

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

**Матеріали доповідей
XVIII Науково-практичної конференції
молодих вчених
«Новітні технології пакування»**

Додаток до журналу «Упаковка®»



**За
підтримки:**



Київ – 2019

ЗМІСТ

А. Чернишова, А. Юрчук, В.М. Скиба, к.т.н., <i>ВПІ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i> Особливості процесу 3D-моделювання пакування	5
Б.Р. Мусін, А.В. Деренівська, к.т.н., Л.О. Кривопляс-Володіна, к.т.н., С.В. Токарчук, к.т.н., НУХТ, м. Київ Дослідження процесу формоутворення захисної упаковки типу «SingleBubble» із рулонних заготовок.....	7
І.В. Ніколаєва, А.Д. Петухов, д.т.н., <i>НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i> До руйнування УФ-опроміненням вживаних стретч-плівок для харчових продуктів	11
М.О. Огірко, С.Ф. Гавенко, д.т.н., УАД, м. Львів Дослідження впливу властивостей клею на якість склеювання пакувань із ламінованого картону.....	14
Ю.Ю. Герасименко, О.Л. Сокольський, к.т.н., <i>НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i> Дослідження з'єднання елементів гнучкої упаковки термопластичним клейовим матеріалом	17
Є.П. Сімончук, О.Л. Сокольський, к.т.н., <i>НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i> Дослідження процесу формування пакувальних полімерних виробів методом лиття під тиском	20
О.О. Корнєва, КНУТД, м. Київ Огляд особливостей первинної упаковки для очних крапель	23
Т.В. Коваль, І.І. Регей, д.т.н., УАД, м. Львів Експериментальна оцінка обробки гофрованого картону різними дисковими інструментами	26
О. Флорескул, О.В. Ватренко, д.т.н., ОНАХТ, м. Одеса Проблеми узгодження параметрів зберігання газованих напоїв із міцністю скляної тари	29
С.І. Кардаш, О.В. Ганоцька, к.мист., ХДАДМ, м. Харків Екологічна альтернатива у сфері пакувальних матеріалів	31
Ж.В. Оверченко, Л.І. Мельник, к.т.н., <i>НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i> Полімерна композиція, здатна до біорозкладання	34

О.П. Шостачук, ВПІ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ Управління фарбоперенесенням у флексографічному друці шляхом налаштувань флексографічної друкарської машини	37
М.О. Карась, К.О. Чепурна, к.т.н., НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ Вплив способів нанесення фарби на колірний тон відбитків, отриманих на тонованих пластиках при виготовленні паковань	40
Д.С. Гриценко, к.т.н., ВПІ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ Удосконалення кулачкового механізму привода подавання паковань у зону друку тамподрукарської машини	44
Б.В. Михайлик, О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ Реалізація вагового дозування пластичних харчових продуктів мехатронним модулем	46
Ю.П. Шоловій, к.т.н., Н.І. Магерус, к.т.н., НУ «Львівська політехніка» Обґрунтування параметрів розвантажувальної лунки бункера при гравітаційному витіканні дрібнодисперсних сипких матеріалів	50
А.І. Соколенко, д.т.н., С.А. Бут, к.т.н., К.В. Васильківський, к.т.н., О.І. Степанець, к.т.н., НУХТ, м. Київ Співвідношення динамічних і енергетичних параметрів у пакувальному обладнанні	54
О.М. Горчакова, М.В. Якимчук, д.т.н., НУХТ, м. Київ Динамічний синтез закону переміщення клапана дозатора для рідких харчових продуктів	58
М.С. Чепур, Л.О. Кривопляс-Володіна, к.т.н., О.М. Гавва, д.т.н., Т.Т. Гнатів, НУХТ, м. Київ Математичне моделювання процесу подачі стрічки пакувального матеріалу	62
В.М. Якимчук, О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ Мінімізація витрат енергії при формуванні транспортного пакета промисловими робототехнічними комплексами	66
Д.Р. Іващенко, Л.О. Кривопляс-Володіна, к.т.н., Г.Р. Валіулін, к.т.н., О.А. Вітюк, НУХТ, м. Київ Практичні аспекти динамічного аналізу роботи маніпулятора	71

Особливості процесу 3D-моделювання пакування

А. Чернишова, А. Юрчук, В.М. Скиба, к.т.н., ВПІ НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ

На сьогодні надзвичайної популярності набувають процеси 3D-моделювання при розробці сучасного пакування. Такі тенденції викликані можливістю сучасних програмно-апаратних комплексів не лише розробляти детальні 3D-моделі пакування, але й якісно їх візуалізувати. Тобто стає можливим ще до виготовлення прототипу чи до передачі макету пакування у виробництво переглядати кінцевий вигляд майбутньої продукції. Це дає змогу оцінити якість конструкції та графічної складової дизайну майбутнього пакування й завчасно внести необхідні корективи, а також продемонструвати результати роботи зі створення структурного й графічного дизайну пакування замовнику: розглянути пакування в 3D-форматі та представити його графічне оформлення. Тож дослідження процесу 3D-моделювання пакування є надзвичайно актуальним для наукового дослідження, що дозволить розробити ефективний алгоритм сучасного технологічного процесу моделювання та візуалізації пакування. Для виконання даного технологічного процесу можливе використання декількох програмних засобів, які мають свої переваги та недоліки. На підставі попередньо проведеного аналізу було встановлено, що даний процес дещо краще може бути реалізований у Prinect Package Designer. Розпочати розробку пакування варто зі створення геометрії 2D-моделі – створити конструкцію пакування. Для цього можна використовувати каталог пакувань ЕСМА або ж розробити власне дизайнерське рішення. Далі йдуть операція задання ліній бігування, мікроперфорування, висікання тощо.

Наступними реалізуються група процесів 3D-моделювання: створення геометрії 3D-моделі пакування; налаштування послідовності складання елементів пакування, задання кутів згину та швидкодії ліній згину. Далі відбувається процес модифікації моделі вже в 3D-редакторі. Для реалізації процесу візуалізації графічна складова дизайну накладається на розроблену 3D-модель пакування. Особливу увагу при цьому слід приділити якості суміщення структурного й графічного дизайну та у випадку виявлення недоліків виправити їх. Після цього виконується фінальна операція експортування 3D-моделі для інтерактивної перевірки та демонстрації замовнику. Завершальним кроком є збереження проекту пакування в необхідному форматі для подальших виробничих процесів: додрукарської підготовки, генерування даних для налаштування друкарського та післядрукарського обладнання.

Узагальнюючи весь зазначений аналіз, розроблено блок-схему алгоритму технологічного процесу 3D-моделювання пакування (рисунок).

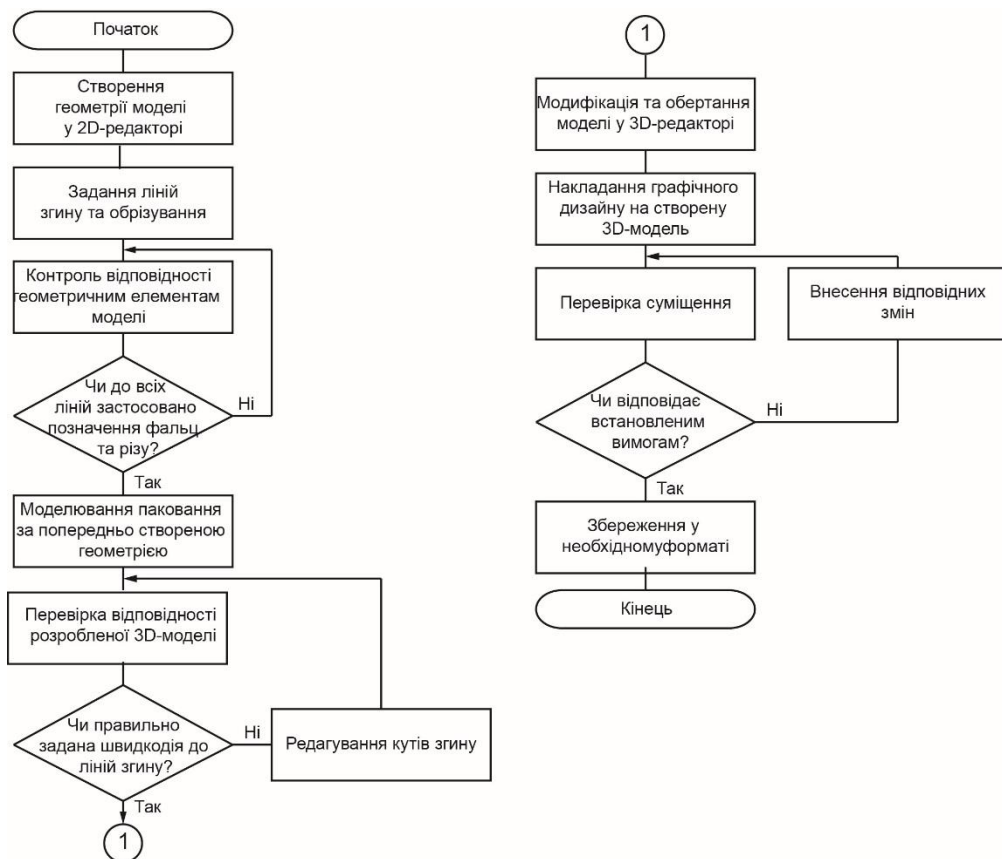


Рисунок. Блок-схема алгоритму технологічного процесу 3D-моделювання пакування

Отже, на підставі проведеної роботи було розроблено алгоритм технологічного процесу 3D-моделювання та візуалізації пакування, який поетапно описує всі процеси розроблення тривимірної моделі пакування та дає змогу оцінити якість її виконання.

Дослідження процесу формоутворення повітряної захисної упаковки типу «SingeBubble» із рулонних заготовок

*Б.Р. Мусін, А.В. Деренівська, к.т.н., Л.О. Кривопляс-Володіна, к.т.н.,
С.В. Токарчук, к.т.н., НУХТ, м. Київ*

Вступ. Сучасна пакувальна галузь використовує широкий спектр видів упаковок за формою та матеріалами. Стрімко розвиваються технології й способи пакування харчових продуктів. Зокрема, 2007 року на ринок упаковки було введено новий вид – повітряну захисну упаковку. Аналіз пакувального обладнання довів можливість розвитку потенціалу використання такої упаковки для харчових продуктів.

Актуальність. За потреби в забезпеченні надійного пакування для різних видів харчових продуктів під час складування, транспортування, розформування і перевантаження укрупнених пакувальних одиниць доцільно використовувати «SingeBubble» («SB»).

Мета роботи. Дослідження процесу формоутворення повітряної захисної упаковки для визначення розподілу значень тиску в комірках упаковки та на поверхні вміщеного об'єкта. Розробка математичної моделі для оцінки зміни значень швидкості переміщення повітря в комірках упаковки, визначення оптимальної геометрії повітряних комірок, визначення тиску та режимів роботи пристрою для виготовлення такої упаковки.

Матеріали і методи. Матеріал дослідження – повітряна захисна упаковка різної геометрії та режими її формоутворення.

Предмет дослідження – розподіл значень тиску та швидкості при переміщенні повітря в каналах та комірках упаковки.

Початкові умови. Навколишні умови: температура 297 К, тиск 101000 Па; тиск на вході в канал для подачі повітря – 225000 Па; ширина полотна повітряної захисної упаковки $L = 0,18$ м.

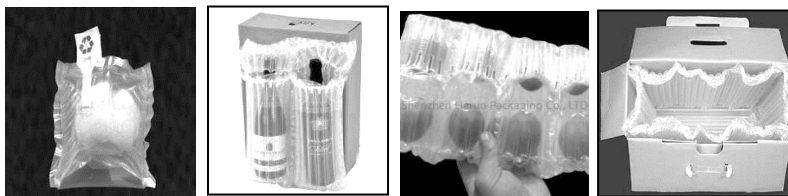


Рис. 1. Зразки використання повітряної захисної упаковки

Спосіб пакування «SB» у повітряну захисну упаковку (рис. 1) дає можливість економити кошти на доставці та зберіганні; може бути використаний для продукту, споживчої або групової упаковки будь-якої форми та типорозміру; надає можливість розробити нову конструкцію безпосередньо під об'єкт транспортування.

Рулонні заготовки з полімерної плівки для повітряної захисної упаковки мають різну геометрію комірок (рис. 2), містять типові структурні елементи: повздовжній канал для подачі повітря; бокові канали з або без клапанів для подачі повітря в комірки; комірки різної форми та розмірів; зварні шви для створення каналів та ребер упаковки.

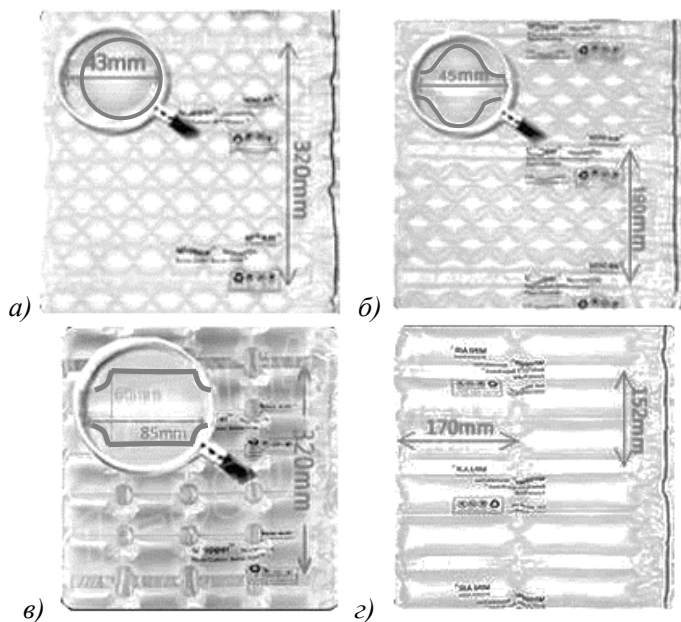


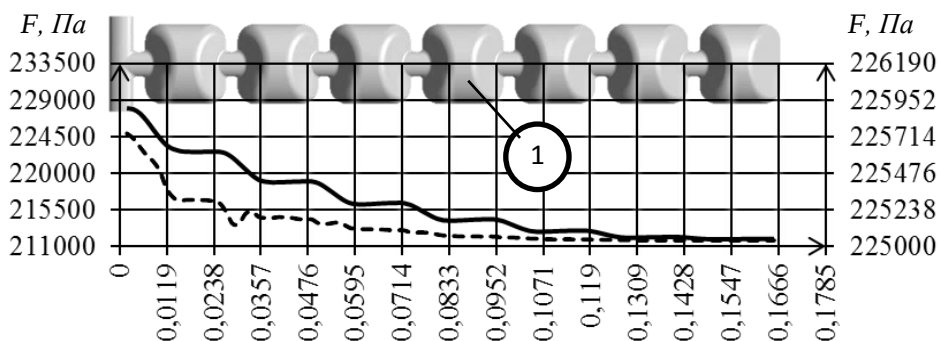
Рис. 2. Зразки рулонного пакувального матеріалу для виготовлення повітряної захисної упаковки, представленої на ринку, із комірками у вигляді кола (а), кривоподібної форми (б), квадрата (в), прямокутника (г)

Під час дослідження встановлено: при подачі повітря та формоутворенні повітряної упаковки виникають значні зусилля й існує можливість розтягування або розриву плівки. Для уникнення цих явищ визначено розподіл значень тиску та швидкості повітря в каналах і комірках упаковки.

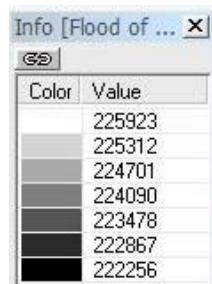
Дослідження процесу формоутворення упаковки під дією стисненого повітря базувалося на використанні теорії гідрогазодинаміки: закону нерозривності струмینی потоку повітря, закону Бернуллі. Дослідження проводилося в програмному імітаційному комплексі FlowVision CFD [1–3]. Результати проведеного моделювання представлено на рис. 3.

На початковому етапі

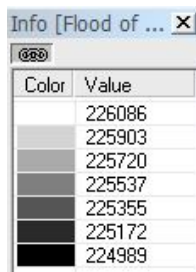
На завершальному етапі



а)



б)



в)

Рис. 3. Результати імітаційного моделювання процесу формоутворення повітряної захисної упаковки: розподіл тиску $F, \text{Па}$ вздовж осі симетрії на початковому (—) та на завершальному (---) етапах формоутворення (а); розподіл тиску в комірках на початковому етапі (б); розподіл тиску в комірках на завершальному етапі (в); 1 – загальний вигляд комірок упаковки

При подачі повітря в канал упаковки значення тиску зростає і через 0,000965 с досягає свого максимального значення $F_{max} = 228000$ Па (рис. 3, а, в).

На завершальному етапі подачі повітря, що характеризується тривалістю заповнення внутрішнього об'єму комірок упаковки 0,00514 с, значення тиску наближається і не є меншим за значення $F = 225000$ Па (рис. 3, а, б).

Висновок. Результати моделювання показали наявність чіткого розподілу тиску по зонах під час формотворення на початковому етапі. Середнє значення тиску формотворення на цьому етапі, з тривалістю заповнення внутрішнього об'єму комірок упаковки 0,00096 с, становить 216196 Па. На завершальному етапі, з тривалістю заповнення внутрішнього об'єму комірок упаковки 0,00514 с, – 225138 Па.

Дана методика дослідження процесу формотворення повітряної захисної упаковки дає змогу, відповідно до геометрії комірок:

- визначити максимальне навантаження на плівку, підібрати вид пакувального матеріалу;
- знайти оптимальні режими роботи пристроїв для виготовлення такої упаковки та геометрію комірок.

Література

1. Stevenson R., Yang Z., Jairazbhoy V. Transient Bernoulli flow in multi-port fluid devices with arbitrary geometry // Appl. Math. Modelling, in press, doi:10.1016/j.apm. 2006.11.002.
2. Karnopp D.C., Margolis D.L., Rosenberg R.C. System Dynamics, Modeling and Simulation of Dynamic Systems, third ed. Wiley Interscience, 2000.
3. Кривопляс-Володіна Л.О. Дослідження функціональних мехатронних модулів у структурі синтезу пакувальних машин // Матеріали доповідей XVII Науково-практичної конференції молодих вчених «Новітні технології пакування». 2016. С. 60–63.

До руйнування УФ-опроміненням вживаних стретч-плівок для харчових продуктів

І.В. Ніколаєва, А.Д. Петухов, д.т.н., НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Глобальна проблема забруднення навколишнього середовища полімерними відходами з кожним роком все більше турбує громадкість. І підхід до вирішення проблеми в деяких опонентів полімерів теж глобальний: заборонити виробу з полімерів як джерело небезпечних відходів. Одними з особливо небезпечних полімерних об'єктів для природи вважають тонкі плівки, у тому числі стретч для харчових продуктів. Загалом стретч-плівки (СП) приваблюють споживачів своїми гумоподібними особливостями: розтягування і «прагнення» (при знятому зусиллі) до відновлення своїх початкових розмірів і напруги розтягнення, що приводить до обтискування виробу, що пакується. Стретч-плівка є затребуваною. Товщина її в упаковках для харчових продуктів перебуває в межах від 5 до 11 мкм, тобто вона належить до категорії особливо тонких. Є і невживані СП, які довго знаходяться в рулонах і можуть бути використані в рециклінгу відходів або ліквідовані без збитку для оточення. При виготовленні СП використовують різні термопласти. Основні з них – ПВХ, LDPE і LLDPE. Зараз основні обсяги СП виробляють із поліетилену й переважно використовують для індивідуальних упаковок і збереження продуктів як у харчовій промисловості, торгівлі, так і в домашніх умовах. Річний рівень споживання СП в Україні становить приблизно 0,2 кг на одного громадянина, а в Україні в цілому – приблизно 60 тис. т. Саме стільки особливо тонкої полімерної плівки потрапляє в навколишнє середовище. Зібрати СП, яка була в контакті з їжею, практично неможливо, тому вона зі сміттям потрапляє на звалища, її поверхня «очищається» мікроорганізмами, переважна частина її стає «летючою» та розноситься вітром, а решта залишається похованою під шаром інших відходів і чекає своєї черги.

