $\varphi = 147^\circ$, а під час оброблення коробкового картону, товщина якого $\delta \leq 3$ мм, кут повороту $\varphi = 37^\circ$. Різниця в положенні обох частин плити наведена цифрами на графіку. Під час подальшого обертання ліва сторона наздоганятиме праву, і у положенні $\varphi = 175^\circ$ обидві сторони вирівнюються до горизонтального положення.

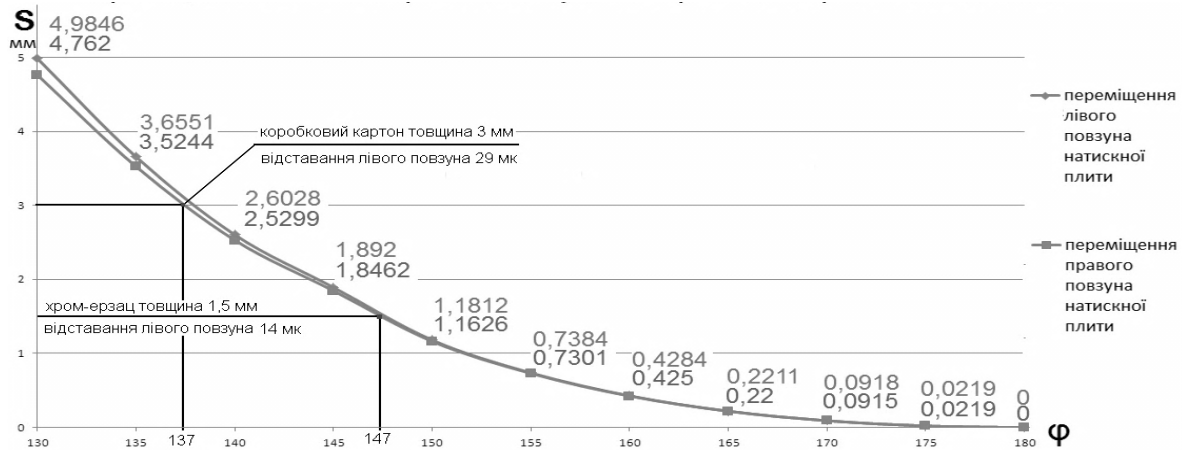


Рис. 3. Відхилення сторін натискної плити в зоні контакту з картоном

Під час дослідження були виявлені наступні особливості роботи преса:

- не співпадають нижнє мертве положення для лівої та правої сторони натискної плити під час її руху на 10° ;
- перекіс плити під час контакту з картоном та штанцформою — одна сторона починає контактувати швидше за іншу: наприклад, для коробкового картону відставання лівого повзуна становить 0,028 мм;
- значне відхилення від горизонталі плити під час робочого і холостого ходів натискної плити (максимум досягав майже 14 мм);
- різна тривалість робочого та холостого ходів, як лівого, так і правого, розклинювальних механізмів натискної плити в 20° повороту ексцентрика;
- оскільки кути повороту ексцентрика для робочого та холостого ходів лівого та правого розклинювального механізму натискної плити різні, швидкість переміщення повзунів V_c буде також різна;
- вище згадані особливості механізму під час використання різноманітних штанцформ будуть створювати різноманітні варіанти навантажень на натискну плиту преса, що вимагатиме додаткового часу для налагоджування механізму.

Література

1. Регей І.І. Споживче картонне пакування (матеріали, проектування, обладнання для виготовлення): навч. посіб. / Регей І.І. — Львів: УАД, 2011. — 144 с.

Механізм періодичного руху транспортувальної системи подавання заготовок для виготовлення пакування

Д.С. Гриценко, Ю.О. Шостачук, к.т.н, ВПІ НТУУ «КПІ», м. Київ

Сучасні машини для виготовлення пакувань — це високопродуктивні, автоматизовані та багатофункціональні пристрої, в яких для переміщення заготовок між позиціями обробки використовуються транспортувальні пристрої. Під час роботи таких пристроїв у робочих позиціях заготовки необхідно плавно зупинити, вирівняти та точно утримувати під час обробки.

Кулачкові механізми періодичного руху забезпечують плавність розгону та зупинки великої веденої маси, можливість використання необхідного закону періодичного руху, точність вистою веденої ланки на рівнорадіусній ділянці профілю та задане співвідношення періоду вистою до періоду кінематичного циклу за вимогами технологічного процесу, що робить їхнє використання у приводі транспортувальних систем для переміщення виробів під час виготовлення пакування актуальним.

Для приводу транспортувального пристрою періодичного руху заготовок для пакування пропонується використовувати кулачковий механізм періодичного повороту, який забезпечує задану точність позиціонування веденої ланки при виконанні технологічного процесу. Схема запропонованого механізму представлена на рисунку. Механізм складається з головного валу 1, встановлених на ньому основного 2 та допоміжного 3 кулачків, веденого валу 4 та встановленого на ньому коромислового диска 5 із роликами 6–9.

Запропонований механізм приводу транспортувального пристрою характеризується безударним поворотом веденої ланки, спрощеним виготовленням, зменшенням металоємності та можливістю створення безконсольного кріплення виконавчих ланок.

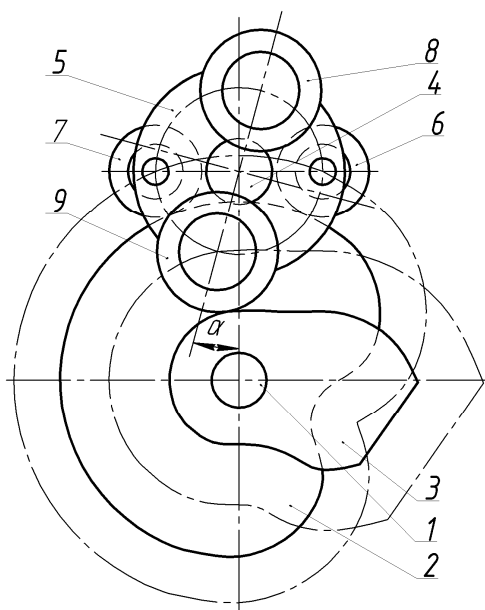


Рисунок. *Схема кулачкового механізму періодичного повороту*

У процесі дослідження запропонованого механізму привода розроблено програмне забезпечення, яке дає можливість розрахувати профіль кулачкового механізму в залежності від заданих параметрів. Розроблене програмне забезпечення дає можливість провести розрахунки в залежності від необхідного кута повороту веденої ланки, заданого фазового кута кулачка, базовідстані та радіуса промислового диску, навантажень веденої ланки, геометричних параметрів валів, швидкості обертання головного валу та умов роботоздатності механізму.

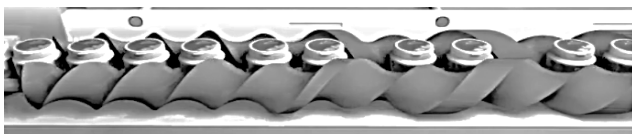
Література

1. Пат. України. Кулачковий механізм періодичного повороту / Яницький В.Г., Катеруша М., Гриценко Д.С. — Заявка № u201308996; заявл. 17.07.2013.
2. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 47250, Україна. Розрахунок кулачкового механізму періодичного повороту (комп'ютерна програма) / Ю.О. Шостачук, Д.С. Гриценко. — Заяв. № 47533 від 16.11.2012; опубл. 16.01.2013.

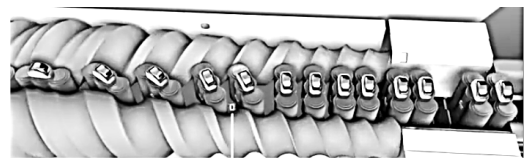
Дослідження геометрії шнекових конвеєрів для переміщення упаковки у формі паралелепіпеда

А.В. Деренівська, В.М. Любімов, к.т.н., О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ

У транспортних системах пакувальних машин для переміщення пакувальних одиниць усе частіше застосовують шнекові конвеєри (рис. 1). Вони дають можливість переміщувати різні за формою жорсткі упаковки: скляні пляшки та банки, металеві банки, полімерні банки та пляшки, картонні пачки. Напівжорсткі та м'які упаковки (Doypack) переміщуються контактуючи зі шнеком кришками, які входять до їхньої конструкції. Упаковка може переорієнтовуватися полімерними шнековими конвеєрами в горизонтальній площині або у просторі за допомогою криволінійних напрямних.



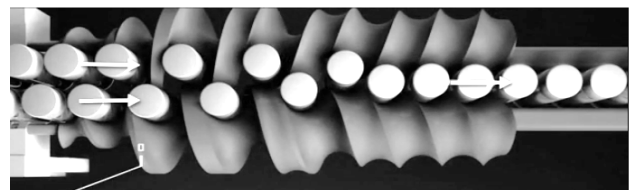
а)



б)



в)



г)



д)

Рис. 1. Характерні способи переміщення упаковки шнековими конвеєрами: переміщення з групуванням по дві циліндричні упаковки (а); переміщення плоскої пляшки з розворотом на 90° (б); переміщення напівжорсткої упаковки паралелепіпедної форми з розворотом на 90° (в); формування одного вихідного потоку упаковок із двох вхідних (г); переміщення з переорієнтуванням скляних пляшок у просторі (д)

Шнековий конвеєр виконує різні функції під час переміщення упаковок у пакувальній машині. До основних можна віднести: відокремлення одиничних упаковок із потоку; покрокове розміщення упаковок на внутрішньомашинних транспортних системах; групування та орієнтування упаковок відносно робочих органів; подавання до функціональних модулів пакувального обладнання; вистій упаковки для проведення технологічних операцій; формування одного потоку упаковок із двох вхідних; формування двох вихідних потоків упаковок з одного вхідного; виділення одиничної плоскоскладеної картонної заготовки з магазину; формоутворення упаковки з плоскоскладеної заготовки тощо.

Під час проектування шнекових конвеєрів необхідно забезпечити переміщення упаковок на всіх технологічних операціях без відхилень від заданої траєкторії та забезпечити потрібний крок між ними.

Найбільш поширена транспортна система для переміщення картонних пачок двома шнековими конвеєрами, яка працює за технологічною схемою, наведеною на рис. 2. Вона використовується для переміщення та покрокового позиціонування упаковки. Характерною особливістю є можливість відокремлення одиничної упаковки від ряду упаковок, бічні грані яких щільно прилягають одна до одної. Ребра таких упаковок не округлені, тому виток шнекового конвеєра не може потрапити у простір ряду, захопити і виділити одиничну упаковку.

