

УДК 655.5+004.942

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ДОННОЇ ЧАСТИНИ КОНІЧНИХ ПАПЕРОВИХ ХАРЧОВИХ ЄМКОСТЕЙ

А. Б. Коломієць, А. І. Шустикевич, Л. Б. Голдак

Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. Ст. Бандери, 12, Львів, 79000, Україна

Технологічний процес виготовлення конічних паперових контейнерів (стаканчиків, салатниць, йогуртниць тощо) складається з декількох операцій. Частина з них докладно вивчені, є операції мало вивчені, тому визначити аналітично технічно обгрунтовано вибір потужності автомата неможливий. Однією з операцій, яким дотепер наділялось мало уваги є процес утворення чашкоподібної форми дна, що передуює приєднанню дна до конічного корпусу стаканчика. Знайдені особливості утворення складної форми, коли відбувається не тільки згин на 90° твірної стінки відносно до площини дна, а і на стінці – додаткових згинів, «зморшок». Це призводить до збільшення необхідного зусилля утворення чашкоподібної форми та погіршення якості кінцевої поверхні стінок. Запропоновано додаткові заходи, спрямовані на поліпшення форми стаканчика. Зроблені порівняльні розрахунки традиційного та запропонованого методів, виявлені їхні позитивні і негативні результати.

Ключові слова: паперовий стаканчик, конічна ємність, дно, чашкоподібна форма, згин, зусилля, «зморшка» паперу, надріз.

Постановка проблеми. Виготовлення паперових конічних контейнерів для харчових продуктів набуває дедалі більшого значення, що зумовлено зростаючими потребами ринку в дешевій, екологічній та практичній тарі [9, 10]. Проте, незважаючи на широке застосування цих виробів, технологічний процес їхнього виготовлення залишається складним і багато в чому недостатньо дослідженим.

Одним з ключових аспектів є проектування роторних автоматів, які забезпечують безперервний цикл виробництва. Основні труднощі виникають через необхідність точного поєднання кількох операцій на високій швидкості, зокрема: формування конуса з плоскої розгортки; герметизація бічного шва згаданого корпусу; формування чашкоподібного дна, встановлення та герметизація згаданого дна; з'єднання корпусу і дна в єдине ціле, формування верхнього обідка [4, 15].

Недостатнє розуміння статичних та динамічних процесів, що відбуваються під час цих операцій, призводить до ряду проблем, а саме високі вібрації та динамічні навантаження на механізми [5, 12]. Це знижує надійність обладнання, скорочує його ресурс та може призводити до дефектів продукції, зокрема до порушення герметичності. Натепер усе це призводить до зменшення продуктивності автомату або погіршення якості продукції.

Задачі дослідження ускладнює і те, що зазвичай виробники та торгові мережі не вказують розміри дна конічного паперового контейнера, а тільки його висоту, діаметр верхнього обідка і ємкість (мл) [7, 8]. Тому прослідкувати «популярні» діаметри дна єдностей неможливо.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Розроблення та вдосконалення технологій виготовлення паперових конічних контейнерів та, відповідно, проектування роторних автоматів, є актуальним науково-технічним завданням. Це вимагає глибокого аналізу кінематичних та динамічних характеристик машин, оптимізації процесів оброблення тиском паперу, нагрівання та з'єднання матеріалів складових паперового контейнера у єдине ціле, а також пошуку нових конструкційних рішень для забезпечення високої продуктивності, надійності та якості кінцевого продукту.

Відомі багато робіт українських вчених у напрямках вирізування паперових і картонних плоских заготовок [1, 2]. Операції, що виконуються за допомогою штанцювальних пресів, присвячені праці Регея І. І., Полюдова О. М., Шустикевича А. І., Книша О. Б. [3, 6, 9, 10].

Операції, пов'язані з переміщенням плоских розгорток пакування у робочу зону автоматів, присвячені роботи Коломійця А. Б., Стеців Я. Б. [13].

Усе це створює позитивні передумови для створення засад комплексних розрахунків механізмів спеціалізованого обладнання як основи для його раціонального проектування [11, 14].

Операція з донною частиною контейнера фактично складається з декількох операцій. Явища, які відбуваються з матеріалом, складні, мають певні особливості, значно впливають на якість продукції та розрахунок навантажень у приводі інструментів. Через складність і невивченість дотепер нас цікавлять особливості процесу на цій операції.