Об'єктом наших досліджень є СП, які ґрунтовно увійшли до сучасного життя. Вже існує заборона на ввезення тонких плівок (до 25 мкм) у Китай [1], що не заважає активно виробляти такі плівки на території самого Китаю. Це говорить про те, що світова спільнота ще не готова відмовитися від таких матеріалів і не знає, що робити з вжитими СП, що підтверджує актуальність теми доповіді.

Мета і завдання досліджень полягають у тому, щоб довести «летючі» СП до руйнування, коли під УФ-випромінюванням відбувається доведення плівки до часток і стану, придатного для біорозкладання під дією природних мікробіологічних і хімічних процесів [2]. У нашій експериментальній композиції СП матриця – це поліетилен високого тиску. Вона містить

також мармуровий додаток-наповнювач для впливу на певні технічні характеристики, на регулювання частин відображення і поглинання світла. Такий матеріал важко назвати біорозкладним, однак, як показало дослідження, наповнення полімерної плівки мармуром прискорює руйнування такого матеріалу під впливом УФ-променів (рис. 1, 2), приводячи матеріал до стану, зручного для біоруйнування [3].

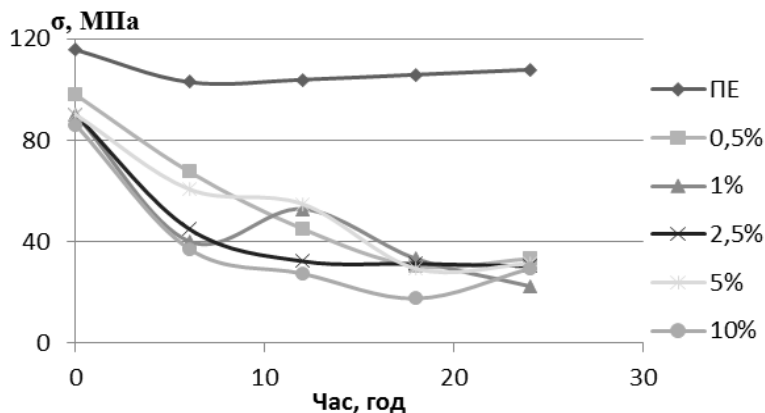


Рис. 1. Залежність міцності σ , МПа для чистого ПЕВТ та композицій із різним вмістом мармуру від часу витримки під УФ-променями

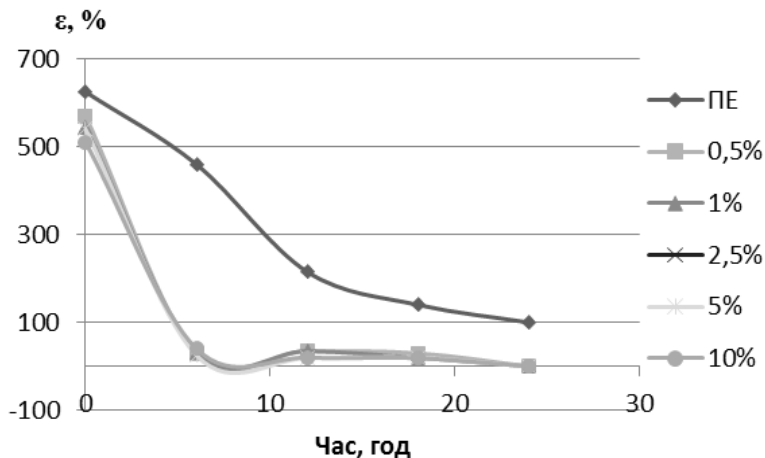


Рис. 2. Залежність відносного видовження ε , % в поєдовжньому напрямку для чистого ПЕВТ та композицій із різним вмістом мармуру від часу витримки під УФ-променями

Уже є досвід біологічного руйнування плівок з поліетилену цвілевими грибками *Penicillium simplicissimum* і *Pseudomonas*, які здатні за три місяці

частково утилізувати поліетилен, попередньо оброблений азотною кислотою. Також поліетилен швидко розкладають бактерії *Nocardia asteroides*. Деякі бактерії, що мешкають в кишечнику південної амбарної вогнівки (*Plodia interpunctella*), здатні розкласти 100 мг поліетилену за вісім тижнів. Гусениці бджолоїної вогнівки (*Galleria mellonella*) можуть утилізувати поліетилен ще швидше [4, 5].

Відповідно, зі зменшенням розміру частинок СП, швидкість її поглинання мікроорганізмами буде збільшуватися. Даніель Берд, який вивчав вплив *Pseudomonas* на поліетиленові пакети, встановив, що поліетиленовий порошок за три місяці біорозкладається на 60 %, у той час як розкладання великих зразків пакета не спостерігалось [6].

Однак, незважаючи на те, що штами даних видів мікроорганізмів існують і це може сприяти вирішенню глобальної проблеми утилізації відходів, їх кількості, доступної на даний момент, недостатньо для утилізації навіть 0,001 % пластику. Тому глобальна реалізація цього способу утилізації стане можливою не так швидко.

Висновки. Отже, «летючі» СП можна довести УФ-випромінюванням до руйнування при доведенні плівки до часток і стану, придатного для біорозкладання під дією природних мікробіологічних і хімічних процесів. Наповнення поліетилену мармуром здатне пришвидшити його біодеградацію, але при цьому відбудеться часткова втрата прозорості, а плівка набуде білого відтінку.

Література

1. В каких странах нельзя использовать полиэтиленовые пакеты // Mandria. 2018. Режим доступа: <https://www.mandria.ua/all/36693>
2. Биоразлагаемые полимерные материалы // Справочник упаковщика. Режим доступа: <https://ref.unipack.ru/13/>
3. УФ-руйнування тонких пакувальних плівок із ПЕВТ // Матеріали доповідей XVII Науково-практичної конференції молодих вчених «Нові технології пакування». Київ : Упаковка, 2018. С. 16–19.
4. Русакова Е.В. Гусеницы приспособились к скоростному перевариванию полиэтилена // N+1. 2017. Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2017/04/25/Plastic-mellonella>
5. Bombelli Paolo, Howe Christopher J., Bertocchi Federica. Polyethylene biodegradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella* // Current biology. 2017. Режим доступа: [https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(17\)30862-X](https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(17)30862-X)
6. Kawawada Karen. WCI student isolates microbe that lunches on plastic bags // The Woohoo! Report. 2009. Режим доступа: <http://woohooreport.com/2009/09/wci-student-isolates-microbe-that-lunches-on-plastic-bags/>

УДК 668.3.

Дослідження впливу властивостей клею на якість склеювання паковань із ламінованого картону

М.О. Огірко, С.Ф. Гавенко, д.т.н., УАД, м. Львів

Сьогодні стрімко розвивається ринок картонів для виготовлення паковань. Відповідно, зростають вимоги до його споживчих властивостей, які визначають якість продукції згідно з умовами її використання. Споживач хоче мати не тільки ошатно виготовлене, але й красиво оздоблене поліграфічними технологіями пакування. Для цього картон має відповідати певним вимогам щодо оптичних (білизна, глянець), друкарсько-технічних (адгезія до лаків, фарб), фізико-механічних (жорсткість, деформація при видовженні та стискуванні, стійкість до продавлювання тощо), бар'єрних характеристик. Адже технологічні характеристики картону визначають поведінку і взаємодію його з іншими матеріалами в процесі виготовлення пакувальної продукції, впливають на експлуатаційні характеристики.

Об'єктами досліджень були вибрані пакування, виготовлені з картону марки Duprint (це картон з первинних волокон, із двошаровим крейдованим покриттям з лицьового боку, на який наносили багатофарбовий друк). Частина розгортки була виготовлена з картону, покритого ламінатом. Методика експериментів передбачала склеювання розгортки паковань із використанням клейв: № 1 (на основі протеїнів тваринного походження; 60 % основної речовини, 6%-й водний розчин) і № 2 (желатиновий з вмістом поверхнево-активних речовин, вміст сухого залишку 54 %, в'язкість $2,450 \pm 2,850$ мПа.с). Умовну в'язкість клейв визначали віскозиметром типу ВЗ-4.

Процес склеювання значною мірою залежить від змочування, завдяки якому забезпечується адгезія клею до поверхні субстратів. Існує безліч теорій склеювання. Процес взаємодії клейв із задрукованою та ламінованою поверхнею розглянемо згідно з термодинамічною теорією адгезії, оскільки для автоматичного склеювання паковань використовують клей, робоча температура яких перебуває в межах 55–65 °С. Так як склеюванню підлягають поверхні, покриті ламінатом, було визначено поверхневі енергії субстратів. Для цього застосовували метод визначення критичного поверхневого натягу змочування твердого тіла за контактними кутами змочування для різних рідин на одній і тій же твердій поверхні та знаходженні функціональної залежності $\cos \theta = f(\gamma)$.

Завдання полягало в тому, щоб визначити таку величину поверхневої енергії ламінованого картону, при якій клей із певним поверхневим натягом повністю розтікається, тобто $\cos \theta = 1$. Значення косинусів крайових кутів змочування поверхонь картону клеями порівнювали з

кутами змочування тестової речовини (вода). Крім того, було досліджено кінетику проникнення рідини (дистильована вода) в структуру ламінованих картонів за допомогою приладу Emtes PDA. Принцип роботи апарату PDA базується на зміні інтенсивності ультразвукового сигналу, спрямованого до зразка картону одночасно з початком проникнення рідини в його структуру. Зразок розгортки пакування прикріплюють двосторонньою самоклеючою стрічкою на пластині та занурюють у певну рідину. Потім від передавача надсилають ультразвуковий сигнал із частотою 1 або 2 МГц (у тестах використовували частоту 2 МГц), який отримується з іншого боку пластини приймачем із високою чутливістю, а зміна інтенсивності ультразвукового сигналу обробляється комп'ютером [1].

Згідно з теорією змочування, повне змочування твердої поверхні можливе, коли в'язкість клею низька, а поверхневий натяг є меншим від «критичного» поверхневого натягу змочування поверхні [2]. Взаємодію клеїв з ламінованим картоном у процесі склеювання упаковки забезпечують міжмолекулярні взаємодії як у середині рідкої фази (когезія), так і рідини з твердим тілом (адгезія). Аналіз проведених експериментальних досліджень підтвердив гіпотезу про три можливих випадки такої взаємодії: рідина не змочує тверду поверхню; постерігається обмежене змочування; рідина розтікається по твердій поверхні [3]. Для якісного проведення процесу склеювання повинно бути забезпечене відповідне співвідношення між поверхневим натягом клею та поверхневою енергією ламінованого картону. Відомо, що умовою утворення якісного склеювання є така величина поверхневого натягу плівки (ламініату), яка перевищує значення поверхневого натягу клею на 7–10 Дин/см. Перед ламінуванням плівки були оброблені в коронному розряді для підвищення поверхневої енергії. Досліджувана плівка для ламінування після коронування підвищила свій поверхневий натяг з 34 до 47,5 Дин/см.

Отримані результати досліджень показали, що досліджувані ламіновані картони мають поверхневий натяг 45,4 Дин/см. Склеювання поверхонь картону клеєм № 1 було незадовільним, розшарування відбувалося на межі клейового шару. Проведені дослідження показали значення поверхневого натягу даного клею (48,5 Дин/см), яке на 3 одиниці перевищує поверхневий натяг ламінованого картону, чим і пояснюється недостатнє адгезійне з'єднання в процесі склеювання. Поверхневий натяг клею № 2 становив 36,5 Дин/см, що задовольняло умову утворення якісного склеювання. Клейове з'єднання розгортки пакувань було міцним, руйнування відбувалося по структурі картону.

Таким чином, можна стверджувати, що вибрана методика дослідження клеїв та ламінованих картонів дає змогу змодельовати реальну ситуацію процесів склеювання пакувань на автоматичній установці, дослідити вплив

властивостей клею на процес склеювання та спрогнозувати міцність клейових з'єднань.

Література

- 1.** PDA.C 02 PEA – MODULE PRINT EVENNESS ANALYZER. Режим доступу: https://www.emtecelectronic.de/attachments/article/309/ModulePEA_eng.pdf
- 2.** *Поццус А.В.* Клеи, адгезия, технология склеивания. Пер. с англ. под ред. Г.В. Комарова. СПб. : Профессия, 2007. 376 с.
- 3.** *Де Жен П.* Смачивание: статика и динамика // Успехи физических наук. 1987. № 151, вып. 4. С. 619–681.

Дослідження з'єднання елементів гнучкої упаковки термопластичним клейовим матеріалом

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

Розроблено конструктивну схему та створено установку, яка забезпечує отримання безперервного з'єднання термопластичним клейовим матеріалом (термоклеєм) з регульованими значеннями притискового зусилля, швидкостей подачі та температури. Схему з'єднувального пристрою зображено на рис. 1.

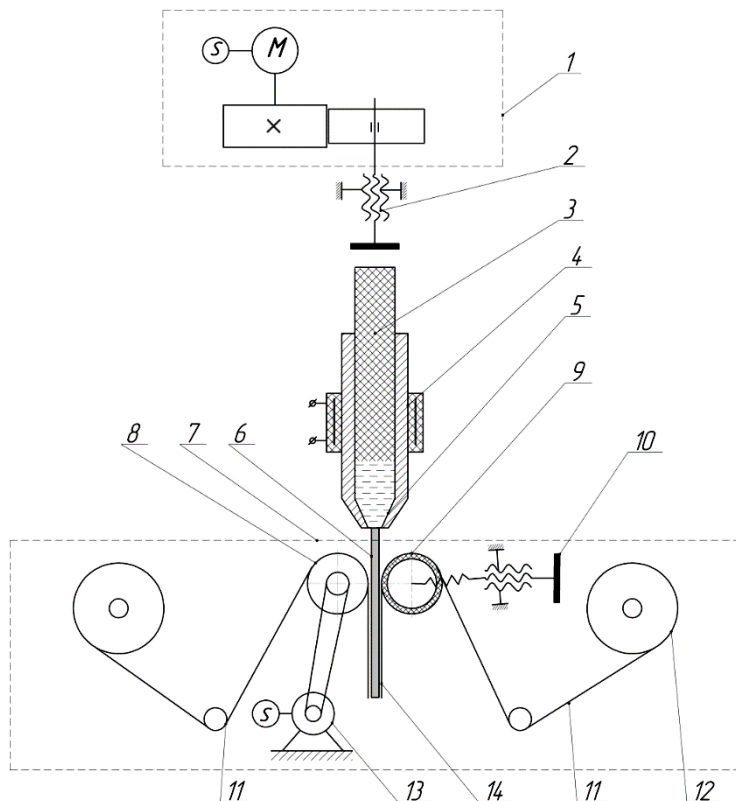


Рис. 1. Схема пристрою для з'єднання термопластичним клейовим матеріалом

Пристрій для з'єднання термопластичним клейовим матеріалом складається з привода системи подачі термоклею 1, гвинтової пари 2, яка

проштовхує пруток термоклею 3 в нагрівному каналі 4, сопла 5 та системи протяжки 7 з можливістю регулювання швидкості подачі пакувального матеріалу в діапазоні 5...100 мм/с. Систему подачі термоклею 1 виконано з можливістю регулювання швидкості подачі прутка в діапазоні 0,5...5 мм/с, що відповідає витраті термопластичного клейового матеріалу 0,04...0,4 г/с. Система протяжки 7 складається з ведучого ролика 8, гумованого веденого ролика 9, системи регулювання притискного зусилля 10, напрямних роликів 11, рулонів пакувального матеріалу 12 та привода 13. За допомогою системи регулювання притискного зусилля 10 можна змінювати притискне зусилля гумованого веденого ролика 9 в діапазоні 5...20 Н.

Пристрій для з'єднання термопластичним клейовим матеріалом працює таким чином. Привод системи подачі 1 за допомогою гвинтової пари 2 проштовхує пруток термоклею 3 до нагрівного каналу 4. В нагрівному каналі 4 під дією теплоти від нагрівального блоку прутки термоклею 3 починає плавитись. Нагрівний канал 4 закінчується соплом 5, що звужується, крізь яке розплав термоклею 6 подається між рулонами пакувального матеріалу 12, де за допомогою зусилля притискання роликів 8 і 9 відбувається з'єднання. Ведучий ролик 8 приводиться до руху за допомогою привода 13.

Описана установка з'єднує гнучкі матеріали в широкому діапазоні технологічних режимів і може бути використана при проведенні наукових досліджень та лабораторних робіт з метою встановлення заданої міцності й герметичності з'єднання, а також доцільних питомих витрат термопластичного клейового матеріалу.

Проведено серію випробувань з'єднаних зразків термопластичним клейовим матеріалом на міцність. Визначення міцності при розшаровуванні з'єданого шва проведено на смужках прямокутної форми, вирізаних із з'єднаних зразків. Для кожного виду випробування вирізано не менш ніж три зразки шириною 20 мм. Дослід проведено не менш ніж три рази. Було взято середні значення визначених величин. Межа міцності P (Н/мм) зразка з паперових стрічок, з'єднаних швом термоклею, в момент його розриву дорівнює:

$$P = N/B,$$

де N – розривне навантаження, Н; B – ширина зразка, мм.

Для підтвердження доцільності застосування з'єднання термоклеєм проведено з'єднання зразків силікатним клеєм та клеєм ПВА з наступним випробуванням на міцність. На рис. 2 зображено порівняльну діаграму міцності паперових зразків, з'єднаних різними клейовими матеріалами.

Встановлено, що для з'єднання доцільно використовувати термопластичний клейовий матеріал, оскільки з досліджених матеріалів він має найбільше значення міцності (рис. 2).

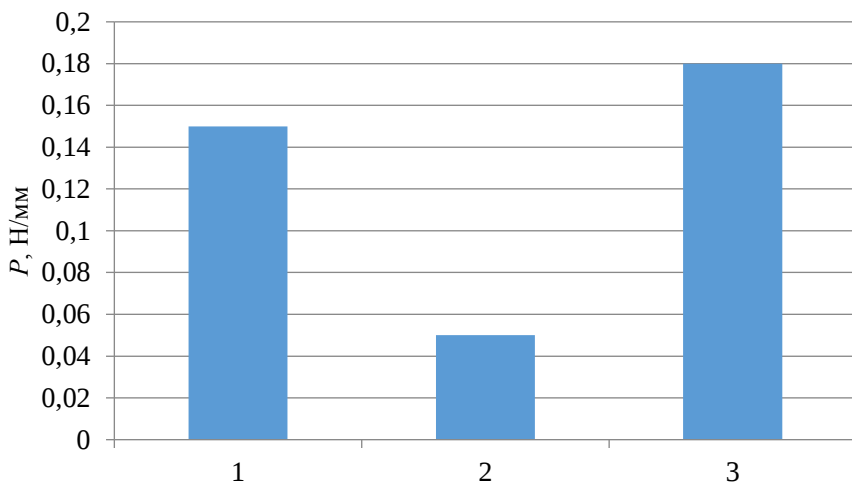


Рис. 2. Порівняльна діаграма міцності паперових зразків, з'єднаних різними клейовими матеріалами: 1 – силікатний клей; 2 – клей ПВА; 3 – термоклей

На рис. 3 наведено графік залежності розривного зусилля з'єднаних паперових зразків від витрати термопластичного клейового матеріалу.

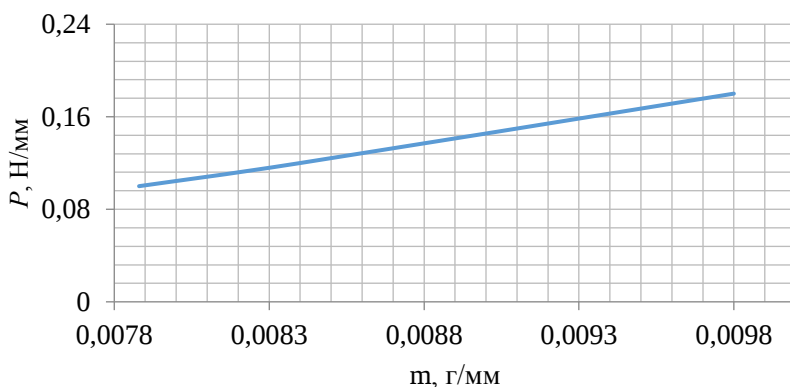


Рис. 3. Графік залежності розривного зусилля від витрати термопластичного клейового матеріалу

Визначено, що зі збільшенням витрати клейового матеріалу в розглянутому діапазоні міцність з'єднання зростає майже лінійно (рис. 3). Таким чином, дослідження показали доцільність застосування термоклеєвого з'єднання гнучких пакувальних матеріалів з регульованою міцністю.