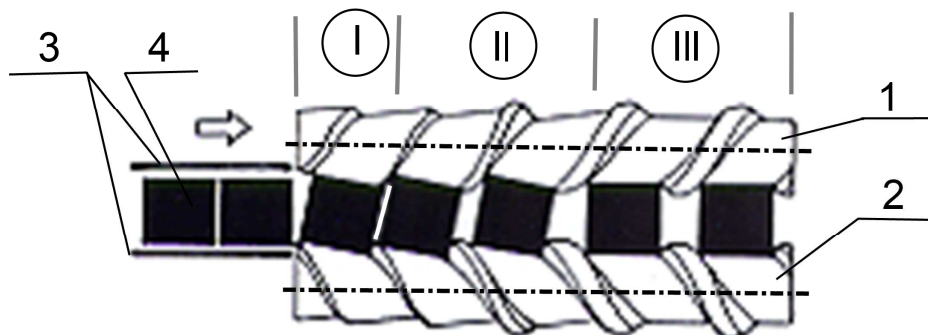


Рис. 2. Технологічна схема транспортної системи з двома шнековими конвеєрами для переміщення упаковки форми паралелепіпеда: 1, 2 — шнекові конвеєри зі змінним кроком; 3 — напрямні; 4 — упаковка

Шнекові конвеєри такої транспортної системи повинні суміщувати наступні операції на характерних етапах переміщення: I — розвертання упаковки для створення зазору між нею та рядом, захоплення, виділення її з ряду; II — переорієнтування упаковки у вихідне положення, III — позиціонування упаковки на наступні технологічні операції (збільшення кроку між сусідніми упаковками). Для забезпечення всіх цих операцій використовують два шнекові конвеєри різного профілю.

Під час переорієнтування упаковки у вихідне положення на стадії переорієнтування її бічні ребра найбільше піддаються руйнуванню. Важливо

визначити такий профіль шнекового конвеєра, який буде не тільки забезпечувати переміщення упаковки та виконання заданих технологічних операцій, а й забезпечуватиме мінімальне пошкодження упаковки. Його визначення зводиться до математичного опису траєкторії переміщення точок контакту бічних ребер упаковки з витками шнека при забезпеченні достатнього кроку.



Рис. 3. Розрахункова схема для визначення профілю шнекових конвеєрів на стадії переорієнтування упаковки у вихідне положення

Виходячи з умови, що геометричний центр пачки переміщується по прямій лінії, можна визначити координати точок лінії контакту бічних ребер упаковки та витка шнекового конвеєра:

$$\begin{cases} Y_{1,2} = D_{ш} \cdot \sin (2 \cdot \pi \cdot n \cdot k_t); \\ Z = k_s (k_t) \cdot Z_{max}; \\ X_{A1} = -(0,5D_{ш} + 0,5 B - \Delta X) \cdot \cos (2 \cdot \pi \cdot n \cdot k_t); \\ X_{B1} = (0,5D_{ш} + B (0,5 - \cos (\alpha_{ш})) - \Delta X) \cdot \cos (2 \cdot \pi \cdot n \cdot k_t); \\ X_{C1} = (0,5D_{ш} + 0,5 B - \Delta X) \cdot \cos (2 \cdot \pi \cdot n \cdot k_t); \\ X_{D1} = -(0,5D_{ш} + B (0,5 - \cos (\alpha_{ш})) - \Delta X) \cdot \cos (2 \cdot \pi \cdot n \cdot k_t), \end{cases}$$

де $D_{ш} = D_{ш1,2}$ — діаметр шнекового конвеєра;

n — кількість обертів шнека, визначена виконання операції переорієнтування (здебільшого $n=2$);

k_t — безрозмірний коефіцієнт зміни часу;

$k_s (k_t)$ — безрозмірний коефіцієнт зміни переміщення;

Z_{max} — максимальне переміщення упаковки на етапі переорієнтування;

B, L — геометричні параметри упаковки;

ΔX — відстань від правого верхнього кута упаковки до траєкторії переміщення центру мас.

Висновки

Дослідження процесу переорієнтування упаковки у вихідне положення дало можливість визначити оптимальний геометричний профіль шнекового конвеєра, який забезпечує мінімальне пошкодження упаковки при переміщенні та безперебійну високопродуктивну роботу фасувально-пакувальної машини-автомату.

Література

1. *Гавва О.М.* Обладнання для пакування продукції у споживчу тару / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко. — К.: ІАЦ «Упаковка», 2008. — 436 с.
2. *Шредер В.Л.* Упаковка из картона / В.Л. Шредер, С.Ф. Пилипенко. — К.: ІАЦ «Упаковка», 2004. — 560 с.
3. *Чернов М.Е.* Упаковка сыпучих продуктов: Учебное пособие / Чернов М.Е. — М.: ДеЛи, 2000. — 163 с.
4. *Шредер В.Л.* Картон. Тара и упаковка / Шредер В.Л., Йованович К.С. — К.: ІАЦ «Упаковка», 1999. — 192 с.

Динаміка та особливості виділення парогазової фази за вакуумного пакування

О.О. Бойко, А.І. Соколенко, д.т.н., С.А. Бут, к.т.н., НУХТ, м. Київ

Зниження тиску в упаковці знижує розчинність газів у рідкій фазі та температуру її кипіння. За умови досягнення певних значень тиску починається виділення розчиненої газової фази у формі адіабатного кипіння. Це у свою чергу стане причиною утворення диспергованої газової фази в об'ємі рідкої фази продукту. За певної частоти їхнього видалення можливе інтенсивне спінювання продукту, яке супроводжується потраплянням часток продукту на місце герметизації упаковки. У подальшому це призводить до проблем із герметизацією упаковки.

Метою цих досліджень є визначення залежностей, які б характеризували інтенсивність процесу виділення парогазової суміші під час зниження тиску в упаковці.

У ході проведення дослідження використовувалися методи математичного моделювання та загальні фізичні закони (Менделєєва-Клапейрона, Гей-Люсака, Генрі та ін.). Серед використаних узагальнень та припущень є наступні: всі газопарові бульбашки виникають на стінках упаковки та поверхні твердих часток, які розчинені в рідкій фазі продукту, газопарова бульбашка має форму кулі.

Інтенсивність виділення бульбашок визначається наступним набором параметрів: час існування бульбашки на поверхні, на якій вона утворилася, кількість бульбашок в об'ємі продукту, частота виникнення та час її спливання. У першому наближенні час існування газової бульбашки на поверхні, де вона утворилася, можна знайти за наступним виразом:

$$\tau_0 = \frac{V_{\text{нрх}}^{\text{нрх}}}{K_{\text{диф}}} = \frac{V_{\text{нрх}}^{\text{нрх}} S_{\text{нрх}}^{\text{заг}}}{Q_{\text{газ}}}, \quad (1)$$

де $V_{\text{нрх}}^{\text{нрх}}$ — загальний об'єм бульбашок, які не відірвалися від поверхні, на якій вони виникли;

$K_{\text{диф}}$ — коефіцієнт дифузії;

$S_{\text{нрх}}^{\text{заг}}$ — загальна площа поверхні бульбашок;

$Q_{\text{газ}}$ — кількість газової фази, яка виділяється в одиницю часу.

Частота утворення газових бульбашок складає:

$$u = \frac{1}{\psi \tau_0}, \quad (2)$$

де ψ — коефіцієнт, який враховує час між відривом газової бульбашки від поверхні та утворенням у цьому ж місці нової.

Кількість зародків бульбашок N , які утворюються в загальному об'ємі рідини, за умови рівномірного розподілення центрів зародкоутворення:

$$N = VN^1 = \frac{bVK_D}{R_{\text{min}}^4} \left(\frac{8\pi\sigma_{p-z}}{kT} \right)^{1/2}, \quad (3)$$

де V — об'єм рідкої фази, яка знаходиться в ємкості;

N^1 — кількість зародків бульбашок, які утворюються в одиниці об'єму рідини;

b — коефіцієнт пропорційності, який враховує властивості рідини (розчину);

K_D — аналог коефіцієнту дифузії;

$R_{\min}$ — мінімальний радіус виникнення газової бульбашки;

σ_{p-g} — поверхневий натяг на межі поділу фаз рідина-газ;

k — постійна Больцмана;

T — абсолютна температура.

Враховуючи те, що більшість упаковок мають незначний розмір, то часом спливання бульбашки в ньому можна знехтувати.

Випаровування води обмежується двома факторами — енергетичним потенціалом матеріального потоку та парціальним тиском водяних парів в об'ємі газової бульбашки.

Загальний тепловий потік від розчину до об'єму бульбашки визначається залежністю:

$$Q_{cp} = N_{заг} q_{cp} = (N + N_{пyx}) \frac{r \rho_{газ} R_{пyx}}{\tau_0}, \quad (4)$$

де N — кількість зародків бульбашок, які утворюються в загальному об'ємі рідини;

$N_{пyx}$ — кількість бульбашок, які спливають;

r — теплота пароутворення;

$\rho_{газ}$ — густина газової фази;

$R_{пyx}$ — радіус газової бульбашки;

τ_0 — час існування газової бульбашки на поверхні, де вона утворилася.

Парціальний сукупний тиск пари залежить від маси водяної пари, яка випаровується в об'єм бульбашки, і визначається за наступною формулою:

$$p_{парц} = \frac{m_{пар}}{M} = \frac{\partial K_{вин}^1}{M \partial \tau} S_{пyx}^{заг}, \quad (5)$$

$\frac{\partial K_{вин}^1}{\partial \tau}$

де $\frac{\partial K_{вин}^1}{\partial \tau}$ — швидкість випаровування речовини в замкнений простір;

M — молекулярна маса речовини;

$S_{пyx}^{заг}$ — загальний об'єм бульбашок, які спливають, та тих, що не відірвалися від поверхні, на якій утворилися.

Швидкість випаровування речовини в замкнений простір можна визначити за рівнянням Ленгмюра-Кнудсена:

$$K_{вин}^1 = \alpha (p_{парц}^{нас} - p_{парц}^{ном}) \sqrt{\frac{M_{вин}}{2\pi RT}}, \quad (6)$$

де α — коефіцієнт випаровування, який враховує чистоту розчину та умови випаровування;

$p_{парц}^{нас}$ — парціальний тиск насичення парів речовини за тиску $p_{пyx}$ та температури T ;

$P_{парц}^{пот}$ — поточне значення парціального тиску в об'ємі газової бульбашки;
 $M_{вин}$ — молекулярна маса речовини, яка випаровується.

$$\alpha = \sqrt{\frac{M_{вин}}{M_{розч}}}, \quad (7)$$

де $P_{розч}^0$ та $P_{вин}^0$ — тиск чистих парів розчинника та речовини, яка випаровується, при температурі T ;

$M_{розч}$ — молекулярна маса розчинника.

Загальну інтенсивність винесення парогазової фази з продукту визначається залежністю:

$$\alpha = \frac{u \cdot N \cdot V_{сер}^1}{\tau} = \frac{\pi u \cdot N \cdot R_{сер}^2}{\tau_0}, \quad (8)$$

де τ — час існування газопарової бульбашки в об'ємі продукту;

$R_{сер}$ — середній радіус однієї бульбашки.