Мета статті. За результатами аналізу існуючих технологій та обладнання для виготовлення конічних контейнерів з паперу та картону, огляду патентних джерел, виокремити особливості операції утворення форми дна згаданих контейнерів, запропонувати альтернативний метод та виконати порівняльні розрахунки зусиль, необхідних для здійснення операції на основі використання результатів попередніх експериментальних досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Матеріал стаканчиків – папір, питома вага якого 190-350 г/м². На нього може додатково мітити одно- або двобічне лакування. Це вже не зовсім папір у звичному розумінні, радше кількашаровий целюлозний папероподібний матеріал. Зазвичай, досередини ємності розташовується ламінований або лакований шар. Таким чином, товщина стінки одношарового стаканчика складає 0,3-0,5 мм [9, 15].

Донна частина паперових стаканчиків утворюється наступним чином. Встановлений на шпинделі машини рулон картону (паперу) покроково розмотується. Передня частина розмотаної стрічки картону опиняється у зоні вирізування першого ротора. Відбувається періодичний рух вирізувального ножа з круглою різальною крайкою, в результаті чого утворюється кругла заготовка дна стаканчика. Діаметр заготовки

$$D_{\text{заг}} = d_{\text{дн}} + 2 \cdot h_{\text{дн}},$$

де $d_{\text{дн}}$ – діаметр дна стаканчика; $h_{\text{дн}} = \Delta$ – висота дна стаканчика.

Тобто для утворення чашкоподібного дна діаметром $d = 51$ мм і висотою $h_{\text{дн}} = 5$ мм необхідно попередньо вирізати у заготовку діаметром $D = 61$ мм.

У подальшому відбувається обробка тиском шляхом прошовування плоскої заготовки пуансоном через матрицю (круглий отвір) з метою формування чашкоподібного дна паперового стаканчика (рис. 1).