УДК 678.023.3

Дослідження процесу формування пакувальних полімерних виробів методом лиття під тиском

Є.П. Сімончук, О.Л. Сокольський, к.т.н., НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Лиття під тиском є одним з основних методів виготовлення предметів упаковки із термопластів. Цей метод дає можливість виготовляти високоякісні вироби з різних полімерних матеріалів при відносно невеликих затратах та високій продуктивності праці. Він високопродуктивний, економічний і дає змогу повністю автоматизувати виготовлення виробів із полімерів [1].

Процес лиття під тиском складається з таких технологічних операцій: дозування, нагрів і пластикація матеріалу; закриття й утримання в зімкнутому стані форми на весь період лиття; упорскування під тиском у форму розплаву; витримка під тиском розплаву у формі; охолодження виробу у формі; розкриття форми і видалення з неї готових виробів [2].

З огляду на безліч параметрів, що впливають на виготовлення деталей, оператори, стикаючись з дефектами на відлитих виробах, часто вагаються з вибором правильного засобу для їх усунення. Дії, зроблені навмання, і поодинокі заходи рідко приводять до успіху. Основними передумовами для систематичного визначення, аналізу причин та усунення дефектів деталей є оптимальна конструкція прес-форми, правильне налаштування машини і встановлення раціональних технологічних параметрів лиття.

Метою дослідження є проведення числових досліджень процесу лиття під тиском під дією таких вхідних факторів, як температура розплаву та форми, час перебування у формі для того, щоб мінімізувати деформацію та усадку деталі.

У даній роботі використано програму Autodesk Simulation Moldflow.

Для проведення необхідних розрахунків було задано граничні та початкові умови:

- форма й розміри формуючої порожнини;
- теплофізичні, реологічні й механічні властивості перероблюваного матеріалу, які визначаються залежно від його складу і температури;
- температура розплаву на вході в форму та температура стінок форми.

Autodesk Moldflow Synergy використовує метод одиничного аналізу варіацій [3]. Для моделювання процесу лиття в системі Autodesk Simulation Moldflow було взято геометрію деталі «Кришка» (рис. 1). Перероблюваним матеріалом обрано поліетилен високого тиску «LDPE 4012: Dow Chemical USA».

За рекомендованих у програмі температурних умов (температура розплаву +220 °С, температура форми +40 °С) величина усадки по радіусу не перевищує 0,41 мм (рис. 2).

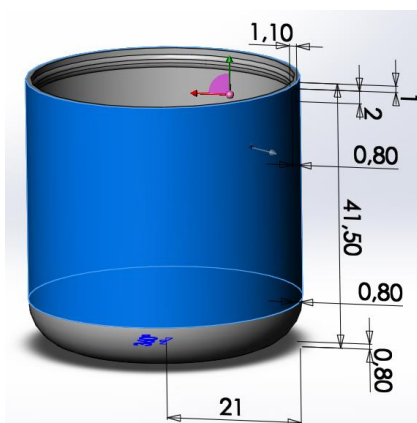


Рис. 1. Геометрична модель кришки

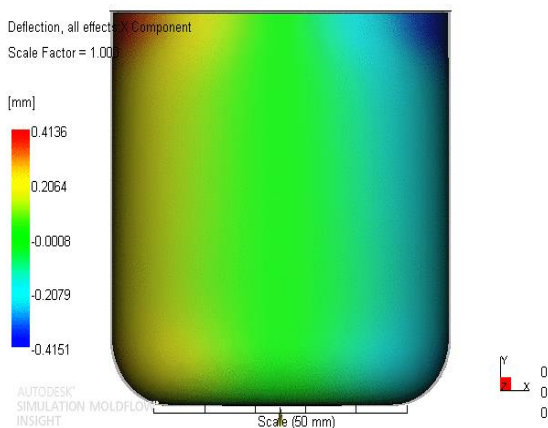


Рис. 2. Розподіл усадочних деформацій по радіусу

Для дослідження впливу температури розплаву на величину усадочної деформації було проведено числові дослідження. Встановлено, що збільшення температури розплаву підвищує величину деформації (рис. 3).

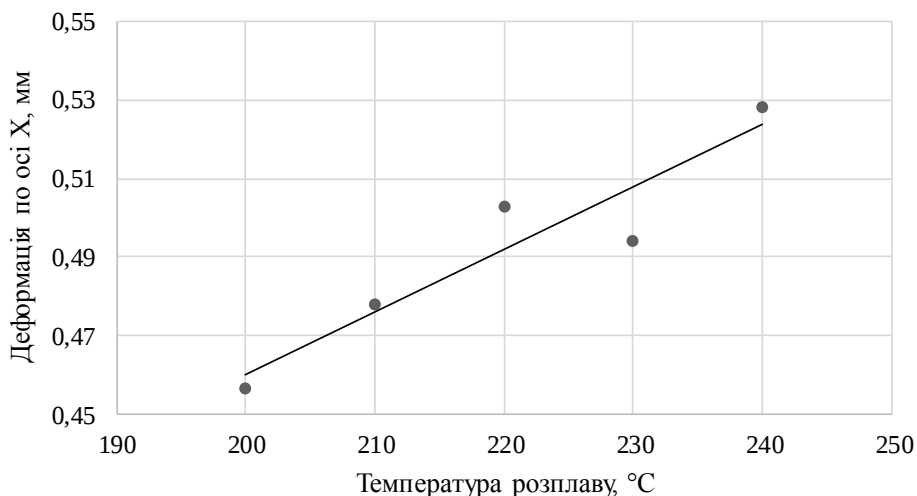


Рис. 3. Залежність усадочної деформації від температури лиття

Висновок. Моделювання процесу лиття дало змогу виявити взаємозв'язок між температурними умовами та усадкою, деформацією, часом заповнення й часом перебування деталі у формі.

Література

1. Лиття під тиском. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Лиття_пластмас_під_тиском
2. Оборудование для переработки пластмасс. справочное пособие / Под. ред. В.К. Загороднего. М. : Машиностроение, 1976. 407 с.
3. Method for predicting residual stress shrinkage. Режим доступу: <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learnexplore/caas/CloudHelp>

Огляд особливостей первинної упаковки для очних крапель

О.О. Корнєва, КНУТД, м. Київ

Питання упаковки для лікарських препаратів завжди було й залишається актуальним на різних етапах розвитку фармацевтичного виробництва. У фармацевтичній галузі вимоги до первинної упаковки представлено у Державній фармакопеї України «Матеріали, які використовуються для виробництва контейнерів» (3.1 і підрозділи) і «Контейнери» (3.2 і підрозділи) [1].

Особливо специфічною є упаковка для лікарських засобів для застосування в офтальмологічній практиці. З точки зору GMP, до таких контейнерів ставляться високі вимоги до складу, умов виробництва, чіткої термінології; матеріалів упаковки, їх фізико-хімічних властивостей і впливу на якість препаратів, стабільність у різних середовищах; особливостей технологічних процесів отримання препаратів із застосуванням різних видів упаковки та контролю за різними показниками якості; дозувальних пристроїв та ін. Водночас із боку економічної складової для кінцевого споживача первинна упаковка для офтальмологічної продукції має бути естетичною, простою та зручною в застосуванні, недоступною для дітей та економічно вигідною для виробника й споживача. Тому ощадливе виробництво набуває значної актуальності у фармацевтичній галузі та виробництві первинної упаковки й контейнерів, де в умовах обов'язкового внутрішнього виконання жорстких регуляторних вимог GMP підприємства працюють в зовнішньому гнучкому, мобільному ринковому середовищі та мають забезпечувати собі економію витрат [2].

Контейнер повинен містити не більше 10 мл препарату, якщо немає інших вказівок у приватних статтях. Конструкція контейнерів для очних крапель може бути різноманітною. Але це обов'язково ємність для препарату, дозуючий по краплях пристрій (вивільняюча крапельна система), який виконаний або спільно з контейнером (одночасно може бути і закупорювальним засобом), або додається окремо (аплікатор). Елемент закупорювання (пробка) є частиною контейнера. Основні вимоги полягають у тому, щоб упаковка захищала розчин від зовнішніх впливів (мікробна контамінація, світло, повітря), мала дизайн, що дає змогу проводити інсталяцію невеликого обсягу офтальмологічного розчину (по краплях) в кон'юнктивальний мішок ока пацієнта без ризику подразнення або пошкодження ока, і щоб її використання було зрозуміле пацієнтам.

Основними матеріалами, застосовуваними для виготовлення контейнерів для очних крапель, є скло й полімерні матеріали. В Україні скляну первинну упаковку з скла II гідролітичного класу для очних крапель: ФВ-5-18-ОС 8,5 мл, ФВл-10-12-ОС 14 мл, ФВ-10-18-ОС 14 мл, ФВ-10-20-ОС

12,5 мл, БДС-10-21,5-ОС 17 мл виробляє ПАТ «Мар'янівський склозавод» (Житомирська обл., Баранівський р-н, смт Мар'янівка). Основними недоліками скляних контейнерів є велика вага, крихкість, а також великі витрати на забезпечення необхідної чистоти [3].

Нами проведені дослідження щодо вітчизняних виробників первинної упаковки для офтальмологічних крапель з полімерних матеріалів. У таблиці наведено дані щодо асортименту продукції.

Таблиця.

Вітчизняні виробники первинної упаковки

№	Назва підприємства	Вид первинної упаковки
1	ТОВ «Фармаш», м. Київ	• флакон з контролем першого відкриття Фк2 (5; 10 мл); • флакон з контролем першого відкриття Фк1 (10; 15; 30 мл); • пробка-крапельниця вертикальна 2.2в (DIN168 GL18), діаметр горловини Ø 18 мм; • ковпачок для флаконів Bottelpack 3.1a (a).
2	НВФ «Реафарм», м. Одеса	• флакон полімерний ФПН-10-3 (10 мл); • флакон полімерний ФПН-15 (15 мл); • кришка конічна з контролем відкриття під флакон полімерний ФПН-05.
3	ПП «Леко-Плюс», м. Київ	• флакон полімерний з ковпачком з контролем першого відкриття Eye dropper (5; 10; 15; 20; 30 мл).
4	ПАТ «Фірма Еліпс», Одеська обл., Білгород-Дністровський р-н, с. Салгани	• ФВП-5 (5 мл); • ФВП-10 (10 мл); • ФВП-15 (15 мл); • ковпачки: 2.2а-13, 2.2б-13, Н-К2, ФВП тип 1.

Завод «Фармак» – єдиний в Україні, який для очних крапель використовує технологію пакування, за якою на машині за один цикл виконується кілька технологічних операцій: видування, заповнення й запаювання – BFS. Таку первинну упаковку формує екструдер в асептичних умовах під напрямленим потоком очищеного повітря [4].

Технологія «blow-fill-seal» об'єднує в одній машині такі процеси:

- екструзія (розплавлення поліетилену й видув рукава);
- формування (з рукава формується флакон);

- наповнення (після охолодження флакон негайно наповнюється розчином);
- запаювання (флакон герметизується).

На сьогодні можна констатувати, що вітчизняний ринок первинної упаковки й пакування задовольняє потреби фармацевтичної промисловості. Але існують пріоритети для поліпшення його стану шляхом імпорту сировини та матеріалів для виробництва тари і пакування, імпорту готової упаковки, створення спільних виробництв, створення централізованого органу управління в таропакувальній галузі [5].

Висновки. Таким чином, аналіз показав, що первинна упаковка очних крапель у фармацевтичній промисловості має свої особливості: малий об'єм, стерильність продукту, укомплектування крапельницями або насадками.

Після дослідження ринку асортименту первинної упаковки для очних крапель визначено, що основним матеріалом є скло та полімерні матеріали. Встановлено, що в Україні заводом «Фармак» впроваджено новітнє виробництво первинної упаковки для очних крапель – технологію BFS. Основні її переваги полягають у тому, що технологія «видування, заповнення, запаювання» є повністю автоматичним процесом та практично не потребує втручання оператора, а також забезпечує кращий захист препарату від контамінації.

Література

1. Державна Фармакопея України / Державне підприємство «Науково-експертний фармакопейний центр». 1-е вид. Харків : PIPER, 2001. 556 с.
2. Салій О.О., Кузьміна Г.І., Павлюк К.Р. Зв'язок філософій ощадливого виробництва і GMP для забезпечення якості лікарських засобів // Фізико-органічна хімія, фармакологія та фармацевтична технологія біологічноактивних речовин : збірн. наук. праць. 2018. ISBN: 978-617-7506-20-0.
3. Андрюкова Л.Н. Первичная упаковка глазных капель: состояние вопроса, проблемы и пути их решения // Фармаком. 2003. № 4. С. 1–7.
4. Упаковка для ліків (досвід фармацевтичної компанії «Фармак») // Упаковка. 2011. № 2. С. 9–11. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upakovka_2011_2_4
5. Коваленко С.М., Баранова І.І. Роль пакування при забезпеченні якості лікарських засобів // Медичне та фармацевтичне товарознавство. Харків : НФаУ ; Золоті сторінки, 2017. Ч. I. 320 с.

Експериментальна оцінка обробки гофрованого картону різанням дисковими інструментами

Т.В. Коваль, І.І. Регей, д.т.н., УАД, м. Львів

На українському ринку тари присутнє пакування з паперу, картону та гофрокартону, яке успішно конкурує з іншими видами та нарощує обсяги виробництва. Якщо в 2006 р. на виготовлення ящиків було витрачено 733,9 млн м² гофрокартону, то в 2016 р. – 871,0 млн м² [1].

Тара з гофрокартону користується великим попитом і використовується для перевезення до складських приміщень, місць реалізації та збуту побутових, промислових приладів та іншої продукції. Зазвичай її виготовляють у формі прямокутного паралелепіпеда з плоских розгортки, отриманих в процесі штанцювання заготовок [2].

Практика експлуатації штанцювального обладнання пов'язана з наявністю обмеження формату робочої зони преса, що унеможливує виготовлення розгортки габаритної гофротари з однієї суцільної заготовки. Як наслідок, таку тару виготовляють з окремих розгортки, які з'єднують в одну. Це призводить до ускладнення технологічного процесу виготовлення форматних розгортки, послаблення жорсткості та погіршення геометрії ящиків.

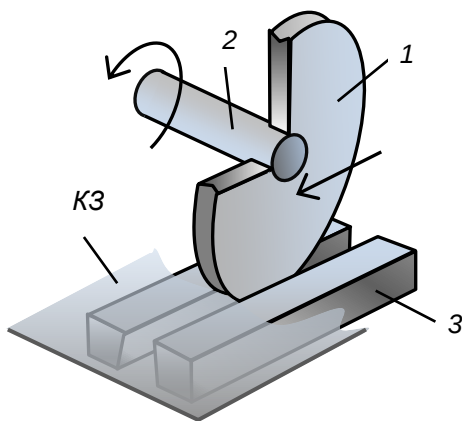


Рис. 1. *Схема засобу різання гофрокартону дисковим інструментом*

Для уможливлення виготовлення великоформатних розгортки з гофрокартону з цільної заготовки запропоновано засіб для обробки профільно-орієнтованого пакувального матеріалу способом ножичного різання. Він складається з дискового інструмента 1 (рис. 1), зафіксованого

на валу 2, протиножів 3, закріплених на столі паралельно один до другого. Розмір щілини між різальними крайками протиножів 3 відповідає товщині дискового інструмента 1, який з ними контактує боковими поверхнями. У результаті горизонтального переміщення та обертання дисковий інструмент прорізує паз у заготовці з гофрокартону КЗ.

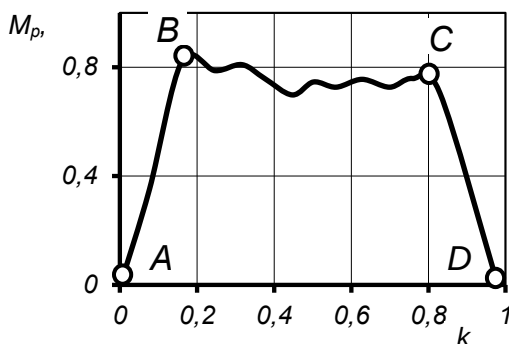


Рис. 2. Типова діаграма зміни моменту сили різання протягом фази прорізування пазів у гофрокартоні

Застосування дискових інструментів має ряд переваг над традиційними: просто вирішується задача переналагоджування вузла різання на формат розгортки, ширину та число пазів, розмір клапанів.

Для дослідження процесу виготовлення пазів у гофрокартонних заготовках був спроектований та виготовлений експериментальний стенд, укомплектований дисковим інструментом, який змонтований на рухомій каретці, протиножами, приводом вала, засобами вимірювання силових навантажень. Змінними параметрами в дослідженнях були: товщина гофрокартону, величина перекриття дискового ножа протиножами, товщина диска та форма його різальних крайок, розташування профілів гофрокартону відносно напрямку пазів, лінійна швидкість переміщення каретки з дисковим інструментом.

Експериментальним шляхом встановлено, що фаза прорізування пазів в гофрокартоні включає окремі ділянки зміни моменту сили різання: AB – врізання інструмента (рис. 2), BC – послідовна обробка матеріалу та завершення різання CD (на діаграмі k – відносний час). На ділянці BC спостерігається відносна стабільність значень моменту сили різання.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що на величину моменту сили різання впливає товщина гофрованого картону та розташування його профілів відносно напрямку різання. Так, при обробці матеріалу завтовшки $\Delta = 2$ мм вздовж профілів середнього шару

зафіксовано момент сили різання $M_p = 0,73$ Нм (рис. 3а), а впоперек профілів – $M_p = 1,0$ Нм. При різанні гофрокартону завтовшки $\Delta = 7$ мм силове навантаження зростає, відповідно, в 4,1 та 3,4 раза.

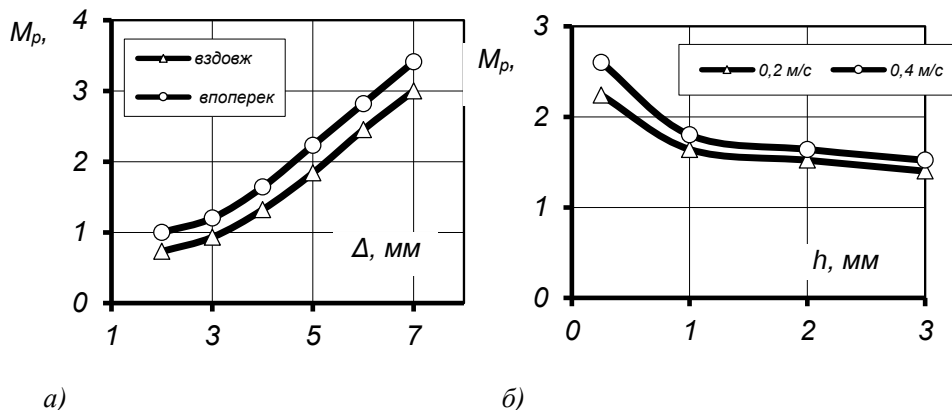


Рис. 3. Залежність моменту сили різання гофрованого картону від його товщини вздовж і впоперек профілів (а) та від величини перекриття дискового ножа протиножами (б) на різних лінійних швидкостях різання

Отримані результати експериментальних досліджень засвідчують, що на момент сили різання впливає також і величина перекриття дискового інструмента протиножами. Встановлено, що за умови перекриття $h = 0,25$ мм обробка тришарового гофрованого картону різанням відбувається прикладанням моментів сили $M_p = 2,24; 2,6$ Нм на лінійних швидкостях каретки, відповідно, $V = 0,2; 0,4$ м/с (рис. 3б). Зі збільшенням h в 12 разів значення M_p зменшуються в 1,6–1,7 раза. Результати експериментальних досліджень будуть використані при проектуванні технологічного обладнання.

Література

1. Кривошей В.Н. Упаковка в украинских реалиях. Львов : УАП, 2017. 288 с.
2. Шредер В.Л., Пилипенко С.Ф. Упаковка из картона. Киев : ИАЦ «Упаковка», 2004. 560 с.

Проблеми узгодження параметрів зберігання газованих напоїв із міцністю скляної тари

О. Флорескул, О.В. Ватренко, д.т.н., ОНАХТ, м. Одеса

В асортименті виноробної промисловості України ігристі вина представлені великою кількістю марок і брендів. Однак у ряді випадків виникає проблема розриву пляшок з ігристим вином під час їх зберігання та транспортування. Причиною розриву скляної тари є занадто високий тиск CO_2 в ній. При цьому крім втрати продукту виникає небезпека травмування людей.