Під час знаходження середнього радіуса газової бульбашки $R_{сер}$ використаємо припущення, що інтенсивність його зростання не змінюється в часі. Відповідно до цього припущення $R_{сер}$ можна визначити за формулою:

$$R_{сер} = \frac{R_{min} + 0,5D_n}{2} = \frac{\sigma_{p-z}}{k\Delta C} + 0,009\theta \left(\frac{\sigma_{p-z}}{\rho_p - \rho_z} \right)^{1/2}, \quad (9)$$

де R_{min} — мінімальний радіус виникнення газової бульбашки;

D_n — діаметр газової бульбашки на момент відриву від поверхні, на якій він виник;

σ_{p-z} — поверхневий натяг на межі поділу фаз рідина-газ;

k — константа Генрі;

ΔC — пересичення розчину газом (надлишкова концентрація газу в розчині);

θ — краєвий кут між бульбашкою та поверхнею нагрівання (для сталевих ємкостей та густого матеріального потоку цей параметр буде знаходитися в межах 35–40 ° (0,611–0,698 рад) [2]);

ρ_p — густина рідкої фази;

ρ_z — густина газової фази.

Висновки

Виконано аналіз інтенсивності видалення парогазової фази з рідкої фази продукту, який пакується в герметичну вакуумовану упаковку. Виведено залежності, які дають можливість оцінити геометричні параметри газових бульбашок, час їхнього існування, об'єм газової фази, яка видаляється за час τ , загальну площу поверхні масо- та енергообміну. Одержано залежності, які дозволяють визначити маси газової та парової фази, що видаляються з продукту під час зниження тиску.

Література

1. *Reynes E.G.* / E.G. Reynes, G. Thodos // *AIChE J.* — 1962. — Vol. 8. — P. 357.
2. *Богданов О.С.* Физико-химические основы флотации / О.С. Богданов, А.М. Гольман, И.А. Мелик-Гайказян и др. — М.: Наука, 1983. — 264 с.
3. *Соколенко А.І.* Інтенсифікація масообмінних процесів у харчових і мікробіологічних технологіях: Монографія / А.І. Соколенко, В.А. Піддубний, О.Ю. Шевченко. — К.: Люксар, 2008. — 443 с.

Вплив геометрії лунки дозатора на швидкість витікання сипкого матеріалу

Н.І. Магерус, Ю.П. Шоловій, к.т.н., НУ «Львівська політехніка»

У світовій практиці конструювання дозувального обладнання в залежності від форми потоку сипкого матеріалу (СМ) розрізняють різноманітні види лунок. Істотний вплив на характер руху продукту мають фізико-механічні властивості матеріалу, розмір і конфігурація дозатора, а також особливості технологічного процесу дозування. У результаті досліджень встановлені дві основні форми потоку СМ: нормальна і гідравлічна [1] (рис. 1).

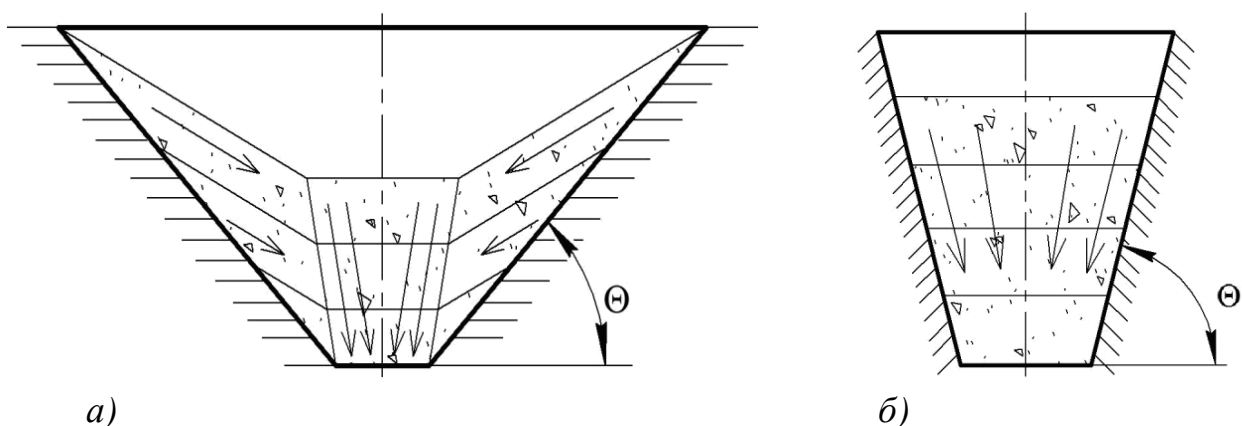


Рис. 1. Форми руху потоку СМ у конічній лунці дозатора: нормальна (а); гідравлічна (б)

Перша форма потоку (рис. 1а) характеризується наявністю декількох зон із різними швидкостями руху СМ. Область із найбільшою швидкістю витікання розміщена у центрі лунки, під час віддалення до стінок знижується рухливість матеріалу. При гідравлічній формі руху потоку (рис. 1б) весь матеріал, завантажений у бункер, рівномірно витікає, немає застійних зон. Як показує практика, оптимальним є використання кута нахилу лунки Θ , що є більшим від кута природнього відкосу, з метою унеможливлення виникнення нерухомих областей СМ, а також формування склепіння над випускним отвором [2]. Однак важливо під час розроблення моделі поведінки СМ у конічній лунці дослідити вплив кута нахилу лунки на швидкість витікання матеріалу і цим самим оптимізувати процес дозування. Гідравлічний рух матеріалу в конічній лунці спостерігається за умови доведення СМ до стану псевдозрідження, що можливе у випадку віброкипіння дрібнодисперсного матеріалу.

Для дослідження впливу кута нахилу лунки на швидкість руху СМ використано основний закон гідромеханіки — рівняння Бернуллі, що встановлює зв'язок між тиском рідини і швидкістю її витікання [3]. При гідравлічній формі руху потоку (стан псевдозрідження) СМ поводить себе аналогічно рідині. Для дослідження швидкості руху матеріалу розглянемо елементарний потік псевдозрідженого матеріалу (рис. 2). Виділимо у ньому елементарні ділянки СМ у перерізах I і II.

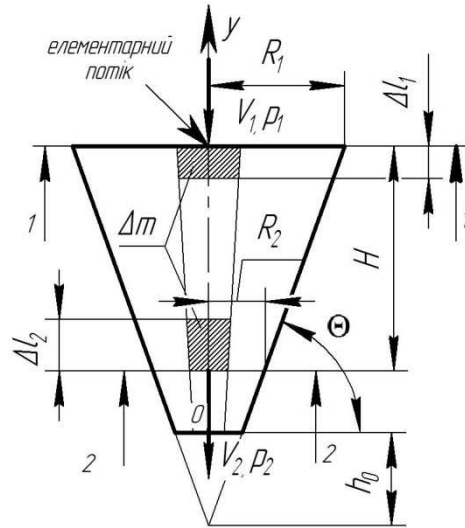


Рис. 2. Модель руху СМ у конічній лунці

На продукт у перерізах діють сили F_1 і F_2 , що спричинені статичними тисками p_1 і p_2 :

$$F_1 = p_1 \cdot S_1; \quad (1)$$

$$F_2 = p_2 \cdot S_2, \quad (2)$$

де S_1, S_2 — площа поперечного перерізу у I і II перерізах відповідно.

Враховуючи умову неперервності псевдозрідженого матеріалу, швидкості руху продукту у двох перерізах V_1 і V_2 пов'язані співвідношенням:

$$V_1 = V_2 \cdot \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2, \quad (3)$$

де R_1, R_2 — радіуси лунки у I і II перерізах відповідно.

Рух продукту у конічній лунці можливий за умови зменшення статичного тиску внаслідок переходу його у кінетичну енергію руху матеріалу. Під час дослідження поведінки СМ у лунці статичний тиск, що діє на елементарну ділянку матеріалу у перерізі, зменшується на величину об'ємної щільності кінетичної енергії в цьому перерізі:

$$p_1' = p_1 - \frac{\rho \cdot V_1^2}{2}; \quad (4)$$

$$p_2' = p_1 + \rho g H - \frac{\rho \cdot V_2^2}{2}, \quad (5)$$

де ρ — насипна щільність СМ у псевдозрідженому стані;

H — висота шару СМ над перерізом II.

Звуження конічної лунки створює додатковий опір силі F_1 , яка стимулює рух матеріалу через конічну лунку. Сила опору F_{on} , що виникає внаслідок звуження лунки, рівна різниці тисків у перерізах I і II:

$$F_{on} = \Delta F = F_1' - F_2' = \left(p_1 - \frac{\rho V_1^2}{2} \right) \cdot \pi R_1^2 - \left(p_2 + \rho g H - \frac{\rho V_2^2}{2} \right) \cdot \pi R_2^2, \quad (6)$$

$$\text{де } F_1' = p_1' \cdot S_1 = \left(p_1 - \frac{\rho V_1^2}{2} \right) \cdot \pi R_1^2; \quad (7)$$

$$F_2' = p_2' \cdot S_2 = \left(p_2 + \rho g H - \frac{\rho V_2^2}{2} \right) \cdot \pi R_2^2. \quad (8)$$

Для знаходження швидкості витікання V_2 необхідно записати рівняння руху відповідно до закону зміни кінетичної енергії:

$$F_1' \cdot \Delta l_1 - F_{on} \cdot \Delta l_1 = \frac{\Delta m \cdot V_2^2}{2} - \frac{\Delta m \cdot V_1^2}{2}, \quad (9)$$

де $\Delta m = S_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \rho = S_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \rho$.

Після підстановки виразів (6), (7) і (8) у рівняння (9), використавши рівняння (3), знаходимо швидкість руху СМ у конічній лунці:

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_1 + \rho g H) \cdot (R_2/R_1)^2}{\rho(1 + (R_2/R_1)^2 - (R_2/R_1)^4)}}. \quad (10)$$

Для дослідження впливу кута нахилу лунки дозатора Θ на швидкість витікання СМ можна записати радіуси конічної лунки R_1 і R_2 у вигляді:

$$R_1 = (h_0 + H) \cdot (\tan(\Theta))^{-1}; \quad (11)$$

$$R_2 = (h_0 + y) \cdot (\tan(\Theta))^{-1}. \quad (12)$$

Отже, запропонована залежність (10) дає можливість досліджувати вплив конструктивних параметрів лунки на поведінку СМ під час подальшого її використання у математичних моделях і тим самим оптимізувати та підвищити точність процесу дозування.

Література

1. *Рогинский Г.А.* Дозирование сыпучих материалов / Рогинский Г.А. — М.: Химия, 1978. — 172 с.
2. *Каталымов А.В.* Дозирование сыпучих и вязких материалов / Каталымов А.В., Любартович В.А. — Л.: Химия, 1990. — 240 с.
3. *Макаров Б.И.* Законы, управляющие Вселенной (основные понятия, принципы и законы механики) / Макаров Б.И. — Ч. 1. — Тверь, 2000. — 428 с.