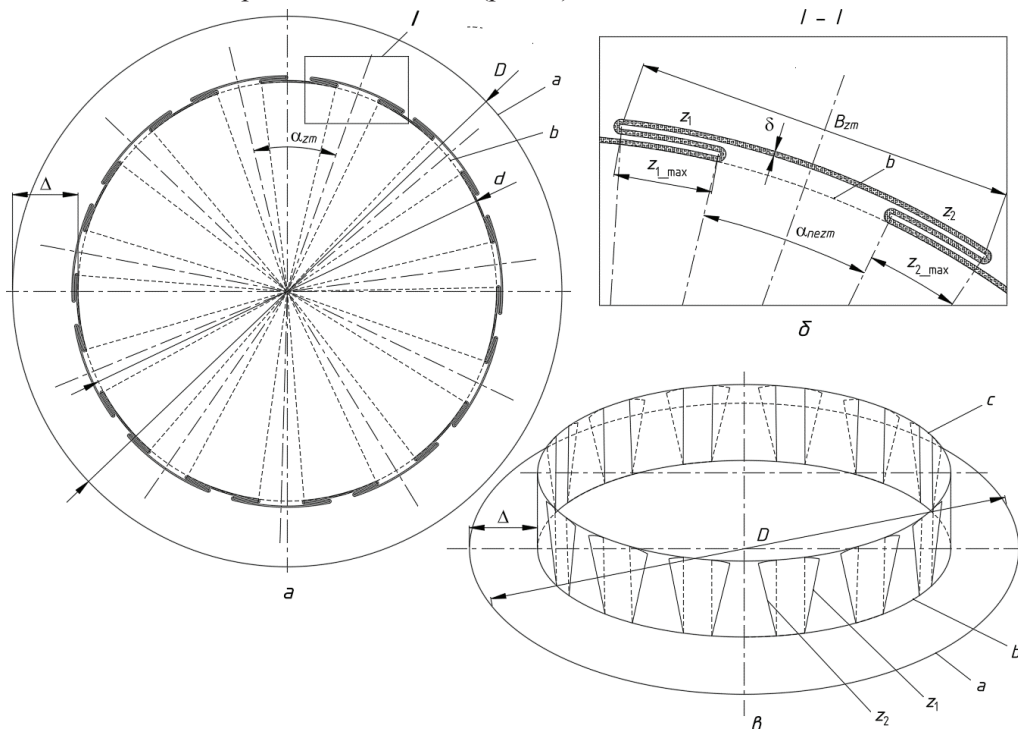


Рис. 1. Дно паперового стаканчика із утвореними «зморшками» на його стінці

Під час згинання лінія a плоскої круглої заготовки опиняється на лінії c чашкоподібного дна. Згин на 90° відбувається по лінії b . Так як площа утвореного дна і бокової стінки стаканчика є меншою від площі його заготовки, у процесі формування «чашки» на бокових стінках дна утворюються радіальні «зморшки» $z_1, z_2 \dots z_n$. В ідеалі вони розташовані попарно уздовж периферії дна з рівним кроком $\Delta_{\text{зм}}$ або центральним кутом $\alpha_{\text{зм}}$. Кожна «зморшка» $z_1, z_2 \dots z_n$ являє собою дві лінії згину, з'єднані на лінії b згину дна стаканчика і. Загалом може бути утворено 10-20 «зморшок».

Товщина стінки дна стаканчика стає нерівномірною, коливається від δ до 3δ . Для утворення дна діаметром $d = 51$ мм з паперу $\delta = 0,5$ мм треба застосовувати пуансон цього діаметру і матрицю діаметром щонайменше 54 мм. збільшення відстані між пуансоном і матрицею негативно впливає на точність виготовлення донної частини паперового конічного контейнера.

Наприклад, під час утворення дна діаметром $d_{\text{дн}} = 51$ мм, його довжина складе $L_{\text{дн}} = \pi \cdot d_{\text{дн}} \approx 160$ мм. У випадку кроку $\Delta_{\text{зм}} = 10$ мм, отримуємо наявність 8 подвійних «зморшок» z , кожна з яких має по дві лінії згину на 180° і довжиною $h_{\text{дн}}$ до 5 мм. У результаті маємо 32 додаткові лінії згину загальною довжиною 160 мм. Тобто, до загального зусилля згинання для утворення периферійної лінії згину $L_{\text{дн}}$ на 90° додається ще співрозмірне зусилля згинання додаткових ліній «зморшок».

У такому випадку загальна лінія згинання буде дорівнюватиме довжині $L_{\Sigma} = 320$ мм. Тобто, загальна довжина згинання зростає удвічі. Проте це для ідеального випадку, коли згини «зморшок» прямі і вони розташовані рівномірно по твірній стінки чашкоподібного дна. В іншому випадку загальна довжина ліній згинання «зморшок» зростатиме, можуть утворюватися криволінійні згини, які збільшуватимуть нерівномірність товщини стінки дна стаканчика.

Було запропоновано, з метою зменшення зусиль формоутворення чашкоподібного дна і поліпшення якості його стінки, виконувати, одночасно з вирубанням його заготовки, невеликі радіальні надрізи $v_1, v_2 \dots v_n$ по його периметру з рівним кроком глибиною $0,75-0,85 \cdot h_{\text{дн}}$ (рис. 2). У такому випадку, під час утворення форми чашкоподібного дна не утворюються «зморшки», надлишкова частина керовано розподіляється у другий шар стінки. Товщина стінки дна не перевищує 2δ , що позитивно впливає на точність утворення складової конічної паперової ємності.

Виконаємо порівняльні розрахунки зусилля, необхідного для утворення об'ємної форми чашкоподібного дна з плоскої заготовки згідно рис. 1 та рис. 2.

Згідно із попередніми дослідженнями для пластинки картону товщиною $\delta = 0,35$ мм і шириною $B = 25$ мм під час згинання її у П-подібний зразок пуансоном, що переміщується зі швидкістю $V_n = 60$ мм/с, обираємо середнє питоме зусилля фальцювання складає $p_{32} = (11,7 \dots 12,6)/2/2,5 = 2,34 \dots 2,52$ Н/см. Для подальших розрахунків обираємо середнє значення $q_{32} = 2,4$ Н/см.