Існує два аспекти цієї проблеми: один пов'язаний зі скляною тарою, другий – із технологією виробництва газованого напою. У даній роботі розглядається другий аспект. На різних виноробних підприємствах, які виробляють ігристі вина за методом «шарма» (штучної шампанізації), тиск у пляшках із вином може значно відрізнятись. Так, вимірювання показали, що на Одеському заводі шампанських вин тиск у пляшках може сягати 5,5...5,7 бар, водночас на «Винтресті» («Французький бульвар») – 4,4...4,7 бар. Проведений аналіз показав, що на зазначених підприємствах використовуються різні технологічні схеми отримання ігристих вин.

Об'єктом досліджень є умови виробництва та фасування ігристих вин.

Предметом досліджень є фізичні параметри вина перед фасуванням.

Проблема періодично виникає на заводах з виробництва ігристих вин, зокрема на Одеському заводі шампанських вин. Тому всі вихідні дані роботи було взято, а самі дослідження – проведено цьому заводі. За схемою, яку використовують на Одеському заводі шампанських вин, перед подачею на фасувальний автомат вихідний виноматеріал проходить послідовну обробку у трьох акратофорах. Із четвертого акратофора вино йде на фасування.

Було поставлено завдання зменшити тиск у скляній тарі для подальшого надання технологічних параметрів регулювання фасувального автомата надбарометричного типу. Параметри регулювання цього автомата залежать безпосередньо від параметрів вина в акратофорі, з якого воно йде на фасування.

Експеримент проводився у виробничих умовах. Параметри тиску в лінії було зменшено, при цьому тиск у тарі склав 3,5–3,8 кг/см², що недостатньо для пляшок з ігристим вином.

Надалі тиск в акратофорах поступово збільшили, при цьому тиск у тарі склав 4,8–5,0 кг/см². Це позитивно вплинуло на кількість розривів, однак цей тиск є дещо завищеним.

На рисунку графічно показано параметри підготовки вина згідно з проведеними експериментами в різних діапазонах тиску в акратофорах.

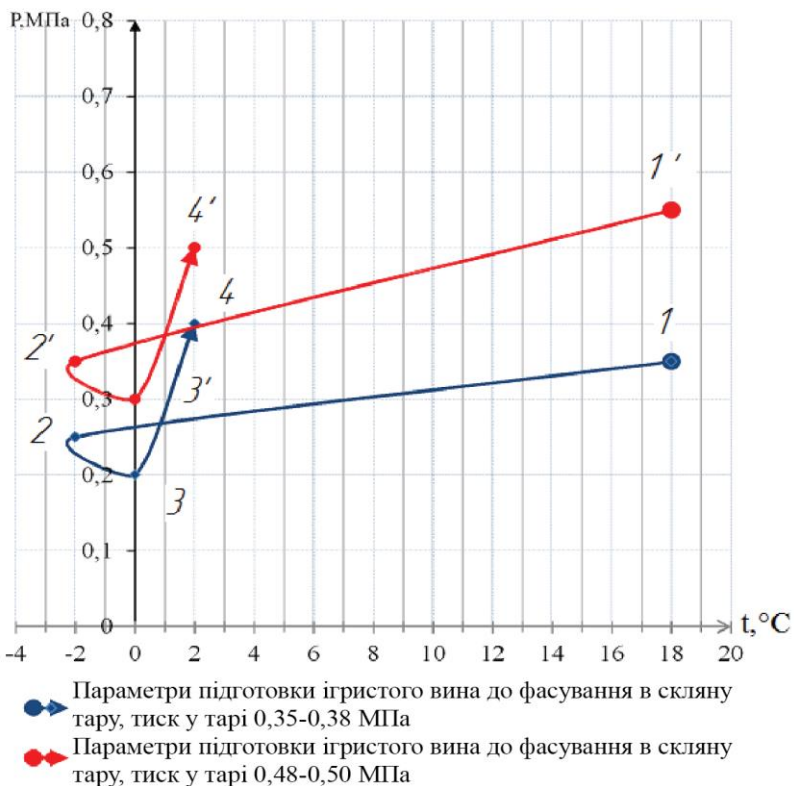


Рисунок. Зміна параметрів підготовки ігристого вина на різних стадіях: 1, 1' – вторинне бродіння; 2, 2' – обробка холодом; 3, 3' – виготовлення марки ігристого вина; 4, 4' – перебування вина в акратофорі, з якого воно йде на фасування

Аналіз отриманих результатів досліджень дав змогу зробити такі висновки:

- 1) тиск у тарі залежить від фізичних параметрів вина в останньому акратофорі перед фасувальним автоматом та параметрів налагодження в фасувальному автоматі;
- 2) тиск у тарі залежить від температурних умов у виробничому приміщенні, особливо в цеху розливу;
- 3) отримані в результаті експерименту параметри підготовки ігристого вина показують напрям подальшого регулювання фізичних параметрів вина в останньому акратофорі перед подачею на фасувальний автомат. Отже, технологічний процес виробництва ігристого вина слід провести при параметрах тиску, дещо нижчих від тих, що показані верхньою кривою;
- 4) остаточне регулювання фізичних параметрів треба виконувати на фасувальному автоматі.

Екологічна альтернатива у сфері пакувальних матеріалів

С.І. Кардаш, О.В. Ганоцька, к. мист., ХДАДМ, м. Харків

Найбільш шкідливими, з позиції екології, є відходи з полімерних матеріалів, оскільки такі види пакувального матеріалу, як папір, картон, скло, дерево, метал, на відміну від полімерів, можуть повторно використовуватися після відповідної переробки або легко знищуватися без виділення шкідливих речовин.

За останнє десятиліття світове виробництво і споживання полімерних матеріалів зросло більш ніж на 50 %. Приблизно 75 % вироблених полімерних матеріалів використовується для виробництва тари та упаковки [1].

Відомо, що:

- пластмаса виробляється в кількості понад 90 млн т на рік, і 80 % від цієї кількості ховають у землі;
- товщина шару відходів в смітєвих плямах становить до 10 м, і вони постійно зростають;
- за оцінками фахівців, щороку через пластикові відходи гине близько мільйона морських птахів і близько ста тисяч черепах і морських ссавців, таких як тюлені, морські леви, кити й дельфіни.

Головна властивість еко-упаковки – мінімальна шкода, що завдається екології під час утилізації, а в ідеалі – повна її відсутність. Для вирішення цього завдання ведуться активні розробки в декількох напрямках.

У своєму проєкті я пропоную ще один матеріал для біорозкладної упаковки, а саме стебла соняшнику. Соняшник належить до трійки найбільш вирощуваних у світі олійних культур та має значний вплив на загальний олійний баланс. Обсяги його виробництва поступають соєвим бобам та ріпаку. Загалом визначено, що світове виробництво олійного насіння у 2017–2018 роках сягнуло 577 млн т [2].

Соняшник став традиційною культурою для сучасного аграрного бізнесу в Україні. Цьому сприяв стабільний попит зовнішніх ринків на соняшникову олію. Як наслідок, привабливі закупівельні ціни внутрішнього ринку на насіння соняшнику сприяли розширенню посівних площ та запровадженню сучасних технологій його вирощування [3]. Варто зауважити, що стебла соняшнику містять від 43 до 48 % целюлози .

Після складання врожаю соняшнику на полях тисячами залишаються їх стебла, які надалі перемелюють із землею перед наступним посівом.



Рис. 1. Принцип роботи комбайна зі збирання соняшнику

Основні функції стебла – опорна й провідна. У стеблі розрізняють первинну кору та стелу (центральный циліндр). Збір врожаю соняшника проводиться після висихання рослин природним шляхом і відбувається з вересня по жовтень [4]. Стебло висушної рослини складається з двох структур: внутрішня губчаста субстанція (стела) нагадує пінопласт, а зовнішня кора – більш щільна й схожа за структурою на бамбук. Обидві ці частини можна використовувати в упаковці та представити як нову альтернативу пакувальних матеріалів.



Рис. 2. Конструкція утримувача для пляшки

Матеріал такого роду може використовуватися як у промисловій сфері (як заміна того ж пінопласту), так і для екологічної дизайнерської упаковки споживчих продуктів.



***Рис. 3.** Утримувач для пляшки*

Фіналом проекту стало створення утримувача для пляшки (рис. 2, 3). Оскільки матеріал має жорсткий каркас і м'яку серцевину, він зможе найкраще зберегти тару в цілісності при транспортуванні. В перспективі її можна застосовувати як групову упаковку й використовувати утримувач в якості однієї комірки в системі. Така система змогла б замінити полімерні ящики для перевезення пляшок. Такий утримувач має естетичний зовнішній вигляд, який зможе стати елементом оригінальної упаковки бренда. Конструкція виробу представляє собою сплетені льняним шпагатом половинки стебла. Дно вирізане із шапки соняха, висушеної під пресом. У фіналі ми отримали повністю екологічне пакування, яке без проблем піддається утилізації та вторинній обробці.

Література

1. Полімери в пакувальній галузі // Тарапласт. 19 січня 2015. Режим доступу: www.taraplast.com.ua/articleview.php?id=440
2. Маслак О. Ринок соняшнику нового врожаю // Агробізнес сьогодні. 5 грудня 2016. Режим доступу: agro-business.com.ua/agro/ekonomichniy-hektar/item/7947-gynok-soniashnyku-novoho-vrozhaiu.html
3. Яценко О. Високоолеїновий соняшник як інноваційний напрям розвитку сільськогосподарського підприємства // Приазовський економічний вісник. 2018. Вип. 5 (10). С. 223–227. Режим доступу: rev.kpu.zp.ua/journals/2018/5_10_uk/40.pdf
4. Анатомическое строение стебля // Большой практикум по анатомии растений. Режим доступа: e-lib.gasu.ru/eposobia/papina/bolprak/R_4_2.html

Полімерна композиція, здатна до біорозкладання

Ж.В. Оверченко, Л.І. Мельник, к.т.н., НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ

На даний час велике розмаїття матеріалів застосовується в пакувальній промисловості, зокрема метали, скло, дерево, папір, полімери або їх комбінації. Більшість з них надходять до потоків комунальних відходів після закінчення терміну їх служби [1]. Щороку в Україні утворюється 11–13 млн т твердих побутових відходів (ТПВ) [2]. Серед цих відходів полімери посідають одне з провідних місць. Загалом кількість відходів пакувальної галузі складає велику частину всього твердого сміття. Серед усіх пакувальних матеріалів найбільший інтерес викликають саме полімерні композиційні матеріали, здатні до біорозкладання, тому що проблема утилізації використаних одноразових пакувальних матеріалів стає критичною в наш час.

На сучасному етапі розвитку світової промисловості лише мала частина товарів, у тому числі полімерного одноразового посуду, здатна до остаточної утилізації. Тому одним із рішень проблеми утилізації полімерних відходів є використання біорозкладних полімерів.

Проведено дослідження впливу біодобавок у поліпропіленовій композиції на здатність матеріалу до розкладання. Основу полімерної суміші склав ПП марки 21030-16 (ГОСТ 26996-86) [3]. До композиції також було додано нуклеюючий агент для покращення технічних властивостей матеріалу: прискорення швидкості екструзії, зменшення усадки та підвищення прозорості виробу. Як нуклеюючий агент було використано 1,3:2,4-дибензиліден-сорбітол (DBS). Як біодеградууючу добавку було використано добавку D2W, в основі якої є стеарат заліза, також у добавці присутні солі перехідних металів (кобальту, марганцю, міді), що створюють вільні радикали, які ведуть до появи гідро- і пероксидів у формі альдегідів, кетонів, ефірів, спиртів, карбонових кислот. Саме ці продукти піддаються біорозкладанню. Склад полімерної композиції (у масових частках) наведено в табл. 1.

Таблиця 1.
Рецептура полімерної композиції

Назва компоненту	Масова частка, %
ПП 21030-16	98
Біодеградууюча добавка D2W	1
Нуклеюючий агент Irgaclear® D	1

Було проведено дослідження зміни фізико-механічних характеристик плівок на основі розробленої полімерної композиції. Термін

випробовувань склав вісім місяців. Було проведено дослідження зі зміни зусилля проколу й розриву в поперечному та поздовжньому напрямках. Випробування зразків біорозкладної поліпропіленової композиції проводились у ґрунті та в кліматичній камері. Результати випробувань відображено в табл. 2 і 3.

Таблиця 2.
Результати випробувань зразків, що перебували в ґрунті

	Товщина зразка, мкм	Зусилля проколу, Н,	Зусилля розриву, поздовжній напрямок, Н	Зусилля розриву, поперечний напрямок, Н	Зусилля проколу, Н	Зусилля розриву, поздовжній напрямок, Н	Зусилля розриву, поперечний напрямок, Н	Зусилля проколу, Н,	Зусилля розриву, поздовжній напрямок, Н	Зусилля розриву, поперечний напрямок, Н
1	0,12	0,12	1,722	0,92	0,12	1,698	0,90	0,1	1,410	0,72
2	0,10	0,2	1,662	1,182	0,2	1,589	1,011	0,15	1,356	0,97
3	0,15	0,32	4,324	1,968	0,25	2,762	1,734	0,2	2,244	0,888
4	0,18	0,5	7,589	7,088	0,25	4,734	2,166	0,1	2,488	1,460
5	0,11	0,6	5,55	3,556	0,25	3,64	2,54	0,1	2,098	1,020

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновки про здатність матеріалів до розкладання. За час дослідження відбулося значне зниження фізико-механічних характеристик пакувальних матеріалів. У деяких зразків зниження фізико-механічних характеристик склало 70–80 %. Найменше піддалися розкладанню зразки під номерами 1 і 2, причому як у ґрунті, так і в кліматичній камері зміна фізико-механічних характеристик склала від 18 % до 41 %. Зниження механічних показників зразків, що перебувають у кліматичній камері, відбувається трохи швидше, ніж зразків, що перебувають у ґрунті.

Таблиця 3.

Результати випробувань зразків, що перебували в кліматичній камері

	Товщина зразка, мкм	Зусилля проколу, Н,			Зусилля розриву, поздовжній напрямок, Н			Зусилля розриву, поперечний напрямок, Н		
		Лютий			Квітень			Вересень		
1	0,12	0,12	1,722	0,92	0,11	1,567	0,836	0,09	1,015	0,689
2	0,10	0,2	1,662	1,182	0,2	1,546	1,019	0,15	1,382	0,510
3	0,15	0,32	4,324	1,968	0,30	4,198	1,784	0,2	2,168	0,771
4	0,18	0,5	7,589	7,088	0,47	5,64	2,954	0,25	1,906	1,406
5	0,11	0,6	5,55	3,556	0,4	3,774	2,61	0,1	2,248	1,47

Література

1. Song J.H., Murphy R.J., Narayan R., Davies G.B.H. Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. 2009.
2. Тверді побутові відходи в Україні: Потенціал розвитку. Сценарії розвитку галузі поводження з твердими побутовими відходами. Підсумковий звіт // Міжнародна фінансова корпорація (IFC). 2015.
3. ГОСТ 26996-86. Полипропилен и сополимеры пропилен. Технические условия (с Изменениями № 1, 2).

Управління фарбоперенесенням у флексографічному друці шляхом налаштувань флексографічної друкарської машини

О.П. Шостачук, ВПІ НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Флексографічний друк дає змогу задруковувати полімерні, паперові, картонні пакування і пакування з фольги швидко, економічно вигідно [1, 2] і з достатньою якістю. Проте зі зростанням вимог замовників до якості продукції актуальними стають дослідження, спрямовані на виявлення впливу факторів на процеси перенесення фарби у флексографічному друці. На рисунку зображено схему взаємозв'язку факторів, які стосуються налаштувань друкарської машини і впливають на фарбоперенесення у флексографічному друці. Вони розподілені на три загальні групи та стосуються: 1) ракеля; 2) растрового анілоксного валика (АВ); 3) безпосередньо параметрів налаштування друкарської секції. У кожній групі виділено загальні підгрупи, які у свою чергу поділяються на окремі фактори, що впливають на такі показники фарбоперенесення, як товщина шару фарби на відбитку, чіткість країв растрових елементів, точність передачі тональності зображення та рівномірність задруковування суцільних ділянок зображення.

Властивості ракеля (твердість) та параметри встановлення ракеля (сили притиску до АВ, кут нахилу, паралельність кромки ракеля осі АВ [3]) впливають на ступінь спрацювання ракеля, що визначає товщину шару фарби на відбитку, а також рівномірність нанесення фарби.

Стосовно растрового АВ, встановлено такі підгрупи факторів, як ступінь спрацювання та спосіб виготовлення АВ, які визначають ряд властивостей АВ (гладкість, відшліфованість поверхні, гладкість стінок растрових комірок, твердість) і впливають на товщину шару фарби на відбитку. До параметрів растра АВ віднесено лініатуру растра та розташування його відносно осі АВ (кут нахилу растру) [4]. До параметрів растрової комірки зараховано товщину растрових перегородок, форму та об'єм растрових комірок і відношення глибини комірки до площі поверхні [2]. Під час встановлення ракеля регулюють силу притискання АВ до дукторного валика. Всі перераховані фактори визначають товщину фарбового шару на відбитку.

До налаштувань друкарської секції належать налаштування швидкості (швидкості роботи машини та взаємної швидкості обертання валиків і циліндрів) та тиску на фотополімерну друкарську форму (ФДМ) [4]. Налаштування швидкості визначають товщину шару фарби на відбитку, а налаштування тиску – чіткість країв растрових елементів, точність передачі тональності зображення та рівномірність задруковування суцільних ділянок зображення.

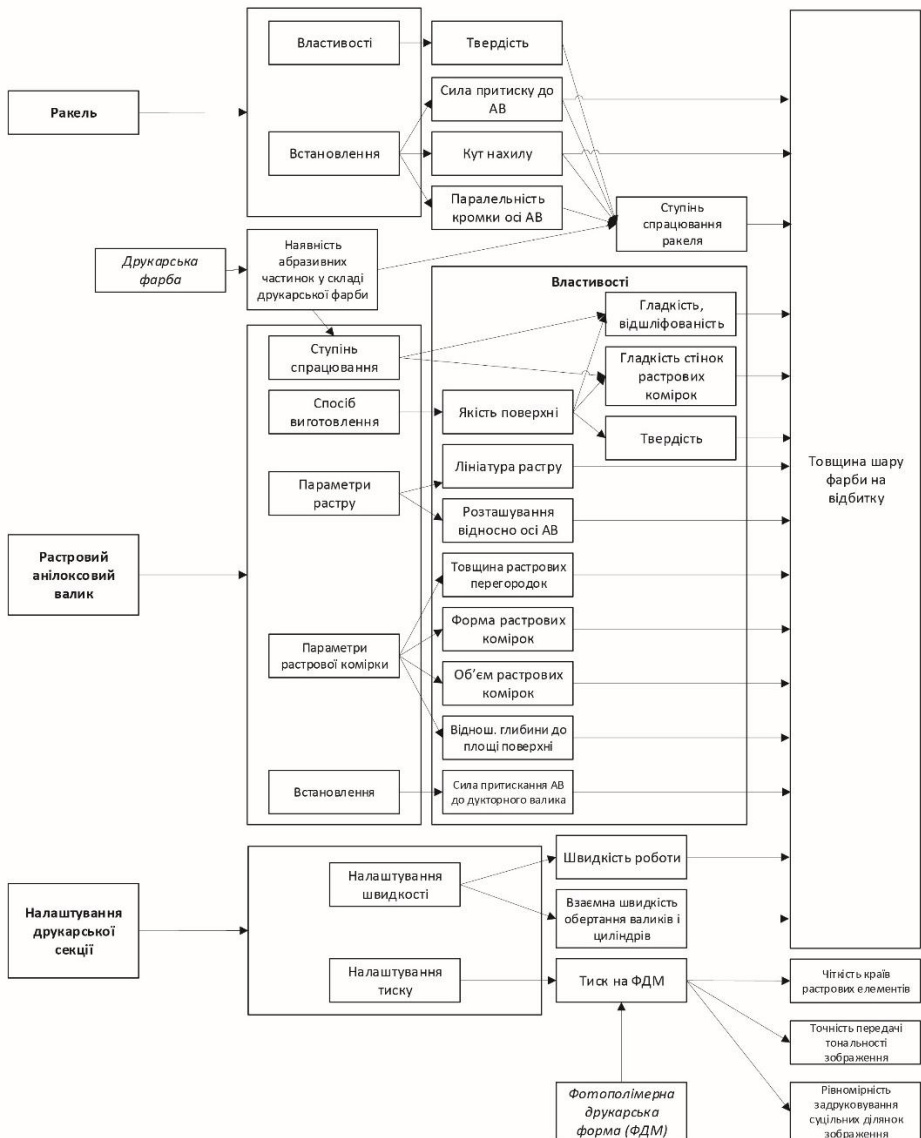


Рисунок. Взаємозв'язок факторів, які стосуються налаштувань друкарської машини і впливають на фарбоперенесення у флексографічному друку

Крім зв'язків факторів всередині виокремлених груп і підгруп, встановлено також взаємозв'язки факторів між різними групами. Наприклад, наявність у складі фарби абразивних частинок веде до пришвидшення процесів спрацювання растрового анілоксового валика і ракеля. Особливо це стосується металізованих фарб.