Стабілізація потоку сипкої харчової продукції під час її переміщенні у зважувальну ємкість лінійного вагового дозатора

А.В. Деренівська, Я.О. Самченко, О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ

Підвищення точності дозування сипких продуктів є актуальним завданням, вирішення якого зменшує ризики виробника та покупця харчової продукції. Характерними для вагових дозувально-фасувальних пристроїв (рис. 1) є втрати точності дозування при зміні режимів роботи та неконтрольована похибка за умови «грубого» дозування, яка виникає під час переміщення продукції зі значними швидкостями [1, 2].

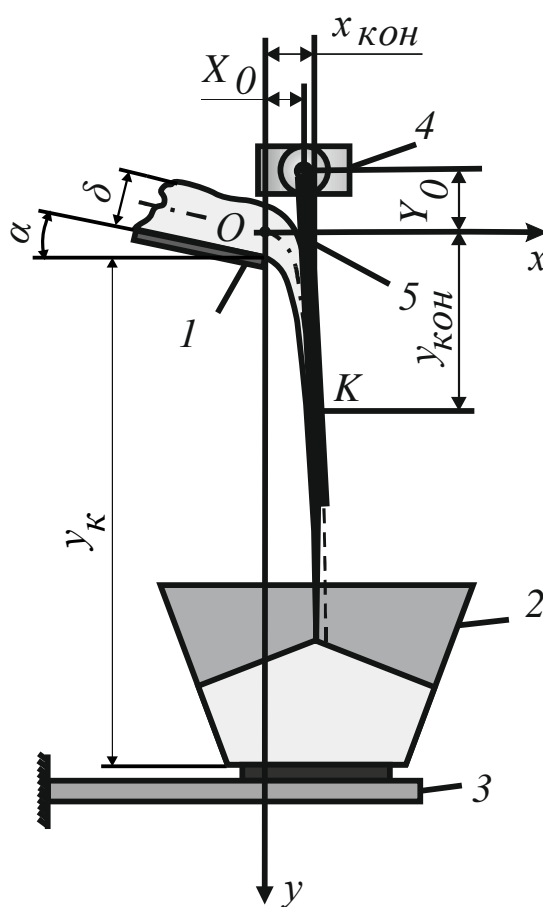


Рис. 1. Схема орієнтування потоку сипкої продукції під час її переміщення у зважувальну ємкість: 1 — вібраційний живильник; 2 — мірна ємкість; 3 — зважувальна система; 4 — поворотний пневмоциліндр; 5 — привідна заслінка

При зміні режимів роботи («тонке» та «грубе» дозування) збільшується відхилення траєкторії польоту частинок відносно осі симетрії розташування зважувальної ємкості (рис. 2). Для забезпечення стабільного напрямку переміщення сипкої продукції та підвищення точності результатів зважувальної системи доречно використовувати обмежувальну напрямну. Ця напрямна повинна забезпечувати вертикальне падіння частинок продукції в геометричний центр мірної ємкості під час «грубого» та «тонкого» дозування продукції [3, 4].

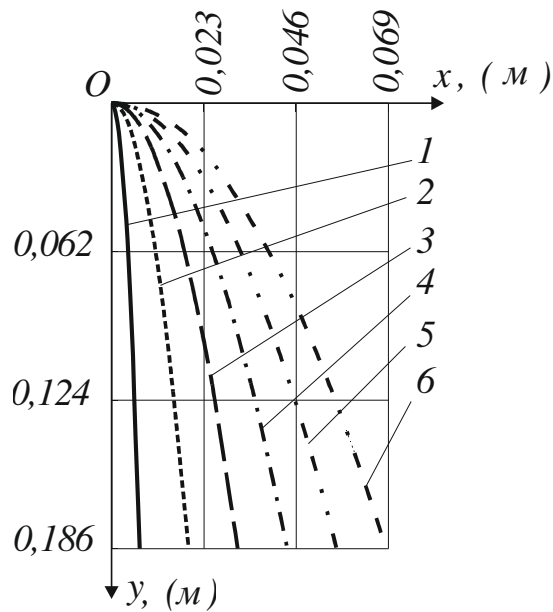


Рис. 2. Траєкторія падіння матеріальної частинки з вібраційного живильника, який переміщує її зі швидкістю: 1 — $V_0 = 0,05$ м/с; 2 — $V_0 = 0,14$ м/с; 3 — $V_0 = 0,23$ м/с; 4 — $V_0 = 0,32$ м/с; 5 — $V_0 = 0,41$ м/с; 6 — $V_0 = 0,50$ м/с

Для визначення точки закріплення, виду, компонування напрямної й вибору приводу необхідно виконати дослідження траєкторії переміщення матеріальної частинки продукції з врахуванням удару матеріальної частинки по напрямній шляхом математичного моделювання [5].

Для цього прийнято наступні припущення: удар частинки продукції по нерухомій напрямній можна розглядати як пружно-пластичний удар; сипка продукція — незв'язна, дрібнофракційна; розмірами частинок продукції знехтуємо та розглянемо її переміщення як переміщення матеріальної точки; матеріальна частинка переміщується по траєкторії падіння частинки із середнього шару продукції, яка знаходиться в живильнику.

Під час дослідження переміщення матеріальної частинки продукції отримані наступні результати:

- рівняння кривої, що описує траєкторію падіння матеріальної частинки продукції:

$$x = 0,5g \cdot V_0 \cdot \cos \alpha \cdot \{[(V_0 \cdot \sin \alpha)^2 + 4 \cdot g \cdot y]^{0,5} - V_0 \cdot \sin \alpha\}, \quad (1)$$

де g — прискорення вільного падіння;

V_0 — початкова швидкість падіння продукції із живильника;

α — кут нахилу живильника до горизонту;

y — поточне значення висоти падіння матеріальної точки;

- швидкість падіння матеріальної частинки описується рівнянням:

$$V_n = \{V_0^2 + 4 \cdot g \cdot t \cdot (V_0 \cdot \sin \alpha + g \cdot t)\}^{0,5}, \quad (2)$$

де t — поточне значення тривалості падіння матеріальної частинки у зважувальну ємкість.

Для визначення точки закріплення напрямної виконано математичне моделювання удару матеріальної частинки по напрямній за наступних вихідних умов: удар матеріальної частинки по нерухомій напрямній можна розглядати як пружно-пластичний, геометричний центр зважувальної ємкості знаходиться у точці падіння частинки продукції із живильника, після удару матеріальна частинка повинна падати вертикально в геометричний центр зважувальної ємкості як під час «грубого», так і під час «тонкого» дозування продукції. Згідно з розрахунковою схемою (рис. 3) кут відбиття матеріальної точки можна визначити:

$$\varphi_v = \arctg \{ (1 + k_y) \cdot \tg (\beta_n) + \{ [(1 + k_y) \cdot \tg (\beta_n)]^2 + 4 \cdot k_y \}^{0.5} / (2k_y) \}. \quad (3)$$

Рівняння твірної обмежувальної напрямної:

$$Y = y_{\text{кон}} + \tg (\varphi_v) \cdot (X - x_{\text{кон}}), \quad (4)$$

де X, Y — поточні координати обмежувальної напрямної;

$x_{\text{кон}}, y_{\text{кон}}$ — координати точки контакту частинки продукції з обмежувальною напрямною.

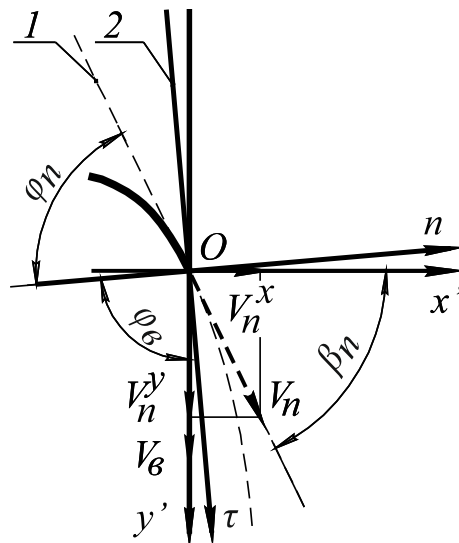


Рис. 3. Розрахункова схема до визначення кінематичних параметрів пружно-пластичного удару матеріальної частинки по напрямній

Координати шарніра закріплення напрямної визначено за умови переміщення матеріальної частинки вібраційним живильником зі швидкістю під час «тонкого» дозування $V_{0\text{min}}$ та під час «грубого» — $V_{0\text{max}}$:

$$\begin{cases} X_0 = x_{\text{кон}} + [y_{\text{кон}}(\text{min}) - y_{\text{кон}}(\text{max})] / [\tg (\varphi_v(\text{max})) - \tg (\varphi_v(\text{min}))]; \\ Y_0 = [y_{\text{кон}}(\text{min}) \cdot \tg (\varphi_v(\text{max})) - y_{\text{кон}}(\text{max}) \cdot \tg (\varphi_v(\text{min}))] / [\tg (\varphi_v(\text{max})) - \tg (\varphi_v(\text{min}))], \end{cases} \quad (5)$$

де $y_{\text{кон}}(\text{min})$ та $y_{\text{кон}}(\text{max})$ — значення ординати точки контакту матеріальної частинки з напрямною залежно від швидкості переміщення продукції живильником $V_{0\text{min}}$ та $V_{0\text{max}}$ відповідно;

$\varphi_{\text{с (min)}}$ та $\varphi_{\text{с (max)}}$ — значення кута відбиття матеріальної частинки залежно від швидкості переміщення продукції живильником $V_{0\text{min}}$ та $V_{0\text{max}}$ відповідно.

Проведений математичний аналіз і графічне моделювання положення напрямної дали можливість визначити її вид та режим роботи: напрямна виконана як шарнірно закріплена заслінка, напрямна здійснює коливальний рух, для приводу напрямної рекомендується використовувати поворотний пневмоциліндр.

Література

1. Гавва О.М. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко. — К.: ІАЦ «Упаковка», 2008. — 436 с.
2. Масло М.А. Вдосконалення вагових дозаторів / М.А. Масло // Упаковка. — 2003. — № 28. — С. 29.
3. Овчаренко А.И. Погрешность дозирования сыпучих продуктов / А.И. Овчаренко, А.Д. Серeda, М.В. Шапиро // Упаковка . — 2007. — № 1. — С. 44–47.
4. Кирия Р.В. Истечение сыпучего груза из бункера с боковым щелевым отверстием / Р.В. Кирия, Д.Д. Брагинец, Б.И. Мостовой // Сборник научных трудов Национального горного университета. — № 34. — Днепропетровск, 2009. — С. 114–122.
5. Гавва О.М. Обґрунтування раціональних параметрів лінійних вагових дозувальних пристроїв дискретної дії для сипкої продукції / О.М. Гавва, А.В. Деренівська // Упаковка. — 2014. — № 1. — С. 54–57.

Особливості кінематики гравітаційних пристроїв у лініях пакування харчової продукції

О.В. Коваль, В.А. Піддубний, д.т.н., НУХТ, м. Київ

Перехід від енергетичних співвідношень у поєднанні з принципами Д'Аламбера, можливих переміщень і суперпозиції дають можливість використовувати різні форми в описі динаміки та кінематики переміщення тіл. Наслідками таких різних підходів є аналіз систем на основі запису рівнянь руху, розрахунок транспортних систем з використанням методу обходу по контуру, методи кінетостатики тощо.

З аналізу фізичної основи переміщення вантажів у гравітаційних пристроях витікає, що можливості впливати на їхню кінематику можуть мати геометрія спуску і коефіцієнти тертя. Так запропоновано конструктивне впровадження, яке дозволяє реалізувати змінні значення сил тертя на основі поняття приведенного коефіцієнта тертя [1].

У зв'язку із цим гравітаційний спуск у перерізі виконується двограним із кутами сходження граней 2γ , які по довжині можуть змінюватися (рис. 1).

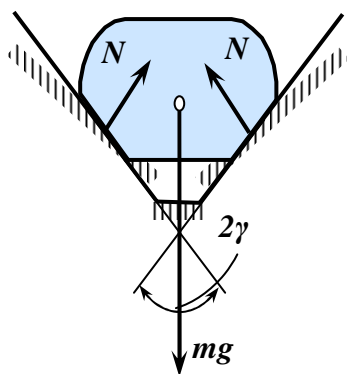


Рис. 1. Схема перерізу гравітаційного спуску для реалізації приведенного коефіцієнта тертя

При цьому приведений коефіцієнт тертя:

$$f_{\text{пр}} = \frac{f}{\sin \gamma},$$

а змінне по довжині спуску значення 2γ дає можливість змінювати реакції N на гранях, а рівно і сили тертя. Це означає можливість регулювання кінематичних параметрів вантажів.

Проте пошуки впливів на вказану кінематику заслуговують на застереження. Останнє пов'язано з тим, що за умови встановлення спуску до лінії горизонту під кутом більшим за кут тертя визначається прискорений характер руху вантажу. Це означає, що інтервал розташування вантажів на спуску з їхнім опусканням буде зростати, однак часовий інтервал в їхньому проходженні не змінюється за різних значень $\alpha > \varphi$, де φ — кут тертя в парі «вантаж — опорна площа» (рис. 2).

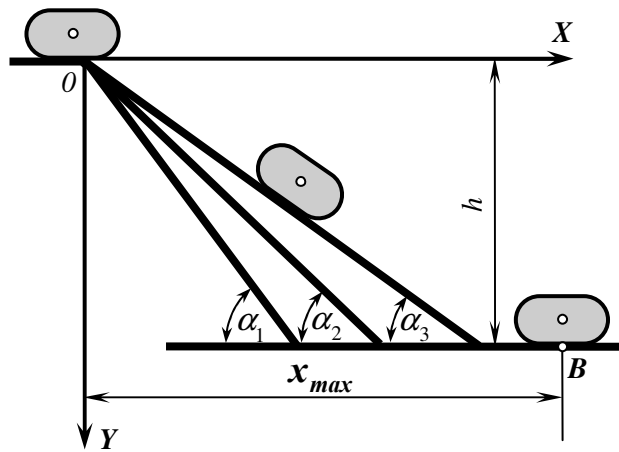


Рис. 2. Схеми прямолінійних спусків

При цьому для системи з $h = \text{const}$ і значеннями $\alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3$ або $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3 > \varphi$ величина x_{max} , яка відповідає максимальному вибігу, буде однаковою для всіх вказаних випадків. Збільшення або зменшення величини x_{max} пов'язано зі збільшенням або зменшенням різниці рівнів h . Очевидно, що для випадків використання пристроїв із приведеним коефіцієнтом тертя воно трансформується до виду $x_{\text{max}} = h/f_{\text{np}}$.

Закономірності, представлені для випадків опускання вантажів у певний спосіб можуть бути застосовані і до випадків їхнього піднімання, але з певними застереженнями. Останні стосуються лінії дії рушійної сили, яка повинна бути паралельною опорній площині (рис. 3).

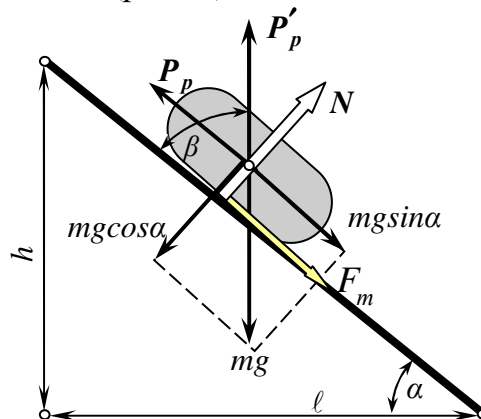


Рис. 3. Схема сил, що відповідає підніманню вантажу

Умовою рівномірного руху при цьому є рівняння виду:

$$P_p = mg \sin \alpha + fmg \cos \alpha. \quad (1)$$

При цьому робота рушійної сили буде визначена як:

$$A_p = P_p \frac{\ell}{\cos \alpha},$$

а робота сил тертя та тяжіння відповідно як:

$$A_T = \frac{\ell}{\cos \alpha} fmg \cos \alpha = \ell fmg; \quad A_{\text{тяж}} = \frac{\ell}{\cos \alpha} mg \sin \alpha = mgh.$$

Отже, робота сил тертя, як і раніше, визначається комплексом ℓfmg , а виконана робота проти сил тяжіння створює потенціал mgh . Очевидно, що зміна напрямку рушійної сили приведе до змін у розрахункових формулах.

Якщо рушійна сила P'_p (рис. 3) прикладається під кутом β , що відраховується від опорної площини, то маємо:

$$P_p = P'_p \cos \beta; N = mg \cos \alpha - P'_p \sin \beta;$$

$$P'_p \cos \beta = m h \sin \alpha + f (mg \cos \alpha - P'_p \sin \beta).$$

Звідси знайдемо:

$$P'_p (\cos \beta + f \sin \beta) = mg \sin \alpha + fmg \cos \alpha;$$

$$P'_p = \frac{mg \sin \alpha + fmg \cos \alpha}{\cos \beta + f \sin \beta}. \quad (2)$$

За умови, що $\beta = 0$, вираз (2) приводиться до виду (1).

Мінімальному значенню P'_p за інших рівних умов відповідає максимальний результат знаменника в останньому виразі. Для знаходження цього екстремуму знайдемо похідну Φ і прирівняємо її до нуля:

$$\Phi = \cos \beta + f \sin \beta; \Phi' = -\sin \beta + f \cos \beta.$$

Тоді: $\beta = \arctg f$.

Саме за такого значення отримаємо мінімізовану рушійну силу:

$$P'_{p \min} = \frac{mg \sin \alpha + fmg \cos \alpha}{\cos \arctg f + f \sin \arctg f}.$$

Результати розрахунків по визначенню функції Φ наведено в таблиці.

Таблиця.

Значення функції $\Phi = \cos \beta + f \sin \beta$

$\beta, ^\circ$	10	20	30	45	$\arctg 0,2 = 11^\circ 20'$
Φ	1,019	1,008	0,966	0,848	1,0198

Розвиток математичної теорії тертя призвів до створення так званих активованих гравітаційних спусків, які дають можливість переміщення по них вантажів навіть тоді, коли вони встановлені в межах кута тертя у підрахунку від лінії горизонту. Такий підхід виявився плідним стосовно перевантажувальних пристроїв у лініях транспортування скляної тари та інших вантажів, в оформленні перехідних містків, пристроїв для формування масивів виробів різної форми і розмірів.

Активування опорних площин при цьому досягається за рахунок їхнього усталеного відносного переміщення по відношенню до виробів або зворотно-поступального руху [1].

Література

1. Соколенко А.І. Моделювання процесів пакування / Соколенко А.І., Яровий В.Л., Піддубний В.А. та ін. — Вінниця: Nova knyha, 2004. — 272 с.

Гравітаційні енергоматеріальні системи в лініях пакування харчової продукції

К.В. Васильківський, к.т.н., В.М. Криворотько, к.т.н., НУХТ, м. Київ

Окремі елементи гравітаційних енергоматеріальних накопичувальних систем мають давню історію використання, що підтверджується збереженими до нашого часу водогонами, системами зрошення земельних угідь, гравітаційними спусками тощо. Останні, виконуючи функції складових в організації матеріальних потоків, разом із тим є енергетичними накопичувальними пристроями. Таке суміщення може стосуватися насипних і штучних вантажів та рідинних потоків. Енергетичний потенціал гравітаційних накопичувальних систем дає можливість здійснювати подальші переміщення матеріальних потоків на нижчі рівні внаслідок сил тяжіння. Транспортування насипних вантажів і рідинних середовищ при цьому здійснюється по трубопроводах, а переміщення штучних вантажів може виконуватися за допомогою гравітаційних елеваторів, нерухомих похилих опорних площин або роликів систем.

За відомих координат початкового і кінцевого положень вантажів або середовищ їхній енергетичний потенціал визначається залежністю:

$$\Delta E = mgh, \quad (1)$$

де ΔE — зміна енергетичного потенціалу вантажу за переміщення його по вертикалі на рівень h , який визначається різницею координат його центра мас.

Переміщення вантажів пов'язано з подоланням сил тертя і трансформацією потенціальної енергії в кінетичну. При цьому сила тертя дорівнює (рис. 1):

$$F_T = fmg \cos \alpha, \quad (2)$$

де f — коефіцієнт тертя, а робота проти сил тертя складає:

$$A_T = F_T \frac{\ell}{\cos \alpha} = \ell fmg. \quad (3)$$

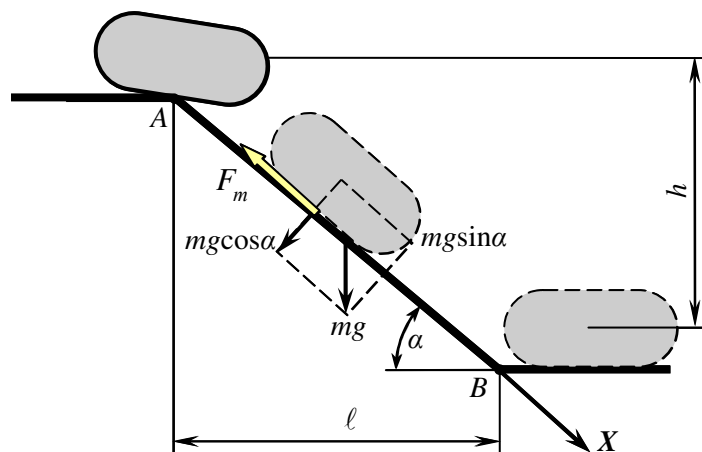


Рис. 1. Розрахункова схема гравітаційного опускного пристрою

З останнього витікає такий висновок: робота проти сил тертя на переміщеннях похилими площинами дорівнює роботі сил тертя fmg під час переміщення

вантажів горизонтальними ділянками, довжина яких дорівнює проекціям похилих ділянок.