Таким чином, шляхом підбору налаштувань друкарської машини з урахуванням встановлених зв'язків між факторами впливу та параметрами фарбоперенесення, можна досягти підвищення якості відбитків у флексографічному способі друку.

Література

1. *Крауч Дж.* Основы флексографии. М. : Изд-во МГУП, 2004. 165 с.
2. Техника флексографской печати : учеб. пособие / Пер. с нем.; под ред. В.П. Митрофанова, Б.А. Сорокина. М. : Изд-во МГУП, 2000. 192 с.
3. Флексография. Принципы и практика / Пер. с англ.; под ред. Е.И. Касперской. Киев : Техника, 1973. 272 с.
4. *Ярема С.М.* Флексографія: Обладнання. Технологія : навч. посібник. Київ : Либідь, 1998. 312 с.

**Вплив способів нанесення фарби на колірний тон відбитків,
отриманих на тонованих пластиках при виготовленні паковань**
*М.О. Карась, К.О. Чепурна, к.т.н., НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»,
м. Київ*

Сучасний ринок пакувальної та сувенірної продукції вимагає швидкого нанесення зображення на поверхню виробу. Класичні способи друку призначені для задруковування плоских поверхонь, а спосіб тамподруку дає можливість друкувати на виробах майже будь-якої форми, а також наносити зображення на поверхні, які практично не піддаються декоруванню іншими способами друку. Перспективним напрямом є застосування тампонного друку при декоруванні іграшок та фаянсового посуду різної геометрії, виробів сувенірного призначення (ручки, кружки, термоси, пакування з дерева, металу або полімерів).

Як основу для друкування застосовують кераміку, пластмасу, скло, тканини та інші матеріали, що мають відмінний від білого колір і різні властивості поверхонь. Тому для контролю кольору важко, а іноді й неможливо застосувати вимірювальні прилади, і дуже часто контроль кольору здійснюється візуально. У цьому разі оцінка відтворення колірних показників зображення суб'єктивна й залежить від інди-відуальних особливостей сприйняття кольору конкретним спостерігачем (наприклад, порогу сприйняття людиною світлин, колірного тону, насиченості), а також від зовнішніх умов (освітлення приміщення, колірний тон задруковуваного матеріалу, крайовий контраст).

При виготовленні паковань та сувенірів компанії найчастіше використовують корпоративні кольори, як правило, пантони. Труднощі відтворення пантонного кольору тампонним друком полягають у тому, що зразки кольору з каталогу кольорів Pantone виготовлені офсетним друком на різних видах паперів, а друкування здійснюється на поверхнях виробу/матеріалу, які мають відмінні від паперу колірні характеристики та властивості. Досягти максимальної ідентичності кольору на відбитку щодо оригіналу вкрай складно. Відтворення кольору, обраного за каталогом Pantone, на тонованих невоситуваних поверхнях у тампонному друці передбачає деякі похибки, що обумовлено такими факторами [1]:

- матеріал задруковування відрізняється від основи оригіналу (наприклад, має іншу шорсткість та колір поверхні);
- у тампонному друці застосовуються інші барвники/пігменти у фарбах, що впливає на спектральні характеристики фарб.

Відомо, що оптична щільність кольору на відбитку в тамподруці залежить від коефіцієнта перенесення фарби, а графічна точність відтворення зображення – від сили притиску тампона до контактуючих поверхонь.

Для досягнення максимальної ідентичності кольору на тонованих невисотуваних поверхнях (полімери різного кольору, дерево, скло, метал) було запропоновано методику нанесення фарбових шарів тампонним друком. Методика нанесення фарби передбачає три способи: однократне нанесення фарби; двократне (у два удари); нанесення білого підкладу під основний фарбовий шар.

Для друку було обрано дві однокомпонентні фарби фірми «Marabu» Tampraplus: світлу жовту фарбу TPL 922 та звичайну білу фарбу TPL 970 як підкладу.

За даними ISO 12647-2:2013, показник відхилення колірного тону ΔH для триадних фарб визначено в межах трьох одиниць, відповідно для тампонного друку даний показник не є стандартизованим, тому при оцінюванні колірного тону беруться до уваги також супутні показники, такі як світлота, колірне відхилення та візуальне сприйняття. На зразках 4 та 9 при однократному нанесенні фарби показник відхилення колірного тону ΔH відповідав нормам для офсетного друку, тобто колір відтворювався максимально близько до оригіналу (рис. 1). Відповідно, на темних поверхнях відхилення по колірному тону ΔH було значним. За еталон для порівняння відтворення колірного тону було взято білий пластик.

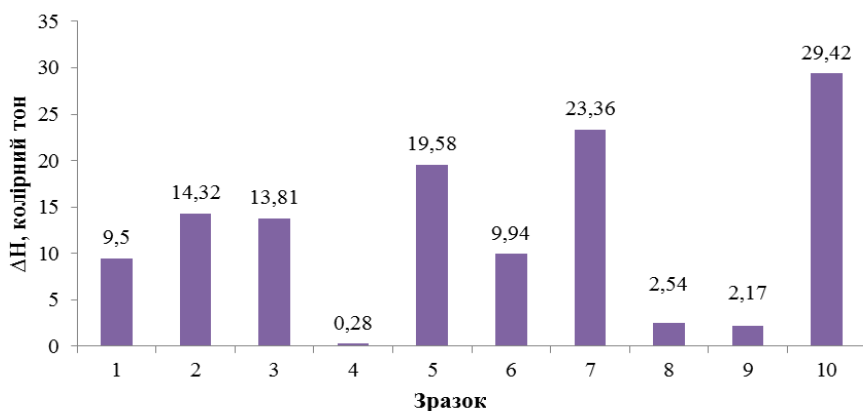


Рис. 1. Вплив задрукованого матеріалу на показник колірного тону ΔH при однократному нанесенні фарби: 1 – крейдований папір; 2 – синій полімер; 3 – червоний полімер; 4 – жовтий полімер; 5 – зелений полімер; 6 – прозора плівка; 7 – синя плівка; 8 – метал; 9 – скло; 10 – дерево

Двократне нанесення фарби дає змогу зменшити колірне відхилення (рис. 2), але для деяких зразків (1, 2, 5, 6) подвійне нанесення фарбового шару не забезпечує мінімальне відхилення колірного тону. Друк по білому

підкладу забезпечує практично точне відтворення кольору на поверхнях, які мають вищий показник світлоти та меншу насиченість (рис. 3). Отже, для точного відтворення кольору на темних та насичених поверхнях можна рекомендувати використовувати білий підклад.

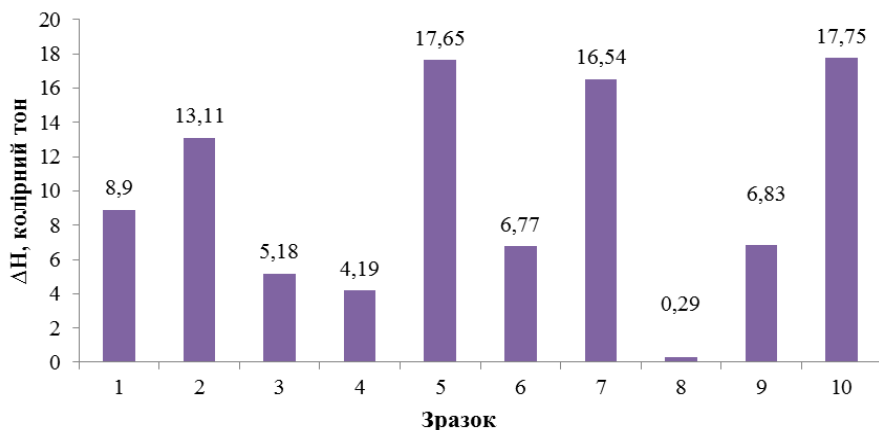


Рис. 2. Вплив задрукованого матеріалу на показник колірного тону ΔH при двократному нанесенні фарби: 1 – крейдований папір; 2 – синій полімер; 3 – червоний полімер; 4 – жовтий полімер; 5 – зелений полімер; 6 – прозора плівка; 7 – синя плівка; 8 – метал; 9 – скло; 10 – дерево

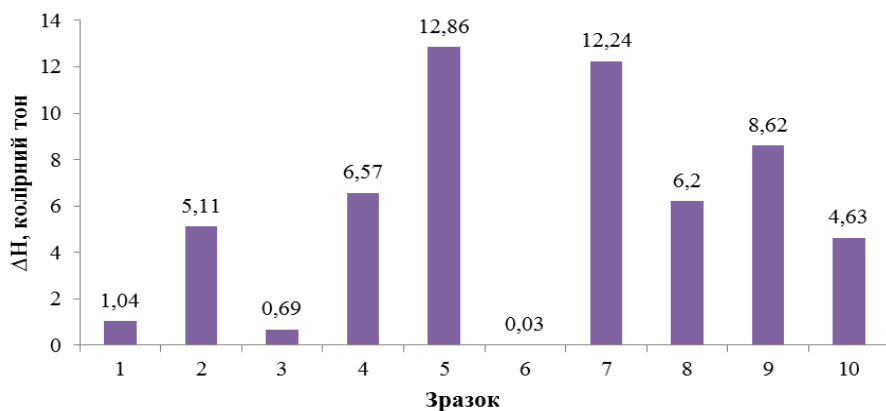


Рис. 3. Вплив задрукованого матеріалу на показник колірного тону ΔH при нанесенні фарби на білу підкладку: 1 – крейдований папір; 2 – синій полімер; 3 – червоний полімер; 4 – жовтий полімер; 5 – зелений полімер; 6 – прозора плівка; 7 – синя плівка; 8 – метал; 9 – скло; 10 – дерево

Висновок. Встановлено взаємозв'язок способу нанесення фарби (однократне нанесення, двократне нанесення фарби та використання білого підкладу під основний фарбовий шар) на показник колірного тону. На основі отриманих результатів дослідження розроблено рекомендації щодо вибору оптимальної технологічної схеми процесу тампонного друку по тонованих поверхнях з метою забезпечення мінімального зсуву колірного тону.

Література

1. *Сорокин Б.* Растровая и многокрасочная печать тампонная печать // Мир этикетки. 2003. № 2.

Удосконалення кулачкового механізму привода подавання паковань у зону друку тамподрукарської машини

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

За допомогою тампонного друку в сучасній промисловості задруковують велику кількість паковань. На підприємствах, як правило, використовують напівавтоматичні тамподрукарські машини. У нешвидкісних машинах вироби в зону друку подаються вручну, а за необхідності задруковувати велику кількість однакових паковань або у швидкісних машинах – за допомогою транспортувальних пристроїв. Такі транспортувальні пристрої здійснюють крокове переміщення, а також є опорною поверхнею під час друку. Тому до цих пристроїв висувають такі вимоги: 1) точність позиціонування в зоні друку відносно друкувальних елементів; 2) задане співвідношення періоду вистою до повного кінематичного циклу за вимогами технологічного процесу; 3) забезпечення необхідного закону періодичного руху для плавного руху транспортера без різких прискорень і коливань.

Перерахованим вимогам до транспортувальних пристроїв відповідають кулачкові механізми періодичного повороту. У швидкісних тамподрукарських машинах під час роботи кулачкового механізму неточності виготовлення профілю кулачка значно впливають на динаміку. Тому ідеєю роботи є пропозиція зменшити число обертів ведучого валу зі збереженням періоду повороту й періоду вистою веденої ланки за допомогою виконання профілю кулачка з декількома зонами змінних радіус-векторів.

Така ідея дає можливість покращити динаміку, надійність, зменшити вимоги до точності виготовлення кулачка та енерговитрати привода. Запропонована ідея вирішується так: кулачок механізму періодичного повороту привода транспортера виконується розімкнутим по мінімальних радіусах-векторах необхідну кількість разів, і виконання цих розривів можливе на різній відстані один від одного (рисунок).

Даний профіль кулачка виконується розімкнутим по n кількості мінімальних радіус-векторів на будь-якій відстані один від одного. Кожна частина розімкнутого профілю складається з двох ділянок, одна з яких працює при вибігу, а друга – при розбігу веденої ланки. В момент переходу від розбігу до вибігу дійсний профіль кулачка має розрив, і в цьому місці кут тиску змінює знак.

Для запропонованого кулачка механізмів періодичного поворотного руху веденої ланки характерна висока точність позиціонування виконавчої ланки із забезпеченням вимог, які висуваються до транспортувальних пристроїв тамподрукарських машин.

Даний кулачок можна також використовувати при модернізації тамподрукарського обладнання, якщо при збереженні швидкості повороту

головного валу необхідно збільшити частоту періодичного обертання веденої ланки.

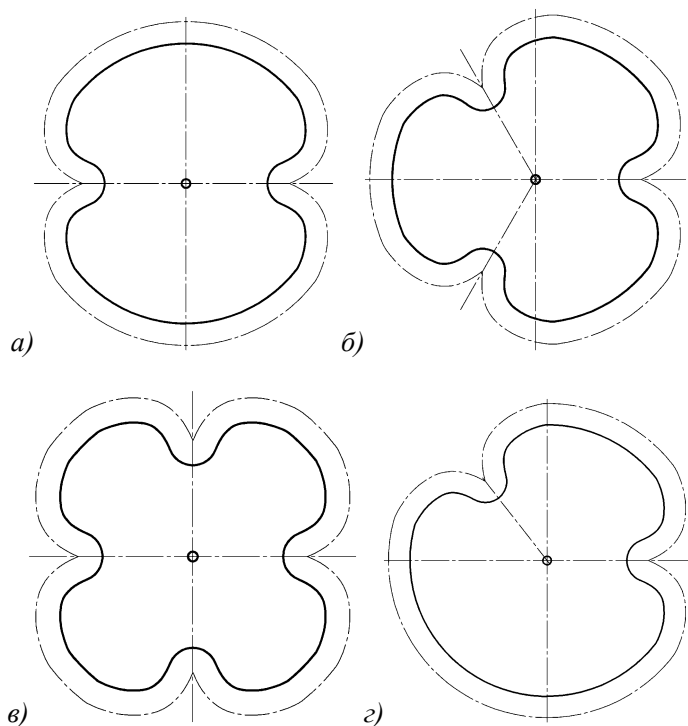


Рисунок. Профіль кулачка механізмів періодичного повороту, розімкнутий два (а), три (б) та чотири (в) рази по мінімальним радіусам-векторам на однаковій та різній (з) відстані один від одного

Введення, наприклад, другого розриву профілю кулачка по мініальному радіус-вектору дає можливість (зберігаючи співвідношення між періодами повороту й вистою веденої ланки) вдвічі зменшити число обертів ведучого валу, що може покращити роботу поворотного механізму за рахунок зменшення впливу на динаміку неточності виготовлення профілю кулачка.

Література

1. Пат. 56086 України, МПК-2011.01 F 16 H 25/24. Кулачок механізмів періодичного обертального руху веденої ланки / В.Г. Яницький, Д.С. Гриценко, А.С. Загоруйко. – № u201007701; заявл. 18.06.2010; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24. 2 с.

Реалізація вагового дозування пластичних харчових продуктів мехатронним модулем*Б.В. Михайлик, О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ*

Розробка пакувального обладнання для дозування пластичної продукції вважається одним із найскладніших питань у пакувальній індустрії [1]. Як наслідок, спостерігається відставання технічної досконалості таких машин від тенденцій галузі. Широке застосування знаходить ваговий спосіб формування дози, у той час як пластична продукція фасується переважно об'ємним способом [2]. Основна перепона для впровадження вагового способу – реологічні властивості продукції. При дозуванні ваговим способом сипкої або рідкої продукції сила (P), що діє на тензометричну систему, має дві складові: вагу продукту ($m_i g$), що перемістилася у зважувальну місткість, та зусилля від тиску падіння продукту в тару ($S\rho v$). Оскільки від клапана живильника до звужуючого пристрою пластична продукція переміщується нерозривним потоком, до рівняння рівноваги додається третій компонент, що враховує реологічні характеристики продукції (P_1).

$$P = m_i \cdot g + S \cdot \rho \cdot v + P_1, \quad (1)$$

де: m_i – поточне значення маси продукту в тарі ($Q \cdot t_i$): Q – масова продуктивність живильника; t_i – поточне значення часу формування дози; ρ – об'ємна маса продукції; v – швидкість руху продукції в точці контакту з продукцією в тарі; S – об'ємна продуктивність живильника.

Варто зауважити, що P_1 можна визначити, врахувавши реологічну модель, для конкретного виду продукції [3]. Величина сили повинна бути більша за межу плинності, але менша за критичну, при якій відбувається поздовжній згин потоку продукції. Якщо ця умова не виконується, то рівняння (1) не може бути використане. При проведенні дослідження прийнято припущення, що стовп продукції між клапаном живильника і тарою зберігає пружну стійкість.

$$P_{кр} > P_1 > P_T. \quad (2)$$

Для забезпечення точності при ваговому способі процес дозування проводять у дві стадії. На першій стадії 70–80 % продукції надходить у тару при максимальній продуктивності живильника, залишок доважується в процесі точного дозування, при якому швидкість формування дози значно знижується, з метою зменшення динамічної складової похибки вимірювання.

Для реалізації вагового способу дозування пластичної продукції був розроблений мехатронний модуль дозування, в якому живильник забезпечує оптимальний режим подачі продукції.

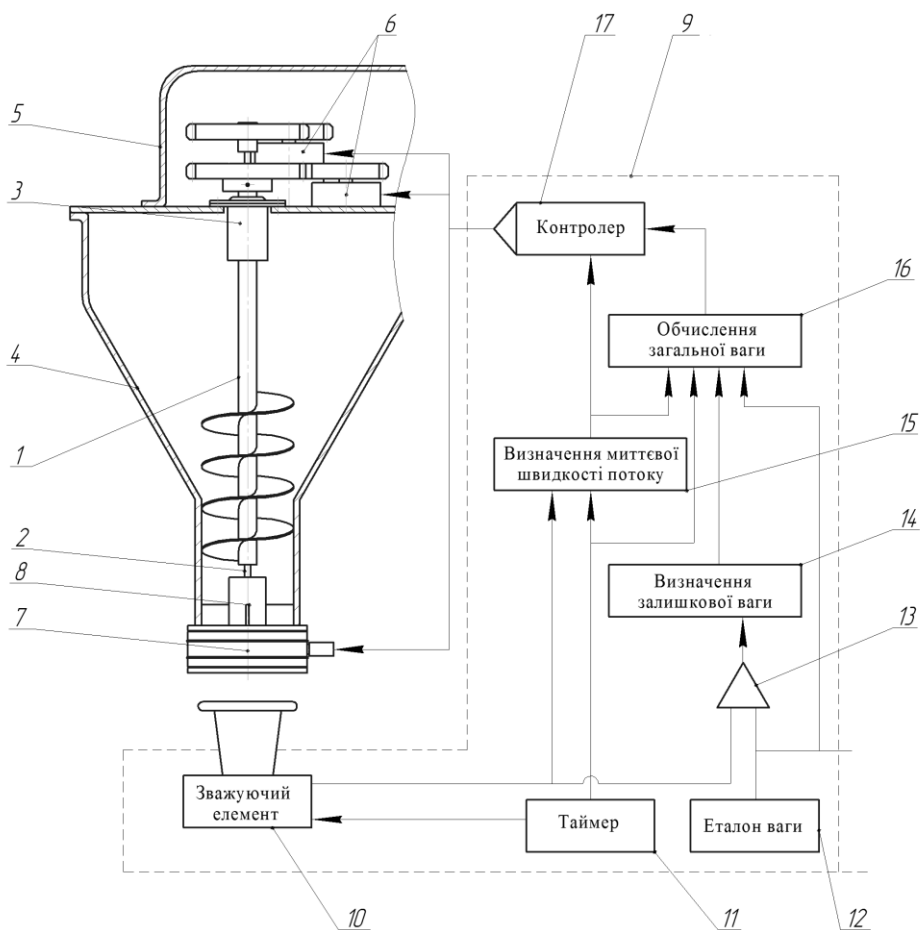


Рис. 1. Схема мехатронного модуля дозування пластичної продукції: 1 – шнек грубого дозування; 2 – шнек точного дозування; 3 – приводний механізм; 4 – бункер; 5 – кришка; 6 – приводи; 7 – ірисовий клапан; 8 – гільза шнека точного дозування; 9 – блок керування; 10 – система зважування; 11 – таймер; 12 – еталон ваги; 13 – компаратор; 14 – блок визначення залишкової ваги; 15 – блок визначення миттєвої швидкості потоку; 16 – блок обчислення загальної ваги; 17 – контролер

На рис. 1 зображено схему мехатронного модуля дозування пластичної продукції. Після тарування порожньої тари шнеки грубого й точного дозування виходять на робочий режим, починаючи операцію дозування. Блок керування 9 [4] оброблює дані системи зважування, визначаючи похибку від динамічної та реологічної складових, визначаючи справжню

кількість продукції в тарі. Контролер 17 з допомогою отриманих даних забезпечує виконання процесу грубого дозування, перехід на режим точного дозування, керування приводами шнеків 6 і клапаном 7. Доречно враховувати, що залишковий «хвіст» продукції може не дорівнювати похибці в кінці формування дози й бути як більшим, так і меншим.