Швидкість трансформації потенціальної енергії в кінетичну на похилій ділянці залежить від кута нахилу її до лінії горизонту і значення коефіцієнта тертя f між вантажем і опорною площиною. Визначитися з нею можливо на основі аналізу рівняння руху. Нехай точка A співпадає з точкою O початку осі OX і рівняння руху матиме вигляд:

$$m\ddot{x} = mg \sin \alpha - fmg \cos \alpha. \quad (4)$$

З розв'язання цієї умови і за початкових параметрів $t_{(п)} = 0$; $x_{(п)} = 0$; $\dot{x}_{(п)} = 0$, одержуємо:

$$\dot{x} = (g \sin \alpha - fg \cos \alpha)t; \quad x = (g \sin \alpha - fg \cos \alpha)\frac{t^2}{2}. \quad (5)$$

Тоді динаміка зростання кінетичної енергії буде відображатися формулою:

$$E_{кін} = m(g \sin \alpha - fg \cos \alpha)^2 \frac{t^2}{2}, \quad (6)$$

а робота проти сил тертя:

$$A_T = fmgx \cos \alpha. \quad (7)$$

Оскільки переміщення x відбувається за час:

$$t = \sqrt{\frac{2x}{g(\sin \alpha - f \cos \alpha)}}, \quad (8)$$

то час завершення переміщення по похилій ділянці становитиме:

$$t_{(к)} = \sqrt{\frac{2\ell}{g(\sin \alpha - f \cos \alpha) \cos \alpha}}. \quad (9)$$

Потенціальна енергія в процесі переміщення становитиме:

$$E_{пот} = mg \left(\frac{\ell}{\cos \alpha} - x \right) \sin \alpha = mg \left(\frac{\ell}{\cos \alpha} - g(\sin \alpha - f \cos \alpha) \frac{t^2}{2} \right) \sin \alpha, \quad (10)$$

а її зменшення від початку переміщення визначається формулою:

$$E_{пот}(t) = mg\ell \sin \alpha - mg \left(\frac{\ell}{\cos \alpha} - g(\sin \alpha - f \cos \alpha) \frac{t^2}{2} \right) \sin \alpha. \quad (11)$$

Також з енергетичного балансу витікає, що $\Delta E_{пот}(t) = A_T(t) + E_{кін}(t)$. При цьому:

$$A_T(t) = fmg^2 \cos \alpha (\sin \alpha - f \cos \alpha) \frac{t^2}{2}. \quad (12)$$

Повернувшись до формули (3), змінимо формулювання висновку з неї, не порушуючи суті ідеології, до форми: робота проти сил тертя не залежить від форми ломаної площини, якою оформлено гравітаційний спуск.

Останнє, якщо знехтувати впливом відцентрових сил, буде стосуватися і криволінійних спусків (рис. 2).

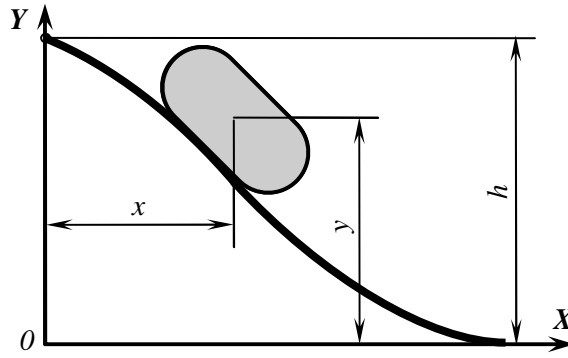


Рис. 2. Розрахункова схема криволінійного гравітаційного спуску

За умови неврахування сил тертя у відповідності до закону Галілея швидкість тіла в точці з координатами x та y повинна визначатися умовою:

$$v' = g\sqrt{2y/g}, \quad (13)$$

і їй повинен відповідати рівень кінетичної енергії:

$$E'_{\text{кін}} = m \frac{v'^2}{2} = mgy. \quad (14)$$

Однак за наявності сил тертя величина кінетичної енергії $E'_{\text{кін}}$ повинна бути зменшена на складову $A_T = fmgx$, тобто:

$$E_{\text{кін}} = E'_{\text{кін}} - A_T = mgy - fmgx. \quad (15)$$

Тоді за значенням $E_{\text{кін}}$ знайдемо дійсну швидкість тіла v_d :

$$mgy - fmgx = m \frac{v_d^2}{2}; \quad v_d = \sqrt{2(gy - fgx)}. \quad (16)$$

Якщо профіль спуску задано залежністю $y = y(x)$, то це означає можливість визначити функцію:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dx}(x), \quad (17)$$

і тангенс кута нахилу дотичної до кривої профілю спуску з віссю OX , а разом із цим і складові швидкості $\dot{x}$ та $\dot{y}$. При цьому:

$$\dot{x} = v_d \cos \arctg \frac{dy}{dx}; \quad \dot{y} = v_d \sin \arctg \frac{dy}{dx}; \quad (18)$$

або в розгорнутому вигляді:

$$\dot{x} = \sqrt{2(gy - fgx)} \cos \arctg \frac{dy}{dx}; \quad \dot{y} = \sqrt{2(gy - fgx)} \sin \arctg \frac{dy}{dx}. \quad (19)$$

Окрім того, знайдені закономірності між енергетичними і геометричними параметрами для випадків комбінації похилих ділянок спусків і горизонтальних ділянок дають можливість у спрощеній формі прогнозувати величину максимальної горизонтальної координати:

$$x_{\text{max}} = \frac{mgh}{fmg} = \frac{h}{f}. \quad (20)$$

Запропоновану методику розрахунків, яка представлена сукупністю рівнянь (13–20), одержано за умови нехтування відцентровими силами, які виникають під час

переміщення вантажів криволінійними ділянками. Оскільки відцентрові сили:

$$P_i = m \frac{v_d^2}{r}, \quad (21)$$

де r — радіус кривини опорної площини, то положення вектора $\vec{P}_i$ є цілком визначене і таке, що завжди перпендикулярне до опорної поверхні. Це означає, що відцентрова сила не може виступати як рушійна, але через вплив на реакцію опорної площини може приводити до збільшення або зменшення сили тертя.

Сумарна дія складової сили тяжіння і відцентрової сили визначається залежністю:

$$P_{\text{сум}} = mg \cos \arctg \frac{dy}{dx} \pm m \frac{v_d^2}{r}. \quad (22)$$

Знак « $-$ » у цій умові відповідає випадку переміщення вантажу по опуклій поверхні, а « $+$ » — випадку ввігнутої поверхні.

За таких умов сила тертя визначається формулою:

$$F_T(x, y) = fmg \cos \arctg \frac{dy}{dx} \pm fm \frac{v_d^2}{r}, \quad (23)$$

і залежить від координати та швидкості руху вантажу.

Очевидно, що сила тертя $F_T(x, y)$ є функцією координат x та y , однак робота проти сил тертя, обчислена за першою складовою правої частини рівняння (23), на всякому проміжку буде визначатися як $A'_T = fmgx$. Оскільки відцентрова складова змінюється за формулою:

$$v_d = \sqrt{2(gy(x) - fgx)}, \quad (24)$$

і у зв'язку з тим, що вона на рівні вертикальної проекції доповнює силу тяжіння mg , то вплив такої вертикальної складової на роботу для подолання сил тертя визначатиметься залежністю:

$$A'_{TB} = \int_0^{x(k)} \frac{fm}{r} \sin \left(90 - \arctg \frac{dy}{dx} \right) (gy(x) - fgx) dx, \quad (25)$$

де $x_{(k)}$ — максимальна або спеціально визначена величина горизонтальної проекції ділянки гравітаційного спуску.

Тоді для обраних координат x та y маємо:

$$\Delta E_{\text{пот}}(x) = mgh - fmgx \pm \int_0^{x(k)} \frac{fm}{r} \sin \left(90 - \arctg \frac{dy}{dx} \right) (gy(x) - fgx) dx. \quad (26)$$

Наведені співвідношення між енергетичними, силовими і геометричними параметрами дають можливість визначення кінематичних параметрів переміщення вантажів криволінійними спусками, у тому числі і зі змінними радіусами кривини.

Література

1. Соколенко А.І. Моделирование процессов пакування / Соколенко А.І., Яровий В.Л., Піддубний В.А. та ін. — Вінниця: Nova knyha, 2004. — 272 с.

Коефіцієнти корисної дії похилих площин

А.В. Мудрак, І.Ф. Максименко, А.І. Соколенко, д.т.н., НУХТ, м. Київ

Важливим доповненням до характеристик похилих площин є їхні коефіцієнти корисної дії. Розглянемо вантаж масою m на похилій площині, розташований під кутом α до лінії горизонту. Переміщення вантажу здійснюється під дією сили P , лінія дії якої розташована під кутом β до напрямку переміщення вантажу.

Загальний результат величини ККД похилої площини залежить від співвідношення силових факторів, що діють на вантажі, і кута нахилу до лінії горизонту. При цьому одна із сил є рушійною і виконує корисну роботу, а інша грає роль сили опору, подолання якої потребує витрат деякої частини роботи, що виконується рушійною силою. Окрім того, мають місце енерговитрати, пов'язані з необхідністю долати сили тертя.

ККД похилої площини залежить від напрямку переміщення вантажу.

Випадок руху вантажу опорною похилою площиною згори донизу. Розрахункова схема цього випадку наведена на рисунку. Рушійною силою при цьому є складова сили тяжіння $mgsin\alpha$. У зв'язку з подоланням сили опору P витрачається корисна робота:

$$A_p = Ps \cos\beta, \quad (1)$$

а повна робота рушійної сили тяжіння дорівнює:

$$A_{mg} = mgh. \quad (2)$$

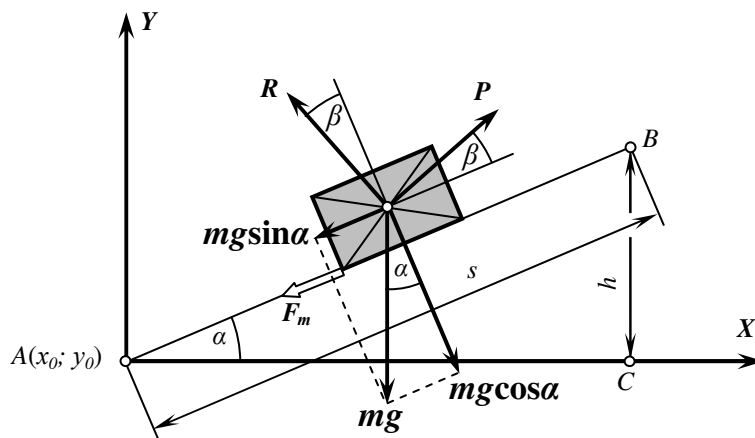


Рисунок. Схема до визначення параметрів переміщення вантажу по похилій площині

Звідси ККД складає:

$$\eta = \frac{A_p}{A_{mg}} = \frac{P s \cos\beta}{mgh}, \quad (3)$$

і маючи на увазі, що $h/s = \sin\alpha$, P дорівнює:

$$P = mg \frac{\sin(\alpha - \rho)}{\cos(\beta + \rho)}; \quad \eta = \frac{\cos\beta}{\sin\alpha} \cdot \frac{\sin(\alpha - \rho)}{\cos(\beta + \rho)}. \quad (4)$$

У випадку горизонтального прикладання сили P під кутом $\beta = -\alpha$, отримуємо вираз:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \rho)}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (5)$$

При цьому відомо, що похила площина є самогальмівною, якщо $\alpha \leq \rho$. З останнього витікає, що за умови самогальмування ККД $\eta \leq 0$.