У процесі грубого дозування клапан 7 відкритий повністю, працюють шнеки 1 і 2, переміщуючи продукцію в тару. При цьому (рис. 2) швидкість формування дози дорівнює продуктивності шнека грубого дозування (Q_1). Коли маса продукції в тарі досягає 70–80 %, блок керування виконує перехід від грубого дозування до точного, при якому клапан частково перекривається, шнек грубого дозування сповільнює рух, і функцію живильника виконує шнек точного дозування, котрий у свою чергу завершує формування дози. У цьому випадку $Q_1=Q_2$.

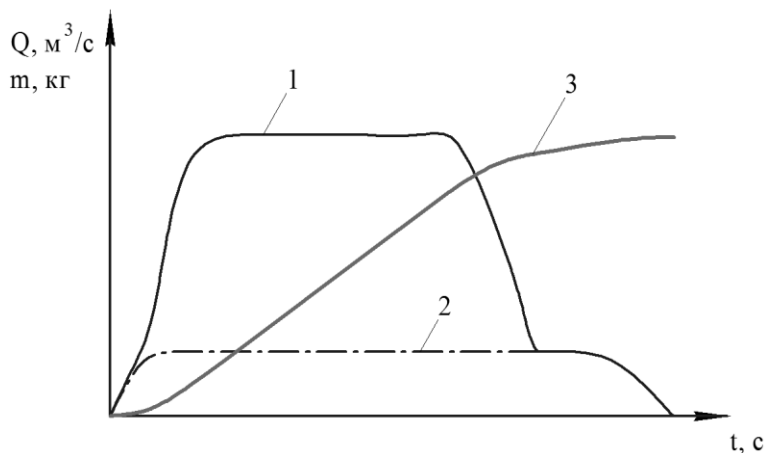


Рис. 2. Процес формування дози продукції: 1 – продуктивність шнека грубого дозування; 2 – продуктивність шнека точного дозування; 3 – маса продукції в тарі

Дослідження процесу формування дози виконано із застосуванням імітаційних моделей, з використанням пакету програм Flowvision 2.5.

Висновки. Запропонований мехатронний модуль дозування пластичних харчових продуктів ваговим способом дає можливість забезпечувати виконання складних законів живлення під час формування дози, зменшуючи похибку дозування, а також у перспективі дасть можливість створювати обладнання, переналадження котрого на іншу величину дози й розмір тари буде виконуватися на програмному рівні.

Література

1. Машины и аппараты пищевых производств : учебник для вузов : в 3 кн. Кн. 2. Т. 1 / С.Т. Антипов [и др.]; под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова, проф. В.Я. Груданова. Минск : БГАТУ, 2008. 580 с.
2. Пакувальне обладнання: підручник / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. Київ : ІАЦ Упаковка, 2010. 746 с.
3. Реологія харчових продуктів / І.Б. Левіт, В.О. Сукманов, Д.С. Афенченко. Полтава : ПУЕТ, 2015. 540 с.
4. Pat. US5515888A. Int. Cl⁶ B65B 1/04. Measuring weight by integrating flow // Andre Graffin - № 5515888; Eing. 25 Sept. 1994; Ver. 14 May. 1996.

Обґрунтування параметрів розвантажувальної лунки бункера при гравітаційному витіканні дрібнодисперсних сипких матеріалів
Ю.П. Шоловій, к.т.н., Н.І. Магерус, к.т.н., НУ «Львівська політехніка»

Вступ. Варіативність фізико-механічних властивостей дрібнодисперсних сипких матеріалів (СМ) у процесі переробки та зберігання, спосіб та висота наповнення ємкостей, терміни та умови зберігання необхідно враховувати при проектуванні бункерів. Знання впливу цих факторів, а також конструктивних параметрів розвантажувальних лунок бункерів (розміру та форми випускного отвору, кута нахилу стінок тощо) є визначальними, оскільки вони впливають на продуктивність процесу розвантаження бункерів. Хаотичний і непрогнозований рух дрібнодисперсних СМ в бункері, а інколи й повна його відсутність, спричинені значними силами зчеплення, призводять до налипання продукту на стінках бункера й розвантажувальної лунки, що негативно позначається на процесі витікання [1].

Актуальність. Важливими конструктивними параметрами, що визначають продуктивність бункерів СМ, є розмір та форма розвантажувальної лунки. Тому важливим етапом їх створення є дослідження впливу фізико-механічних властивостей дрібнодисперсних СМ на геометричні параметри лунки бункера, а також взаємозв'язку між ними.

Основна частина. На практиці найчастіше використовують такі дві форми розвантажувальної лунки: конічна (рис. 1а) і клиновидна (рис. 1б, 1в) з випускним отвором прямокутного перерізу та із співвідношенням його довжин $l_{\text{ш}} : b_{\text{ш}} > 3$ [2]. Розрізняють два типові різновиди клиновидних лунок: симетрична (рис. 1б) та асиметрична (рис. 1в). Частковим варіантом асиметричної клиновидної лунки є нижня частина конічної лунки з конічним днищем в ділянці випускного отвору.

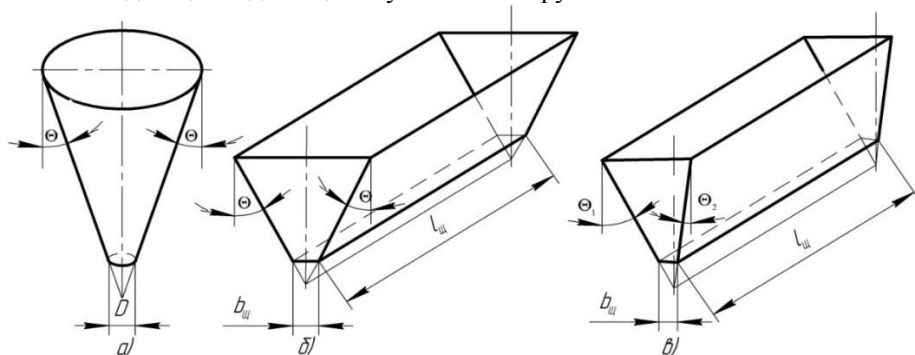


Рис. 1. Типові форми розвантажувальних лунок дозатора: конічна (а); симетрична клиновидна (б); асиметрична клиновидна (в)

З метою визначення геометричних параметрів розвантажувальної лунки бункера розроблено математичну модель, що ґрунтується на аналізі поведінки СМ при його гравітаційному витіканні з ємкості [3].

Із використанням одного з методів дослідження поведінки СМ, а саме аналізу напруженого стану нерухомого шару продукту, було складено рівняння рівноваги сил, що діють на елементарний об'єм склепіння [4]. Використавши вирази для визначення всіх приростів сил, що діють на елементарний об'єм склепіння в конічній розвантажувальній лунці бункера, та підставивши їх у рівняння рівноваги сил, отримали:

$$\frac{\tau_0 \cdot dh_C \cdot \delta \cdot D}{f \cdot \sin(\delta)} + \sigma_1' \cdot \sin(\delta) \cdot dh_C \cdot \cos(\delta) \cdot \pi \cdot D = \frac{\rho_0 \cdot g \cdot dh_C \cdot \pi \cdot D^2}{4}. \quad (1)$$

Із цього рівняння рівноваги сил визначили граничний максимальний діаметр випускного отвору D конічної розвантажувальної лунки бункера, при якому реалізовується ефект «самозапирання» потоку продукту при відсутності дії вібрації:

$$D = \frac{4 \cdot (\tau_0 \cdot \delta + 0,5 \cdot \sigma_1' \cdot \sin(2\delta) \cdot \sin(\delta) \cdot \pi \cdot f)}{f \cdot \sin(\delta) \cdot \rho_0 \cdot g \cdot \pi}. \quad (2)$$

Для подальшого дослідження геометричних параметрів лунки бункера важливо було встановити величину напруження вільного витікання СМ [4]. Із використанням гіпотези про граничну рівновагу продукту у виділеному елементарному об'ємі висотою dh_C , осьове напруження СМ мало вигляд [5]:

$$\sigma_{h0} = \sigma_{l0} \cdot \left(1 + 2f^2 - \sqrt{(1 + 2f^2)^2 - 1 - 4f_w^2 \cdot (1 + f^2)} \right), \quad (3)$$

Радіальне напруження СМ при його пасивному напруженому стані визначалося залежністю [5]:

$$\sigma_{l0} = \frac{\rho_0 g (h_0 + y)}{C_n (a_n - 1)} \left(1 - \left(\frac{h_0 + y}{h_0 + h_k} \right)^{a_n - 1} \right) + \sigma_{l0}^H \cdot \left(\frac{h_0 + y}{h_0 + h_k} \right)^{a_n}, \quad (4)$$

Для моделювання поведінки дрібнодисперсного СМ при гравітаційному витіканні було обрано пшеничне борошно із властивостями: $\Phi = 42^\circ$; $\Phi' = 30^\circ$; $\rho_0 = 0,5 \cdot 10^3$ кг/м³. У програмному середовищі MathCAD отримано графічні залежності розміру випускного отвору від кута нахилу стінок лунки (рис. 2) та коефіцієнту зовнішнього тертя СМ (рис. 3).

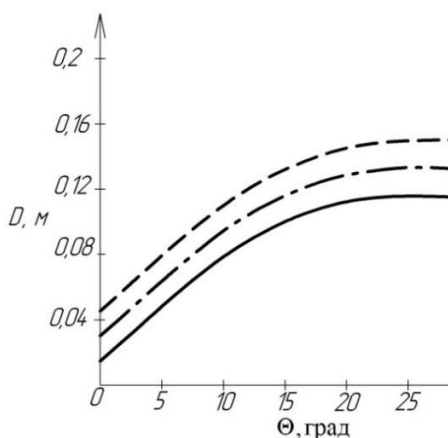


Рис. 2. Залежність розміру випускного отвору конічної лунки бункера від кута її нахилу (— — для $\tau_0 = 50$ Па; — . — — для $\tau_0 = 100$ Па; — — — для $\tau_0 = 150$ Па)

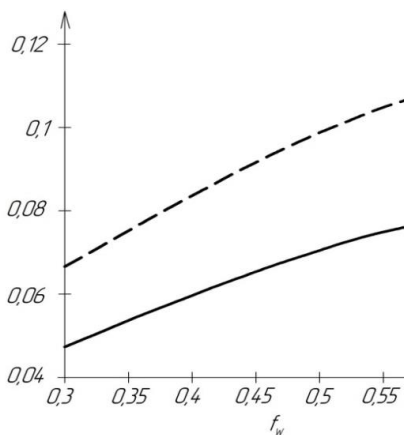


Рис. 3. Залежність розміру випускного отвору конічної лунки бункера від коефіцієнта зовнішнього тертя (— — — для $\rho_0 = 500$ кг/м³; — — — для $\rho_0 = 700$ кг/м³)

Висновки. Із зростанням кута нахилу стінок Θ конічної лунки бункера (рис. 2) збільшується граничний діаметр випускного отвору D , при якому можливе утворення стійкого склепіння над випускним отвором. Інтенсивність зростання графіків значно більша при кутах нахилу стінок розвантажувальної лунки бункера $\Theta \leq 20^\circ$. Це пов'язано із значним ущільненням матеріалу в зоні випускного отвору, яке досягає свого критичного значення для досліджуваного продукту при $\Theta \approx 20^\circ$. Тому подальше збільшення кутів нахилу стінок лунок $20^\circ < \Theta < \Theta_{\max}$ практично не впливає на зміну граничного значення діаметру випускного отвору D конічної розвантажувальної лунки бункера.

Умови безперервного витікання продукту з бункера суттєво залежать від кута тертя матеріалу до його робочих поверхонь (рис. 3). Із графічних залежностей випливає, що зростання коефіцієнта зовнішнього тертя f_w до стінок лунки бункера призводить до зростання граничного розміру випускного отвору D , при якому відсутнє витікання СМ при відсутності дії вібрації. Однак при $f_w \geq 0,5$ інтенсивність зростання кривих $D(f_w)$ значно знижується, оскільки опір переміщенню продукту стає настільки значний, що граничний шар частинок, які контактують із стінками розвантажувальної лунки бункера, прилипає до них, а ковзання відбувається лише між шарами матеріалу. Зниження коефіцієнта зовнішнього тертя f_w покращує умови витікання продукту.

Література

1. Зимон А.Д. Аутогезия сыпучих материалов. М. : Химия, 1978. 287 с.
2. Дженике Э.В. Складирование и выпуск сыпучих материалов. М. : Мир, 1968. 164 с.
3. Шоловій Ю.П., Проконець Н.І. Моделювання поведінки дрібнодисперсного матеріалу при його витіканні із конічної лунки дозатора // Інженерна механіка та транспорт: IV Міжнародна конференція молодих вчених ЕМТ-2013, 21-23 листопада 2013 р., мат. конф. Львів : В-во НУ «Львівська політехніка», 2013. С. 42–43.
4. Kache G., Tomas J. Ausfliessen eines kohäsiven, hochdispersen Pulvers // Süttgut. 2010. № 6. S. 246–252.
5. Катальмов А.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов / А.В. Катальмов, В.А. Любартович ; под ред. Ю.К. Кузнецов. Л. : Химия, 1990. 240 с.

Співвідношення динамічних і енергетичних параметрів у пакувальному обладнанні

А.І. Соколенко, д.т.н., С.А. Бут, к.т.н., К.В. Васильківський, к.т.н.,
О.І. Степанець, к.т.н., НУХТ, м. Київ

Динамічний синтез пакувальних механічних систем своїм завданням має вибір законів руху вихідних ланок, які б задовольняли умови заданої

продуктивності та обмеження динамічних навантажень [1-3]. Існуюча теоретична база розв'язання таких задач одночасно приводить можливості обмеження нерівномірності ходу ведучих ланок. Разом з тим для машин-автоматів циклічної дії з перехідними процесами в русі значних мас існує необхідність сформулювати додаткову вимогу щодо синтезу, яка стосується перспектив рекуперації кінетичної енергії. При цьому важливо, що всі три названі умови знаходять своє первинне відображення на графіках кінематичних параметрів, оскільки задана продуктивність вкладається в часові рамки процесу, графік прискорення забезпечує оцінку динамічних навантажень, а графік швидкості – оцінку енергетичного потенціалу, що досягається на фазі розгону, і перспективу його використання на фазі вибігу. У загальному випадку прискорення ведених мас залежить від параметрів системи і відображується залежністю $\ddot{s} = \ddot{s}(t)$, яка інтегруванням приводить до можливості оцінки $\dot{s} = \int \ddot{s} dt + C_1$ і $s = \int \dot{s} dt + C_2$, де C_1 та C_2 – сталі інтегрування (рисунок). Взаємозв'язок між кінематичними параметрами має графічну форму відображення відповідними площами.

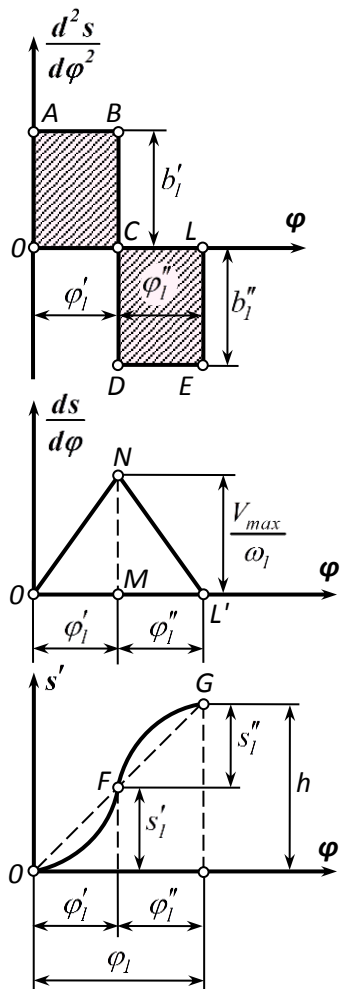
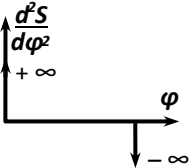
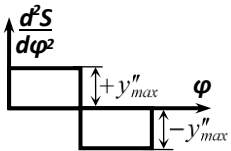


Рисунок. Графіки кінематичних параметрів параболічного закону руху вихідної ланки

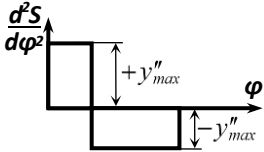
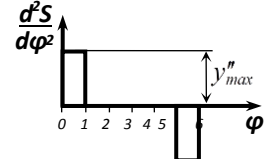
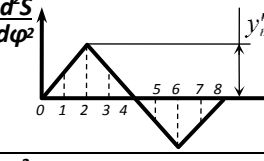
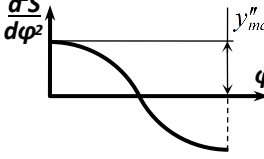
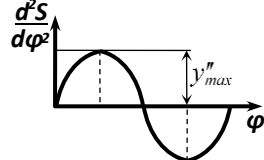
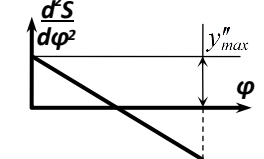
Умовою виконання теоретичних досліджень у порівнянні різних законів руху є прийняття однакових параметрів циклічних переміщень h у проміжках однакових значень часу t або узагальненої координати φ . Сучасні системи мехатроніки придатні для подібних реалізацій й навіть з перевагою до швидкоплинних змін в обраних законах. При цьому значення має сам закон, а не метод його реалізації. Стосовно кожного з досліджуваних законів за прийнятих умов визначалися максимальні значення аналогів швидкостей і аналогів прискорень, що дозволяло здійснити їх порівняння в напрямках динамічних навантажень і можливостей рекуперації кінетичної енергії. При цьому підкреслимо, що саме величина кінетичної енергії приведеної маси $m_{np}v_{\max}^2/2$ визначає складову енергетичних витрат на розгін системи.

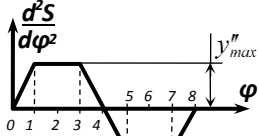
Іншим напрямом реалізації рекуперації кінетичної енергії може бути використання паралельних робочих органів, що працюють у протифазі. Результати визначення вказаних амплітуд наведено в таблиці.

Таблиця.
Амплітуди аналогів швидкостей і прискорень для різних законів
 $d^2s/d\varphi^2 = f''(\varphi)$

Закон руху	Графік $\frac{d^2s}{d\varphi^2} = f''(\varphi)$	Максимальне значення		Співвідношення аналогів	Співвідношення аналогів прискорень
		$\frac{ds}{d\varphi} = \frac{a}{\omega_1}$, м	$\frac{d^2s}{d\varphi^2} = \frac{a}{\omega_1^2}$, м		
1. Лінійний		$\frac{h}{\varphi_1}$	$\pm \infty$	0,5	∞
2а. Параболічний		$\frac{2}{\varphi_1} h + y''_{\max}$	$4 \frac{h}{\varphi_1^2}$	1,0	1,0

Продовження табл.

2б. Несиметричний		$2 \frac{h}{\phi_1}$	$+2(1+k) \frac{h}{\phi_1^2}$ $-\frac{2(1+k)}{k} \cdot \frac{h}{\phi_1^2}$	1,0	$+0,5(1+k)$ $-0,5(1+k)$
3. Модифікований лінійний		$1,2 \frac{h}{\phi_1}$	$7,2 \frac{h}{\phi_1^2}$	0,6	1,8
4. Трикутний		$2 \frac{h}{\phi_1}$	$8 \frac{h}{\phi_1^2}$	1,0	2,0
5. Косинусоїдальний		$\frac{\pi}{2} \cdot \frac{h}{\phi_1}$	$\frac{\pi^2}{2} \cdot \frac{h}{\phi_1^2}$	1,57	1,23
6. Синусоїдальний		$2 \frac{h}{\phi_1}$	$2\pi \frac{h}{\phi_1^2}$	1,0	1,57
7. Рівномірно зменшуваче прискорення		$\frac{3}{2} \cdot \frac{h}{\phi_1}$	$6 \frac{h}{\phi_1^2}$	0,75	1,5

8. Змінювання прискорення по трапеції		$2 \frac{h}{\varphi_1}$	$\frac{16}{3} \cdot \frac{h}{\varphi_1^2}$	1,0	1,33
---------------------------------------	---	-------------------------	--	-----	------

$$k_1 = \varphi'_1 / \varphi''_1.$$

Вибудуємо одержані порівняльні дані як відношення амплітуд аналогів швидкостей і аналогів прискорень різних законів до відповідних параметрів параболічного закону руху в ряди за ранжиром:

для аналогів швидкостей:

0,5	0,6	0,75	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,57
(1)	(3)	(7)	(2a)	(2б)	(4)	(6)	(8)	(5)

для аналогів прискорень:

1,0	0,5(1+k)	1,23	1,33	1,5	1,57	1,8	2,0	∞
(2a)	(2б)	(5)	(8)	(7)	(6)	(3)	(4)	(1)

Висновки. Наведені ряди супроводжуються адресними відмітками, які відповідають порядковим номерам законів, наведеним у таблиці. З порівняння видно, що жоден з них не відповідає обом сформульованим екстремальним умовам найменших енергетичних витрат і найменшим динамічним навантаженням. Це означає, що остаточний вибір на користь певного закону має здійснюватися на основі інших феноменологічних міркувань. Одне з них стосується особливості першого ряду стосовно однакових максимальних швидкостей у п'яти законах. З їх числа на увагу заслуговує трапецеїдальний з однією з найкращих комбінацій швидкостей і прискорень.

Література

1. Кожевников С.Н. Теория механизмов и машин. Москва : Машиностроение, 1993. 591 с.
2. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування : навчальний посібник / А.І. Соколенко, А.І. Українець, О.Ю. Шевченко та ін. За ред. проф. А.І. Соколенка. Київ : Люксар, 2005. 252 с.
3. Гальмування вантажів аеродинамічними упорами / А.І. Соколенко, К.В. Васильківський, М.І. Юхно та ін. // Упаковка. 2013. № 5. С. 50–52.

Динамічний синтез закону переміщення клапана дозатора для рідких харчових продуктів

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

Вступ. Для структури відомих систем автоматичного дозування, що охоплює основні сфери застосування дозаторів напірного й безнапірного принципів переміщення рідини, характерна тісна взаємодія модуля дозування та електронного модуля керування виробничим процесом [1]. Традиційно дозувальні пристрої для рідких харчових продуктів складаються з трьох основних елементів: сідла 1, клапана 2 та корпусу 3 (рис. 1) [2]. Найбільш відповідальною ланкою дозатора є робочий орган – запірний клапан, що знаходиться в безпосередньому контакті з рідиною, яку дозують, та сідлом.

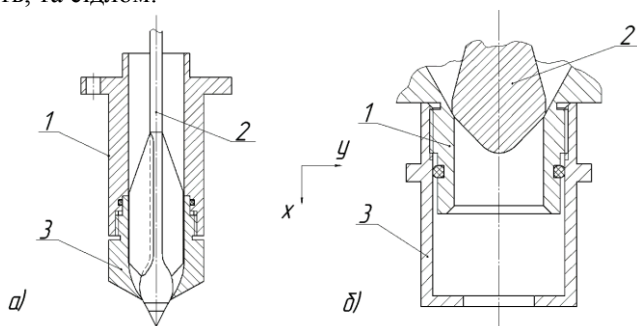


Рис. 1. Конструкція робочого органу конічного (а) та циліндричного (б) дозаторів для рідких харчових продуктів: 1 – сідло; 2 – клапан; 3 – корпус

Дозування рідкого харчового продукту є складним процесом, пов'язаним з нестационарними режимами відкривання й закривання виконавчого пристрою дозатора – клапана [3]. Необхідною умовою для якісної реалізації таких режимів роботи в сучасних дозувальних пристроях є реалізація заданого закону переміщення клапана.

Метою роботи є динамічний синтез закону переміщення клапана прецизійного дозатора з метою оптимізації точності дозування рідких харчових продуктів.

Традиційно переміщення клапана здійснюється пневматичним або електромагнітним приводом, що характеризується робочим ходом δ . Заданий закон руху клапана традиційно складається з трьох етапів (рис. 2).

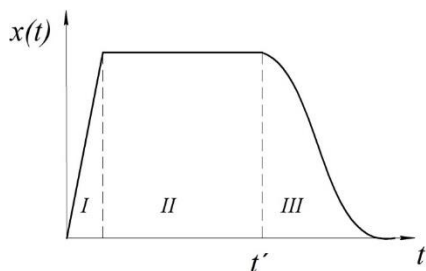


Рис. 2. Етапи руху клапана дозатора з прецизійним способом керування: I – відкриття каналу дозування; II – вистій клапана у відкритому положенні; III – закривання каналу дозування

Саме якісна реалізація III етапу руху суттєво впливає на точність дозування. Початковими умовами III етапу руху є:

$$x(0) = \delta; \quad \dot{x}(0) = 0; \quad \ddot{x}(0) = 0. \quad (1)$$

Кінцевими умовами III етапу руху є:

$$x(T) = 0; \quad \dot{x}(T) = 0; \quad \ddot{x}(T) = 0. \quad (2)$$

Закон руху клапана дозатора, що задовольняє вимогу плавного його притискання до сідла, прийmemo у вигляді:

$$x(t) = x(0) - [x(0) - x(T)] \cdot \left(\frac{t}{T} - \left(\frac{1}{2\pi} \right) \sin\left(\frac{2\pi t}{T} \right) \right) \quad (3)$$

Для реалізації заданого закону руху необхідно до клапана прикласти керуюче зусилля $F(t)$. Для визначення керуючого зусилля на III етапі руху двічі продиференціюємо рівняння (3). Відповідно швидкість та прискорення клапана $\dot{x}$ і $\ddot{x}$ дорівнюють:

$$\dot{x} = [x(0) - x(T)] \cdot \frac{\left(1 - \cos\left(\frac{2\pi t}{T} \right) \right)}{T}; \quad (4)$$

$$\ddot{x} = 2\pi [x(0) - x(T)] \cdot \frac{\sin\left(\frac{2\pi t}{T} \right)}{T^2}. \quad (5)$$

У момент початку гальмування клапана прискорення $\ddot{x}$ буде дорівнювати нулю, звідси

$$\frac{2\pi[\varphi(0)-\varphi(T)]}{T^2} \cdot \sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right) = 0, \quad (6)$$

$$2\pi\frac{t}{T} = \pi, \quad \text{тобто } t = T/2. \quad (7)$$

Таким чином, гальмування клапана починається в момент часу $t=T/2$, під час якого:

$$x\left(\frac{T}{2}\right) = \frac{[x(0)-x(T)]}{2}; \quad \dot{x}\left(\frac{T}{2}\right) = \frac{2\pi[x(0)-x(T)]}{T}; \quad \ddot{x}\left(\frac{T}{2}\right) = 0. \quad (8)$$

У випадку використання пневматичного привода для руху клапана за заданим законом руху з кінематичними характеристиками (3), (4) та (5), їх відтворення потребує миттєвої зміни керуючої сили та тисків повітря в порожнинах пневмоциліндра [4]. Відповідно математична модель реалізації заданого закону руху клапана дозுவального пристрою з пневматичним керуванням має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t) = x(0) - [x(0) - x(T)] \cdot \left(\frac{t}{T} - \left(\frac{1}{2\pi} \right) \sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right) \right) \\ \dot{x} = [x(0) - x(T)] \cdot \frac{(1 - \cos(2\pi\frac{t}{T}))}{T} \\ \ddot{x} = 2\pi[x(0) - x(T)] \cdot \frac{\sin(2\pi\frac{t}{T})}{T^2} \\ m_n \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = p_p \cdot F_n - P_0 - p_\epsilon \cdot F_u \\ \frac{dp_p}{dt} = \frac{n \cdot \mu_1 \cdot f_1 \cdot p_m \sqrt{\frac{2 \cdot n}{(n-1)} \cdot R \cdot T_m \cdot 0.2588}}{F_n \cdot (x_{01} + x)} + \frac{n \cdot p_\epsilon}{(x_{01} + x)} \frac{dx}{dt} \\ \frac{dp_\epsilon}{dt} = \frac{n \cdot \mu_2 \cdot f_2 \cdot p_\epsilon^{\frac{3n-1}{2n}} \times \sqrt{\frac{2 \cdot n}{(n-1)} \cdot R \cdot T_m \cdot 0.2588}}{F_u \cdot (s + x_{02} - x) \cdot p_a^{\frac{n-1}{2n}}} + \frac{n \cdot p_p}{(s + x_{02} - x)} \frac{dx}{dt} \end{array} \right. \quad (9)$$

де m_n – приведена маса дозувального пристрою; x – поточне переміщення поршня пневмоциліндра; s – робочий хід поршня пневмоциліндра; F_n, F_{in} – корисна площа поршня робочої й вихлопної порожнин пневмоциліндра відповідно; χ_{01}, χ_{02} – відношення початкових («пасивних») об’ємів V_{01}, V_{02} пневмопривода до корисної площі поршня поршневої та штокової порожнини пневмоциліндра відповідно; n – показник політропи; p_p, p_v – абсолютні тиски в робочій та вихлопній порожнинах пневмоциліндра відповідно; p_p, p_m – абсолютний атмосферний і магістральний тиски; T_m – абсолютна температура стисненого повітря в магістралі; μ_1, μ_2 – коефіцієнти витрати пневмоліній нагнітання й вихлопу відповідно; f_1, f_2 – еквівалентні площі пневмоліній нагнітання й вихлопу відповідно; R – питома газова стала; t – час переміщення.

Результати аналітичних досліджень переміщення, швидкості та прискорення клапана дозатора від часу показано на графіку (рис. 3).

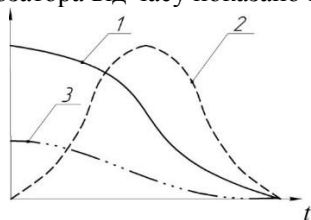


Рис. 3. Графік зміни переміщення (1), швидкості (2) і прискорення (3) клапана під час закривання каналу дозування

Висновки. На основі проведеного динамічного синтезу переміщення клапана дозатора для рідких харчових продуктів було розроблено математичну модель реалізації заданого закону руху клапана за допомогою пневматичного привода. Встановлено залежність зміни переміщення, швидкості та прискорення від часу на етапі закривання каналу дозування рідкого харчового продукту дозатора з прецизійним способом керування.

Література

1. Пакувальне обладнання : підручник / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. Київ : ІАЦ «Упаковка», 2010. 746 с.
2. Гвоздев О.В., Ялоха І.М. Обґрунтування конструкції запорного клапана дозатора – наповнювача рідких продуктів // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. 2001. Вип. 1. Т. 23. С. 40–44.
3. Gorchakova O., Iakymchuk M., Gavva O., Mykhailiyk B. Research of mechatronic modules of dosing weighing devices for liquid products // Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies. 2017. № 12. P. 27–32.
4. Герц Е.В. Динамика пневматических систем машин. М. : Машиностроение, 1985. 255 с.

Математичне моделювання процесу подачі стрічки пакувального матеріалу

*М.С. Ченур, Л.О. Кривопляс-Володіна, к.т.н., О.М. Гавва, д.т.н.,
Т.Т. Гнатів, НУХТ, м. Київ*

Вступ. Запропоновано методику визначення теоретичного радіуса й махового моменту рулонів у процесах розмотування плівкового пакувального матеріалу. Наведено математичні моделі, сформульовано пропозиції щодо оптимізації процесів керування роботою функціональних модулів подачі пакувального матеріалу.

Матеріали і методи дослідження. Для оптимального управління швидкісними режимами роботи електроприводів для функціонального модуля розмотування стрічки необхідна інформація щодо статичних та динамічних навантажень під час намотування або розмотування рулону пакувального матеріалу.

Відомо, що момент двигуна функціонального модуля розмотування стрічки має три складових [1]:

а) складову M_m , обумовлену силою натягу T і діаметром рулону D_p розмотування:

$$M_m = TR_p, \quad (1)$$

де R_p – радіус рулону, $R_p = D_p / 2$;

б) складову M_z , обумовлену опором стрічки по радіусу розмотування:

$$M_z = (K_z b h^3) / (2R_p) \quad (2)$$

де K_z – коефіцієнт опору; b – ширина стрічки; h – товщина стрічки;

в) динамічну складову M_∂ :

$$M_\partial = [(GD_M^2 + GD_p^2) / 375] (dn_m / dt) \quad (3)$$

де GD^2 – маховий момент функціонального модуля розмотування стрічки ($\text{Н} \cdot \text{м}^2$): $GD_p^2 = G(2R_p)^2$ – величина махового моменту під час розмотування рулону; n_m – швидкість обертання функціонального модуля розмотування стрічки.

Момент обертання двигуна є функцією радіуса рулону R_p , від якого залежить якість подачі пакувального матеріалу з рулону.

У роботі запропоновано непряний спосіб визначення діаметра рулону, який залежить від швидкості обертання функціонального модуля розмотування пакувальної стрічки, швидкості обертання рулонотримача пакувальної машини n_m та подачі ролика n_0 , що має діаметр $D_{\text{рол}}$:

$$D_p = D_{\text{рол}} (n_0 / n_m). \quad (4)$$

Радіус рулону дорівнює:

$$R_p = (D_{\text{рол}} n_0) / (2n_m). \quad (5)$$

При використанні традиційних тахогенераторів відносна похибка складає

значення $\varepsilon_n = 0,3\text{--}2,5$ [2]. Результируюча похибка визначення радіуса рулону досягає 1,5–2,5 %, що ускладнює реалізацію оптимальних режимів керування модулем подачі стрічки.

Метою дослідження є розрахунок точності та швидкодії операцій із визначення радіуса й махового моменту рулону. Теоретичний радіус рулону R_t дорівнює:

$$R_t = -[(h + \delta)/2] + \left\{ \left[R_i + \frac{h + \delta}{2} \right]^2 + \left[\frac{h + \delta}{\pi} \right] \int_0^t v(t) dt \right\}^{-0,5}, \quad (6)$$

де R_i – поточне значення радіуса рулону; h – товщина намотуваного матеріалу; δ – середнє значення зазору між витками матеріалу в рулоні; $v(t)$ – закон зміни лінійної швидкості матеріалу; t – проміжок часу, через який необхідно визначити швидкість.

Використовуючи метод вимірювання відстані до поверхні рулону за допомогою ультразвукових датчиків, було визначено зміну радіуса рулону в процесі його розмотування (рис. 1). На поверхню рулону 2 направляється хвиля 1, за допомогою спеціального випромінювача приймаються відбиті від поверхні рулону сигнали, вимірюється час між посиланням зондуєчого сигналу і його відгуком на приймач.

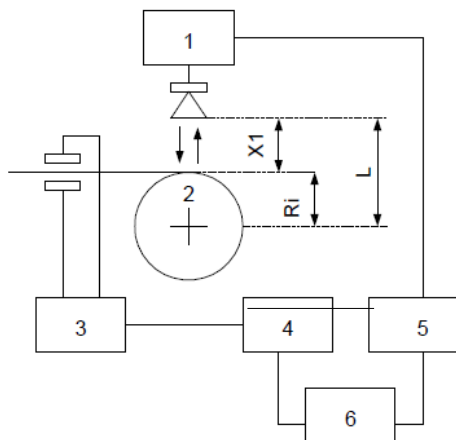


Рис. 1. Схема експериментального стенда: 1 – випромінювач акустичної хвилі, 2 – поверхня рулону, 3 – товщиномір, 4, 5 – обчислювальні блоки, 6 – блок оброблення сигналу

Оскільки довгомірний матеріал розмотується з рулону, то для обчислення теоретичного радіуса зручно використовувати зменшення площі рулону за час t . Зменшення рулону складає величину:

$$(h - \delta) \int_0^t v(t) dt.$$

З урахуванням товщини матеріалу, площа рулону (по торцях) становитиме:

$$\pi[R_1 + (h + \delta)/2]^2 + [(h + \delta)] \int_0^t v(t) dt.$$

Квадрат розрахункового радіуса дорівнюватиме:

$$R_t^2 = [R_1 + (h + \delta)/2]^2 + [(h + \delta)/\pi] \int_0^t v(t) dt,$$

Величина махового моменту рулону визначена за формулою:

$$GD_p^2 = \sum_{i=1}^k GD_{i \text{ вит}}^2 = \sum_{i=1}^k [2gyb\pi(2R_n h - h^2)(2R_n^2 - 2R_n h + h^2)], \quad (7)$$

де i – порядковий номер витка; k – число витків до моменту часу визначення махового моменту рулону; h_i – товщина стрічки в i -му витку; $R_{pi} = R_n$ – зовнішній радіус рулону в процесі розмотування. Залежності радіуса рулону під час розмотування й намотування отримані за умови постійної швидкості (рис. 2 і 3).

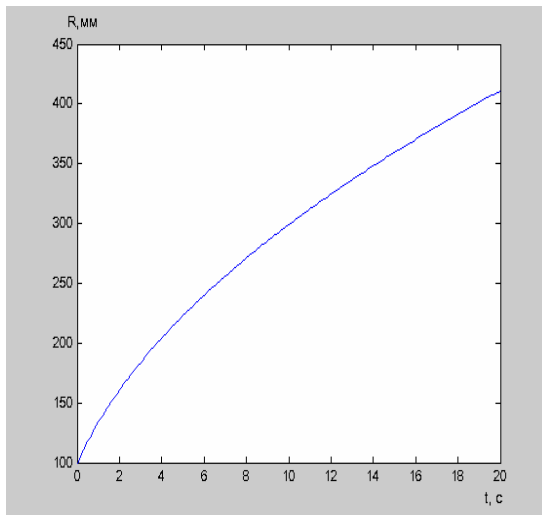


Рис. 2. Зміна радіуса рулону при намотуванні з постійною швидкістю

Розрахунки й побудова залежностей здійснювалися в середовищі Matcad при наступних початкових умовах:

При намотуванні:

$h = 1,2$ мм; $R_1 = 100 \dots 420$ мм; $0 \leq t \leq 20$ с; $v = 20$ м/с;

При розмотуванні:

$h = 1,2$ мм; $R_1 = 420 \dots 100$ мм; $0 \leq t \leq 20$ с; $v = 20$ м/с.