Випадок руху вантажу опорною похилою площиною догори. У цьому випадку корисну роботу виконує сила P , а сила тяжіння mg є силою опору. Корисна робота $A_{mg} = mgh$, а повна робота — $A_p = P s \cos \beta$. Звідси ККД:

$$\eta = \frac{A_{mg}}{A_p} = \frac{mgh}{P s \cos \beta}. \quad (6)$$

Оскільки $h/s = \sin \alpha$ і

$$P = mg \frac{\sin(\alpha + \rho)}{\cos(\beta - \rho)}, \quad (7)$$

то

$$\eta = \frac{\sin \alpha}{\cos \beta} \cdot \frac{\cos(\beta - \rho)}{\sin(\alpha + \rho)}. \quad (8)$$

У випадку горизонтально діючої сили одержуємо:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \rho)}. \quad (9)$$

Самогальмування вантажу на похилій площині можливе і у цьому випадку. Умові самогальмування, у відповідності до виразу (9), повинні відповідати $\operatorname{tg} \alpha = 0$ або $\operatorname{tg}(\alpha + \rho) = \infty$. Перша умова не має фізичного змісту, оскільки їй відповідає умова $\alpha = 0$, і тоді рушійна сила корисної роботи не виконує. А з другої умови витікає $\alpha + \rho = \pi/2$ або $\alpha = \pi/2 - \rho$. Враховуючи, що ККД похилої площини залежить від кута α і нульові значення η відповідають вказаним $\alpha = 0$ і $\alpha = \pi/2 - \rho$, слід прийти до висновку про існування максимального значення η у вказаному інтервалі. Значення α_m знайдемо, прирівнявши $d\eta/d\alpha$ до нуля. За руху тіла догори похилою площиною маємо:

$$\frac{d\eta}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha} \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \rho)} \right) = 0. \quad (10)$$

Виконавши диференціювання, отримаємо:

$$\frac{d\eta}{d\alpha} = \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \rho) \frac{1}{\cos^2 \alpha} + \operatorname{tg} \alpha \frac{1}{\cos^2(\alpha + \rho)}}{\operatorname{tg}^2(\alpha + \rho)}, \quad (11)$$

або звідси:

$$\operatorname{tg}(\alpha + \rho) \frac{1}{\cos^2 \alpha} - \operatorname{tg} \alpha \frac{1}{\cos^2(\alpha + \rho)} = 0. \quad (12)$$

Замінивши тангенси співвідношеннями $\sin$ та $\cos$ і привівши вирази до спільного знаменника, отримаємо:

$$\sin 2(\alpha + \rho) - \sin 2\alpha = 0. \quad (13)$$

Останній вираз задовольняється лише тоді, коли $2(\alpha + \rho) = \pi - 2\alpha$, тому що $\sin 2\alpha = \sin(\pi - 2\alpha)$. Тоді максимальний ККД відповідає куту:

$$\alpha_m = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}. \quad (14)$$

Під час руху згори донизу маємо:

$$\alpha_m = \frac{\pi}{4} + \frac{\rho}{2}. \quad (15)$$

Геометричні параметри влаштування систем із використанням гравітаційних пристроїв можуть бути фіксованими і наперед заданими. Задовольнити при цьому співвідношення між геометричними, кінематичними та силовими параметрами можливо за рахунок жолобчастих похилих площин або використання активованих опорних похилих площин, приведених, наприклад, в рух із визначеними параметрами.

Література

1. Соколенко А.І. Моделювання процесів пакування / Соколенко А.І., Яровий В.Л., Піддубний В.А. та ін. — Вінниця: Nova knyha, 2004. — 272 с.

Математична і фізична моделі гідравлічної сепарації полімерних пакувальних матеріалів

О.М. Арсенюк, І.В. Коваленко, к.т.н., НТУУ «КПІ», м. Київ

Гідросепарація — спосіб розділення твердих побутових відходів (ТПВ) на складові частини за допомогою води. Технологія дешевша, ніж сміттєспалювання, при відносно швидкому розгортанні. За допомогою технології гідросепарації ТПВ можна переробити до 85 % несортованих відходів, які в подальшому будуть направлені на перероблення як вторинна сировина, а органічні відходи — на виробництво біогазу, електроенергії. Якість відсортованих складових ТПВ достатньо висока.

Для гідравлічного сортування ТПВ використовують воду, яка є природним нейтралізатором запахів. Спочатку несортвані відходи надходять у приймальне відділення, обладнане витяжними вентиляторами. Потім їх пропускають через водяний потік, де органічні й неорганічні складові розділяються методом гравітаційного регулювання водяним потоком.

Постановка завдання

В основу досліджень поставлене завдання сортування відходів із полімерних матеріалів методом гідросепарації, при якому полімерні матеріали відсортовуються із загальної маси відходів шляхом додавання повітря до води, що змінює її густину. У результаті цього отримують водно-повітряну суміш, у якій полімери не спливають на поверхню, а починають осідати, бо їхня об'ємна маса більша за отриману густину суміші.

Результати досліджень

Розглянемо модель взаємодії твердої частинки і рухомого середовища за таких припущень:

- вектор руху зріджувального агента протилежний за напрямком до вектора сили тяжіння;
- сила гідродинамічного опору F направлена у протилежному напрямку дії вектора сили тяжіння G і визначається як $F = f(W_o)$ [1].

Якщо тверду частинку розмістити в рідкому середовищі з додаванням газу, то її рух відбувається під дією таких сил (рис. 1):

- сили тяжіння G , прикладеної до центра мас і спрямованої вертикально вниз;
- сили Архімеда A , прикладеної до поверхні частинки і спрямованої вертикально вгору, у бік, протилежний напрямку вектора швидкості осідання.

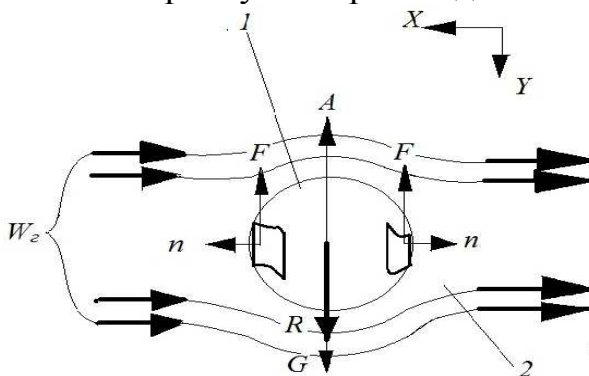


Рис. 1. Схема взаємодії зріджувального агента 2 та твердої частинки 1

Можливі такі варіанти силової взаємодії:

$$G - A - F = R; R > 0; W_0 < W_c; \quad (1)$$

$$G - A - F = R; G - A = F; R = 0; W_0 = W_c; \quad (2)$$

$$G - A - F = R; R < 0; W_0 > W_c; G - A < F, \quad (3)$$

де R — рівнодіюча сила, Н;

W_0 — швидкість осадження твердої частинки, м/с;

W_c — критична швидкість потоку рідини, м/с.

Проекція цих сил на вісь Y подана у рівняннях (1), (2), (3).

Якщо $R > 0$, то частинка рухається рівноприскорено; якщо $R = 0$, то частинка рухається рівномірно (ламінальний режим); випадок $R < 0$ не може виникнути за наявності нерухомого газового середовища.

Силу тяжіння твердої частинки можна визначити

$$G = V \rho_{тв} g = l_{сер}^2 h \rho_{тв} g, \quad (4)$$

де h — товщина твердої частинки;

$\rho_{тв}$ — об'ємна маса частинок полімеру;

g — прискорення вільного падіння;

$l_{сер}$ — середнє значення розміру частинки, яке визначається як

$l_{сер} = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{3}$, де l_1, l_2, l_3 — геометричні розміри будь-якої частинки в трьох

взаємоперпендикулярних вимірах.

Сила Архімеда:

$$A = V(\rho_p + \rho_z)g = l_{сер}^2 h(\rho_p + \rho_z)g, \quad (5)$$

де ρ_p, ρ_z — густина рідини і газу відповідно.

Для більш крупних осаджувальних частинок полімерів сила опору середовища за законом Ньютона дорівнює:

$$F = \Psi \rho_p l_{сер}^2 \frac{W_0^2}{2}, \quad (6)$$

де Ψ — коефіцієнт опору середовища;

W_0 — швидкість осадження.

Рівнодіючу силу в загальному випадку запишемо як:

$$R = ma - V \rho_{тв} \frac{dW_0}{d\tau} = l_{сер}^2 h \rho_{тв} \frac{dW_0}{d\tau}. \quad (7)$$

Підставивши вирази (4–7) у рівняння (1), отримаємо:

$$h \rho_{тв} g - h(\rho_p + \rho_z)g - \Psi \rho_p \frac{dW_0^2}{2} = h \rho_{тв} \frac{dW_0}{d\tau}. \quad (8)$$

Це диференціальне рівняння описує осадження частинки під дією сили тяжіння.

Щоб отримати рівняння для інженерних розрахунків поділимо всі члени рівняння (8) на праву частину:

$$g \frac{d\tau}{dW_0} - g \frac{(\rho_p + \rho_z)}{\rho_{m\kappa}} \frac{d\tau}{dW_0} - \frac{\psi \rho_p}{h \rho_{m\kappa}} \frac{dW_0^2}{2} - 1 = 0. \quad (9)$$

Помножимо всі члени рівняння (9) на безрозмірний комплекс відношення об'ємної маси частинки до густини газу $\rho_{m\kappa}/\rho_z$:

$$g \frac{\rho_{m\kappa}}{\rho_z} \frac{d\tau}{dW_0} - g \frac{\rho_{m\kappa}}{\rho_z} \frac{(\rho_p + \rho_z)}{\rho_{m\kappa}} \frac{d\tau}{dW_0} - \frac{\rho_{m\kappa}}{\rho_z} \frac{\psi \rho_p}{h \rho_{m\kappa}} \frac{W_0^2}{2} \frac{d\tau}{dW_0} - \frac{\rho_{m\kappa}}{\rho_z} = 0. \quad (10)$$

Розглянемо третій доданок рівняння (10). Згідно з теорією подібності вилучимо символи диференціювання, і, виконавши відповідні перетворення, виразивши $[\tau/l_{cep}] = [l/W_0]$, [1] одержимо:

$$\left[\rho_{m\kappa} - (\rho_p + \rho_z) \right] \frac{gl_{cep}}{W_0^2} - \frac{\psi \rho_p}{h} \frac{l_{cep}}{2} - \rho_{m\kappa} = 0. \quad (11)$$

З виразу (11) знаходимо швидкість осадження:

$$W_0 = \sqrt{\frac{gl_{cep}(\rho_{m\kappa} - \rho_{зв})}{\frac{\psi \rho_p l_{cep}}{2h} + \rho_{m\kappa}}}, \quad (12)$$

де $\rho_{зв} = \rho_z + \rho_p$ — зведена величина густини за певного об'єму рідини і газу, необхідна для того, щоб частинки осідали.

Для знаходження значення швидкості осадження потрібно знати коефіцієнт опору. Його значення знайдено з математичного виразу для критерію Рейнольдса.

Аналіз розмірності показує, що величина ψ безрозмірна, складена з багатьох величин, які описують явище, і, отже, її можна вважати критерієм подібності. У результаті експериментів встановлено, що коефіцієнт опору частинки залежить від режиму її обтікання, який характеризується критерієм Рейнольдса.

Експериментально було отримано залежність коефіцієнта опору від режиму руху, при чому експеримент проводили для умов $G = F$ (рис. 2).

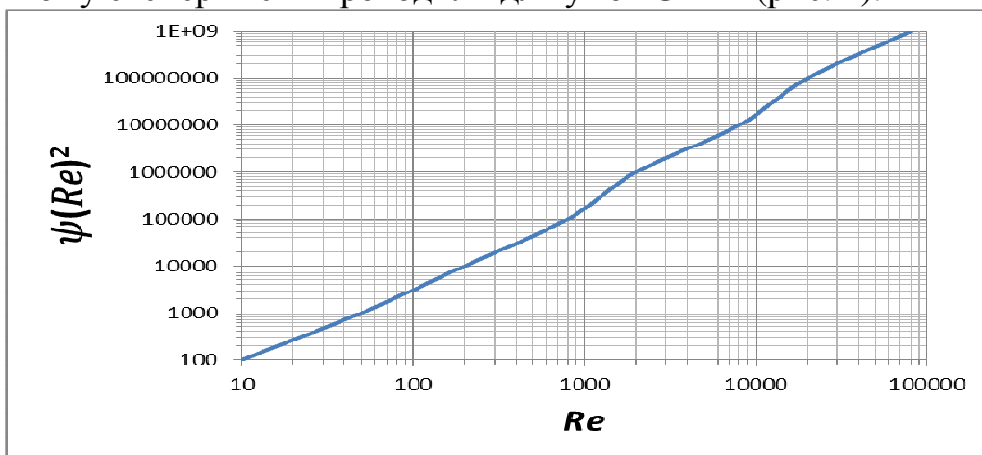


Рис. 2. Графік залежності $\Psi(Re)^2 = f(Re)$

Логарифмічну залежність $\psi = f(Re)$ можна навести у вигляді ламаної апроксимуючої лінії з трьома характерними областями (рис. 3).

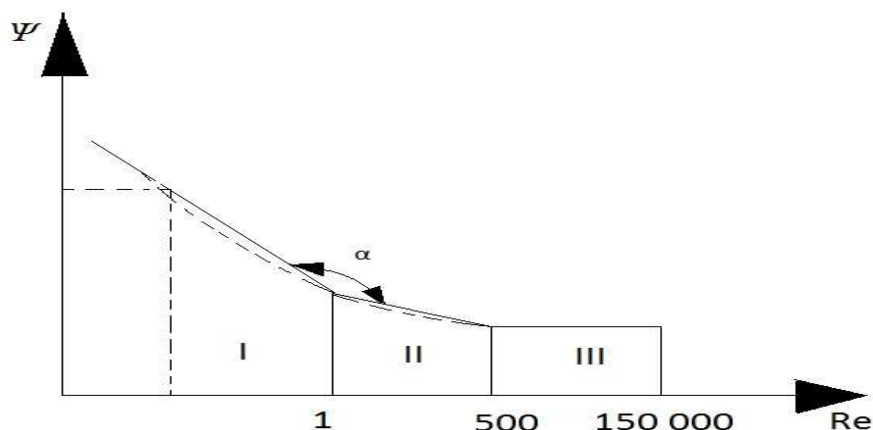


Рис. 3. Графік залежності $\Psi = f(Re)$

Перша область ($Re < 1$) дає залежність:

$$\psi = 24 Re^{-1}. \quad (13)$$

Отримані залежності дають можливість розв'язувати задачу визначення швидкості осадження і розмірів частинок — пряму і обернену задачі. Під час вирішення задачі задані розміри частинки.

Для розв'язання задачі використовують значення швидкості, визначене з рівняння Ньютона і критерію Рейнольдса:

$$Re = l_{сер} \frac{W_0 \rho_{зв}}{\mu_{зв}}. \quad (14)$$

Розв'язання рівнянь (12) і (14) дає вираз [2]:

$$\psi(Re)^2 = l_{сер}^2 \frac{4\rho_{тв}(\rho_{тв} - \rho_{зв})g}{3\mu_{зв}^2}. \quad (15)$$

Коефіцієнт $4/3$ у виразі (15) отримано для випадку, коли частинки мають форму кулі. Результати дослідження і залежності $\Psi = f(Re)$ свідчать, що для розв'язання практичних задач замість $4/3$ потрібно використовувати коефіцієнт $0,523$. Це пояснюється тим, що коефіцієнти опору частинок некулястої форми мають інші значення [2].

Щоб обчислити значення критерію Re , треба спочатку побудувати графік залежності $\psi = f(Re)$ у вигляді залежності $\psi(Re)^2 = f(Re)$ (рис. 3).

Потім, визначивши за формулою (15) значення $\psi(Re)^2$, можна визначити за графіком на рис. 4 Re , а за критерієм Рейнольдса (14) — швидкість W_0 .

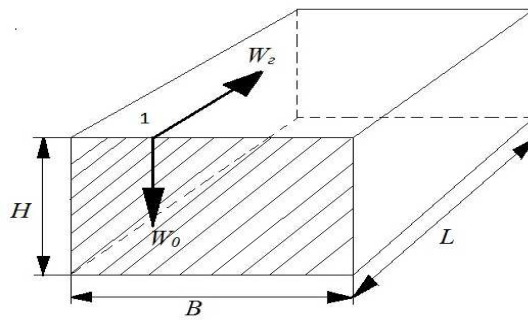


Рис. 4. Схема гідросепаратора

Обчислимо швидкість осадження частинок для мінімальних і максимальних розмірів частинки, мінімальної і максимальної об'ємної маси полімеру.

Гідросепаратор умовно можна навести як паралелепіпед (рис. 4). Полімери подаються через передню вертикальну грань, що має площу $f = HB$.

Розглянемо частинку, яка перебуває в точці 1 і має горизонтальну складову швидкості W_z та вертикальну W_0 швидкість осадження (рис. 4) [1].

Фізичну модель процесу осадження сформулюємо так: час осадження τ_0 має дорівнювати часу перебування τ_{nep} частинки у рідині в камері гідросепарації:

$$\tau_0 = \tau_{nep}. \quad (16)$$

Відповідно ці величини можна виразити як:

$$\tau_0 = \frac{H}{W_0}; \quad \tau_{nep} = \frac{L}{W_z}. \quad (17)$$

Після підстановки виразів (17) у рівняння (16) отримаємо:

$$\frac{H}{W_0} = \frac{L}{W_z}, \text{ звідки } L = \frac{H}{W_0} W_z. \quad (18)$$

У результаті обчислення формул (14) і (18) побудовано графік залежності швидкості осадження полімерів від довжини камери гідросепарації $W_0 = f(L)$ (рис. 5).

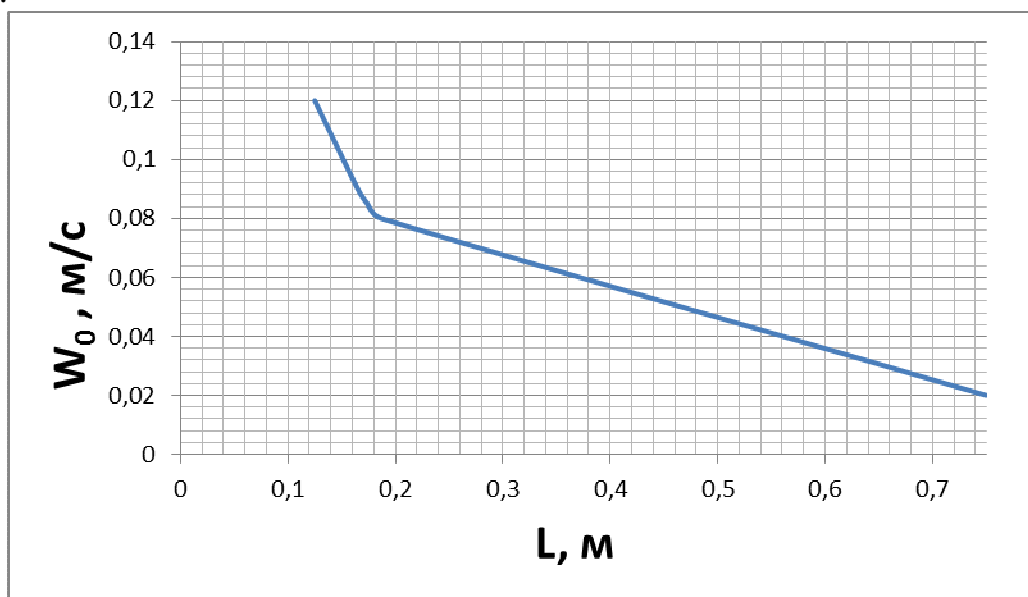


Рис. 5. Залежність швидкості осадження від довжини гідросепаратора

Висновки

Результати проведених розрахунків дають можливість спроектувати камеру флотації з необхідною довжиною, а також визначити час осадження полімерних матеріалів у суміші води з повітрям.

Література

1. Процеси та обладнання хімічної технології: підруч. / Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок та ін. — К.: НТУУ «КПІ», 2011. — Ч. 2. — 416 с.
2. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв: Підруч. / І.В. Коваленко, В.В. Малиновський. — К.: Інрес; Воля, 2006. — 264 с.
3. *Коваленко І.В.* Спосіб сортування твердих побутових відходів / Коваленко І.В., Арсенюк О.М. — Заявка на патент України № 201303040; заявл. 12.03.2013.