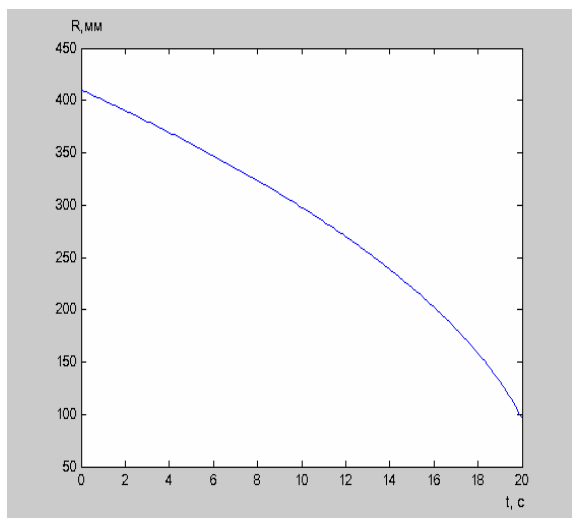


Рис. 3. *Зміна радіуса рулону при розмотуванні з постійною швидкістю*

Попередня оцінка за результатами імітаційного моделювання показує, що відносна похибка визначення величини радіуса рулону не перевищує 1 %.

Висновки. Запропоновано математичні моделі для визначення теоретичного радіуса й махового моменту рулону в процесі розмотування пакувального матеріалу. Обґрунтовано способи визначення махового моменту й радіуса рулону, засновані на непрямому вимірюванні. Виявлено, що зміни радіуса рулону під час розмотування, з точки зору швидкодії й точності системи керування, краще фіксуються в системі з електроприводами для рулонотримачів у пакувальній машині.

Література

1. Elatta A.Y., Gen L.P., Zhi F.L. An Overview of Robot Calibration // Information Technology Journal 3 (1), Asian Network for Scientific Information. 2004. P. 74–78.
2. Ruggeri S., Vertuan A., Legnani G., Visioli A. Kinetostatic calibration of a SCARA robot // XIX Congresso AIMETA, Associazione Italiana di meccanica teorica e applicata. (Ancona, 14–17 Settembre, 2009). 10 p.

Мінімізація витрат енергії при формуванні транспортного пакета промисловими робототехнічними комплексами*В.М. Якимчук, О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ*

Вступ. Найбільш широке застосування промислових роботизованих комплексів спостерігається під час виконання операцій формування збільшених вантажних одиниць. Технологічний процес пакування передбачає переміщення вантажів виконавчим пристроєм промислового робота в горизонтальній і вертикальній площинах [1]. При цьому кількість витраченої енергії на процес пакування буде залежати від обраної траєкторії переміщення вантажів та структурної схеми виконавчого пристрою. Показник енерговитрат під час проектування й підбору маніпуляторів у робототехнічних комплексах пакування є одним із вагомих чинників оптимізації їх кінематичних схем і під час визначення видів привода.

Метою роботи є розробка методики мінімізації витрат енергії при формуванні транспортного пакета промисловими робототехнічними комплексами.

Основна частина. Досліджено, що в сучасних робототехнічних комплексах для пакування вантажів існують два основних принципи побудови технологічного процесу формування транспортного пакета [2, 3]. Перший є типовим і характеризується тим, що пакет формується на нерухомому піддоні. Схема такого технологічного процесу наведена на рис. 1. Вантажі захоплюються маніпулятором у точці А і переміщуються ним у кінцеве положення по траєкторіях, наведених на рис. 1. При цьому кожен шар вантажів знаходиться на різній висоті та для кожного шару вантажів кінцева координата (Z) є змінною.

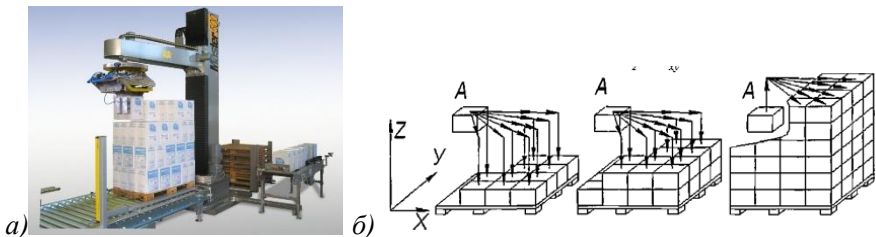


Рис. 1. Типова схема побудови технологічного процесу пакування на нерухомому піддоні: загальний вигляд промислового робототехнічного комплексу (а); технологічна схема формування транспортного пакета на нерухомому піддоні (б)

Сумарна робота, що виконується приводами маніпулятора при вертикальному переміщенні:

$$A_{\Sigma z} = A_{\epsilon z} + A_{3z} , \quad (1)$$

де $A_{\epsilon z}$ – робота, що виконується при опусканні захоплювального пристрою з вантажем:

$$A_{\epsilon z} = (m_3 \cdot \sum_{i=1}^n y_i + \sum_{i=1}^n m_i \cdot y_i) \cdot g ; \quad (2)$$

m_3 – маса захоплювального пристрою; m_i – маса i -го вантажу, n – кількість вантажів у пакеті; y_i – вертикальне переміщення i -го вантажу; A_{3z} – робота, що виконується при підніманні захоплювального пристрою без вантажу в початкове положення:

$$A_{3z} = m_3 g \sum_{i=1}^n y_i . \quad (3)$$

Якщо прийняти умову про однакову масу всіх вантажів, то після підставлення виразів (2) і (3) в рівняння (1) робота, виконана при вертикальному переміщенні, дорівнює:

$$A_{\Sigma z} = \frac{g \cdot (2m_3 + m_0) \sum_{i=1}^n y_i}{\eta} , \quad (4)$$

де m_0 – маса одного вантажу.

Сумарна робота, що виконується приводами маніпулятора при горизонтальному переміщенні, визначається виразом

$$A_{\Sigma x} = A_{\epsilon x} + A_{3x} , \quad (5)$$

де $A_{\epsilon x}$ – робота при переміщенні захоплювального пристрою з вантажем у кінцеве положення:

$$A_{\epsilon x} = g \sum_{i=1}^n (m_3 + m_i) s_i ; \quad (6)$$

s_i – горизонтальне положення i -го вантажу; A_{3x} – робота, що витрачається при поверненні захоплювального пристрою без вантажу в початкове положення:

$$A_{3x} = k g m_3 \sum_{i=1}^n s_i . \quad (7)$$

Таким чином, сумарна робота при горизонтальному переміщенні дорівнює

$$A_{\Sigma x} = k(2m_3 + m_0) g \sum_{i=1}^n s_i . \quad (8)$$

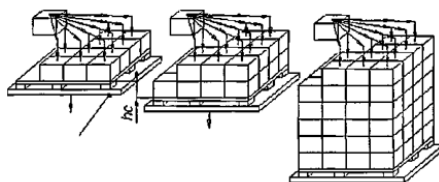
Відповідно об'єднаємо вирази (4) і (8) та отримаємо сумарну енергію, що витрачається приводами маніпулятора на здійснення технологічного процесу пакетування:

$$A_{\Sigma} = (2m_3 + m_0)g(k \sum_{i=1}^n s_i \frac{1}{\eta} \sum_{i=1}^n y_i). \quad (9)$$

Розглянемо технологічний процес формування транспортного пакета за схемою, яка характеризується переміщенням піддона донизу після укладання кожного шару вантажів до повного формування пакета (рис. 2). Для виконання такого технологічного процесу в робототехнічному комплексі використовуються рухомі платформи. Переміщення платформи з піддоном кожен раз відбувається на відстань, що дорівнює висоті одного шару вантажів. Таким чином, координата укладання вантажів залишається одна й та сама протягом усього циклу формування транспортного пакета. Традиційно для такої технологічної схеми використовуються порталні роботи [4]. Основною перевагою такого технологічного процесу є малі переміщення захоплювального пристрою робота у вертикальній площині.



а)



б)

Рис. 2. *Схема технологічного процесу з використанням рухомої вантажної платформи: загальний вигляд промислового робототехнічного комплексу (а); технологічна схема формування транспортного пакета на рухомому піддоні (б)*

Сумарна енергія, що витрачається приводом порталного робота при здійсненні технологічного процесу пакетування, складається з роботи, витраченої на вертикальне переміщення вантажів, роботи, витраченої на горизонтальне переміщення вантажів, і роботи, що витрачається на переміщення платформи, тобто:

$$A_{\Sigma} = A_{\text{вз}} + A_{\text{вх}} + A_{\text{пз}}, \quad (10)$$

де A_{nz} – робота, що витрачається на опускання платформи з вантажами, а також на піднімання порожньої платформи.

Враховуючи, що траєкторії рухів захоплювального пристрою та відстані для вертикального й горизонтального переміщення вантажів відповідають попередній схемі укладання (рис. 1), то можна вважати, що робота, яка виконується при вертикальному переміщенні вантажів, визначається виразом (4), а робота, що виконується при горизонтальному переміщенні вантажів, визначається виразом (8).

Робота, що виконується при переміщенні платформи, дорівнює

$$A_{nz} = A_{n1} + A_{n2}, \quad (11)$$

де A_{n1} – робота, виконана при переміщенні платформи з вантажами донизу:

$$A_{n1} = (M + m_n)g \frac{H}{2}; \quad (12)$$

де M – маса пакета; m_n – маса порожньої платформи; H – висота пакета; A_{n2} – робота, виконана при підніманні порожньої платформи вгору:

$$A_{n2} = m_n g \frac{H}{2}. \quad (13)$$

Підставляючи вирази (12) і (13) у вираз (11), отримаємо

$$A_{nz} = g \frac{H}{2} (M + 2m_n). \quad (14)$$

Таким чином, сумарна енергія, що витрачається приводом порталного робота при формуванні одного транспортного пакета, дорівнює:

$$A_{\Sigma} = \frac{g \cdot (2m_3 + m_0) S_B}{\eta} + k(2m_3 + m_0)g \sum_{i=1}^n s_i + g \frac{H}{2} (M + 2m_n), \quad (15)$$

де S_B – переміщення n вантажів роботом по вертикалі: $S_B = h_{\min} \cdot n$, $h_{\min}$ – мінімальний зазор між вантажем, що укладається, і шаром вантажів.

Мінімізуючи функцію (9) та (15), можна знайти оптимальну траєкторію руху робочих органів роботів формування транспортних пакетів за двома принциповими схемами.

Висновок. Найбільше споживання енергії спостерігається в робототехнічних системах, які формують транспортний пакет за другою технологічною схемою. Досліджено, що при опусканні платформи з вантажами її приводи працюють у гальмівному режимі та додатково споживають енергію, в той час як самі вантажі є джерелами потенційної енергії. Запропонована методика визначення енергетичних витрат на формування транспортних пакетів дає можливість проаналізувати показники енергетичної ефективності вибраного технологічного процесу пакетування та реалізувати їх під час проектування робототехнічних комплексів.

Література

1. Пакувальне обладнання : підручник / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. Київ : ІАЦ Упаковка, 2010. 746 с.
2. *Беспалько А.П., Гавва О.М., Якимчук М.В.* Пакетоформувальна техніка // Упаковка. 2001. № 4. С. 46–47.
3. Проектирование и разработка промышленных роботов / С. С. Аншин, А. В. Бабич, А.Г. Баранов и др. ; под общ. ред. Я.А. Шифрина, П.Н. Белянина. М. : Машиностроение, 1989. 272 с.
4. *Спыну Г.А.* Промышленные роботы. Конструирование и применение : учеб. пособие. 2-е изд. / Е.И. Юревич. Киев : Выща шк., 1991. 311 с.

Практичні аспекти динамічного аналізу роботи маніпулятора

Д.Р. Іващенко, Л.О. Кривопляс-Володіна, к.т.н., Г.Р. Валіулін, к.т.н.,

О.А. Вітюк, НУХТ, м. Київ

Вступ. У пакувальній галузі широко використовуються робототехнічні комплекси для типових технологічних операцій. Зокрема, маніпулятори з високою гнучкістю керування, можливістю переналагоджування на різні об'єкти обробки, компактністю, енергоощадністю дають змогу реалізовувати різні алгоритми для виконання технологічних операцій для пакування як споживчих, так і групових упаковок.

Стандартна методика кінематичного й динамічного аналізу маніпулятора складається з декількох етапів: складання математичної моделі маніпулятора; розробка програмного забезпечення; визначення початкових умов; математичне моделювання руху маніпулятора; аналіз та обробка отриманих результатів обґрунтування вибору кінцевої робочої ланки, модуля. У зв'язку з розробленням портативного маніпулятора виникла необхідність розробки методу кінематичного та динамічного аналізу з використанням стандартного пакета прикладних програм. Запропонований підхід до моделювання структури забезпечить ефективне проектування маніпулятора на початкових етапах розробки технічної пропозиції.

Метою дослідження є розробка формалізованого підходу до кінематичного й динамічного аналізу маніпулятора в середовищі ПП Mathcad. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити завдання кінематичного аналізу: сформувати матрицю перетворення координат методом Денавіта–Хартенберга; дослідити переміщення кінцевої точки маніпулятора P , визначити як послідовність рухів до кожної узагальненої координати робота; визначити лінійну швидкість і прискорення точки P робота-маніпулятора в системі координат робота.

Матеріали і методи дослідження. Вихідними даними моделювання обрано: кінематичну схему маніпулятора; геометричні розміри робочих ланок; необхідний закон руху захвата маніпулятора, пов'язаного з точкою P ; початкове положення ланок; інформацію про навантаження.

Ланки маніпулятора пов'язані з декартовою системою координат O_i, X_i, Y_i, Z_i , початок відліку якої O_i розташовано в центрі шарніра (рис. 1). Рух роботи маніпулятора визначається зміною в часі узагальнених координат $q_i(t)$, якими є кути повороту – в обертових і поступальних кінематичних парах. Вирішуємо задачу руху вихідної ланки робота за кінематичною схемою маніпулятора. Відомі положення та орієнтація захвата для моменту часу t_c в системі координат, пов'язаній з роботом. Визначимо значення узагальнених координат $q_i(t_m)$, $i=1,2, \dots, n$, задані положенням

захвата $\vec{r}_p^0$. За положенням захвата в системі трьох лінійних координат $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ можна визначити кутові координати $\alpha(t)$, $\beta(t)$, $\gamma(t)$ та обчислити $q_i(t_m)$, $i=1,2, \dots, n$ за формулою:

$$\vec{r}_p^0 = (T_n)^{-1} \cdot \vec{r}_p^0, \quad (1)$$

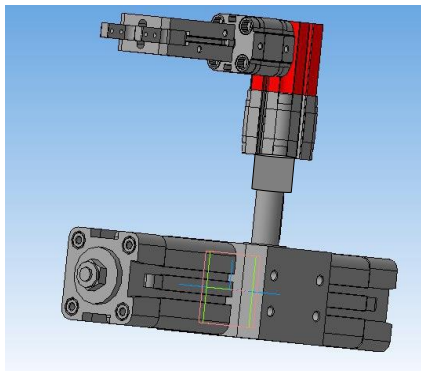
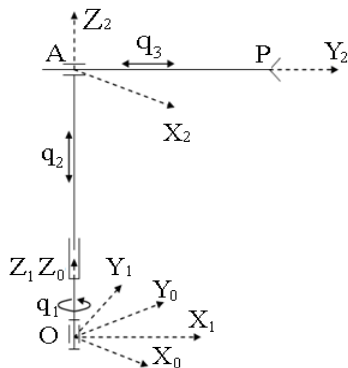


Рис. 1. Загальний вигляд та розрахункова схема дослідного робота-маніпулятора

Визначимо прискорення руху точки P захвата маніпулятора, виконуючи операцію символічного диференціювання вектора координат.

Після перетворень (1) отримуємо систему шести нелінійних рівнянь:

$$\begin{aligned} x(t_m) &= F_1(t_m, q_1(t_m), q_2(t_m), \dots, q_n(t_m)), \\ y(t_m) &= F_1(t_m, q_1(t_m), q_2(t_m), \dots, q_n(t_m)), \\ z(t_m) &= F_1(t_m, q_1(t_m), q_2(t_m), \dots, q_n(t_m)), \\ \alpha(t_m) &= F_1(t_m, q_1(t_m), q_2(t_m), \dots, q_n(t_m)), \\ \beta(t_m) &= F_1(t_m, q_1(t_m), q_2(t_m), \dots, q_n(t_m)), \\ \gamma(t_m) &= F_1(t_m, q_1(t_m), q_2(t_m), \dots, q_n(t_m)). \end{aligned} \quad (2)$$

Метод вирішення (2) залежить від кількості узагальнених координат маніпулятора. За умови $n=6$ система має один розв'язок; при $n>6$ заданому положенню захвата можуть відповідати різні набори значень узагальнених координат. Якщо $n<6$, рішення існує для обмеженої множини положень захвата, тобто робоча зона маніпулятора має обмеження. Системи рівнянь виду (1), (2), доповнені обмеженнями руху точки P , вирішено в ПП Mathcad. Проведення кінематичного аналізу за представленим алгоритмом дає можливість формалізувати процес обчислень, зменшити витрати часу й скоротити кількість помилок.

Використання рівнянь Лагранжа дало змогу розробити ефективні алгоритми аналізу маніпулятора. Кінетична енергія маніпулятора визначена за формулою:

$$Ek = 0.5 \cdot \sum_{i=1}^n tr \left(\frac{d}{dt} T_i \cdot H_i \cdot \left(\frac{d}{dt} T_n \right)^T \right), \quad (3)$$

$$H_i = \begin{bmatrix} J_{xx}^{(i)} & J_{xy}^{(i)} & J_{xz}^{(i)} & m_i \cdot x_i \\ J_{yx}^{(i)} & J_{yy}^{(i)} & J_{yz}^{(i)} & m_i \cdot y_i \\ J_{zx}^{(i)} & J_{zy}^{(i)} & J_{zz}^{(i)} & m_i \cdot z_i \\ m_i \cdot x_i & m_i \cdot y_i & m_i \cdot z_i & m_i \end{bmatrix},$$

де H_i – матриця, що характеризує інерцію i -ої ланки, m_i – маса i -ої ланки; x_i, y_i, z_i – координати центра ваги i -ої ланки в системі координат, пов'язаній із i -ою ланкою; $J_{xx}^{(i)}, J_{xy}^{(i)}, \dots, J_{zz}^{(i)}$ – елементи тензора інерції, що обчислюються для i -ої ланки в системі координат, пов'язаній з i -ою ланкою.

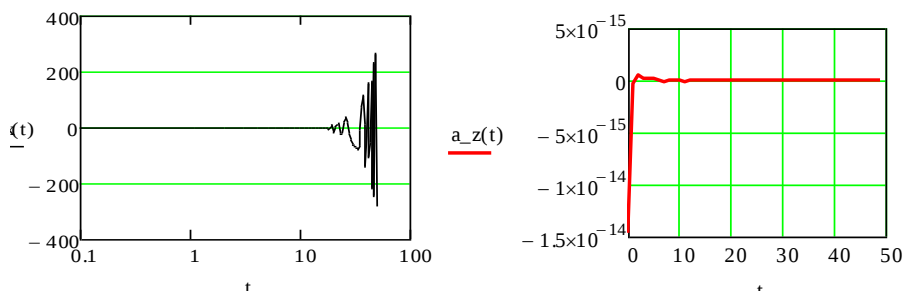


Рис. 2. Результати моделювання кінематичних параметрів маніпулятора: залежність прискорення точки P – a (m/c^2) від часу руху t (с)

Проекції прискорення руху точки P захвата відносно нерухомої системи координат, пов'язаної з основою маніпулятора, дозволяють визначити основні кінематичні параметри вихідної ланки.

Висновки. Спроековано та досліджено за допомогою ПП MathCAD кінематичні характеристики нової запропонованої конструкції робота-маніпулятора. Розроблено алгоритм розрахунку кінематики й динаміки заданої точки P маніпулятора з метою вибору кінцевої ланки – захвата. Формалізовано етапи переміщення точки P маніпулятора в системі координат, пов'язаній з маніпулятором. Відповідно до етапів вирішення

задачі виконано перебір матриць за допомогою вбудованих функцій пакета прикладних програм MathCAD. Промодельовано переміщення точки P маніпулятора в закритій системі координат із метою оцінки зовнішнього навантаження на захоплювальний пристрій. Отримані результати показали максимальну швидкість у межах до 0,01 м/с.

Література

1. *Elatta A.Y., Gen L.P., Zhi F.L.* An Overview of Robot Calibration // Information Technology Journal 3 (1), Asian Network for Scientific Information. 2004. P. 74–78.
2. *Ruggeri S., Vertuan A., Legnani G., Visioli A.* Kinetostatic calibration of a SCARA robot // XIX Congresso AIMETA, Associazione Italiana di meccanica teorica e applicate (Ancona, 14-17 Settembre, 2009). 10 p.