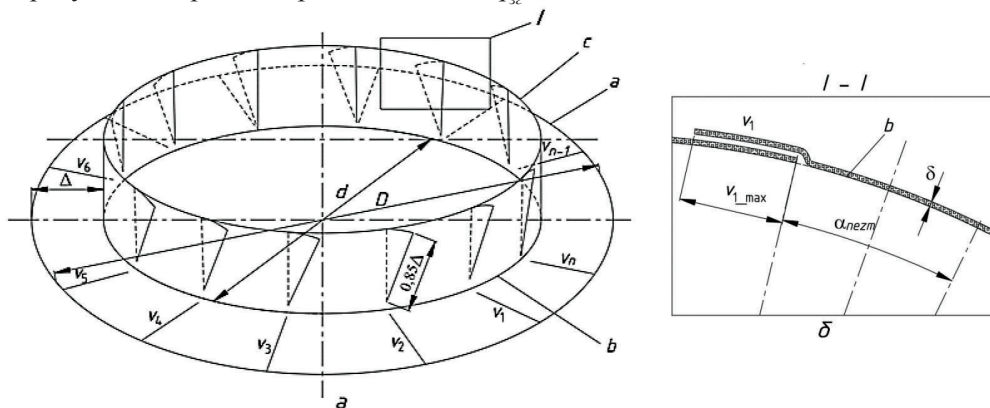


Рис. 2. Дно паперового стаканчика, утворене із круглої плоскої заготовки з неглибокими радіальними прорізами

Загальна довжина лінії згину b під час формування чашкоподібного дна паперового стаканчика із попередньо вирізаної заготовки діаметром $D = 51$ мм:

$$L_b = \pi \cdot D = 160 \text{ мм.}$$

Зусилля для утворення лінії згину b :

$$P_b = 16 \cdot 2,4 = 38,4 \text{ Н.}$$

Додаємо зусилля, яке потрібно для утворення «зморшок» на стінках чашки дна:

$$P_{zm} = n_{zm} \cdot \delta \cdot 2 \cdot q_{32} = 16 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 2,4 = 38,4 \text{ Н.}$$

Загалом зусилля утворення чашкоподібної форми дна стаканчика:

$$P_{zm} = P_b + P_{zm} = 38,4 + 38,4 = 76,8 \text{ Н}$$

Для картону товщиною $\delta = 0,5$ мм і шириною $B = 25$ мм за аналогічних умов середнє питоме зусилля фальцювання складає $p_{32} = (22,14 \dots 24,57)/2,5 = 4,43 \dots 4,94$ Н/см. Для подальших розрахунків обираємо середнє значення $q_{32} = 4,7$ Н/см.

Загальна довжина згину під час формування чашкоподібного дна паперового стаканчика аналогічна попередньому випадку, зусилля для утворення лінії згину b :

$$P_b = 16 \cdot 4,7 = 75,2 \text{ Н.}$$

Додаємо зусилля, яке потрібно для утворення «зморшок» на стінках чашки дна:

$$P_{zm} = n_{zm} \cdot \delta \cdot 2 \cdot q_{32} = 16 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 4,7 = 75,2 \text{ Н.}$$

Загалом зусилля утворення чашкоподібної форми дна стаканчика :

$$P_{\Sigma} = P_b + P_{zm} = 75,2 + 75,2 = 150,4 \text{ Н.}$$

Як довели результати відомих експериментальних досліджень, під час різання картону відрізним пластинковим інструментом з прямолінійною різальною крайкою залежить від товщини картону і напрямку волокон [10, с. 143]. Для картону товщиною $\delta = 0,35$ мм лінійне зусилля різання складає $q_{piz} = 7,5$ Н/мм вздовж волокон та 12 Н/мм впоперек волокон. Обираємо у нашому випадку середнє значення $q_{piz} = 9,75$ Н/мм. Для картону товщиною $\delta = 0,5$ мм лінійне зусилля різання складає $q_{piz} = 10,2$ Н/мм вздовж волокон та 12,8 Н/мм впоперек волокон. Обираємо у нашому випадку середнє значення $q_{piz} = 11,5$ Н/мм.

У випадку прорізування радіальних рисок у круглій плоскій заготовці дна стаканчика що десять міліметрів, слід прорізати 16 рисок довжиною по 4 мм. Тобто, загальна довжина лінії різання буде $L_{piz} = 16 \times 4 = 64$ мм. Зусилля різання, необхідне для прорізування радіальних рисок у заготовці дна, складе, відповідно

$$P_{piz} = 64 \times 9,75 = 624 \text{ Н} - \text{для картону товщиною } \delta = 0,35 \text{ мм;}$$

$$P_{piz} = 64 \times 11,5 = 736 \text{ Н} - \text{для картону товщиною } \delta = 0,5 \text{ мм.}$$

Загалом зусилля утворення форми дна паперового стаканчика за варіантом II (рис. 2) складе

$$P_{\Sigma} = P_{piz} + P_{zm} = 624 + 38,4 = 660,8 \text{ Н} - \text{для картону товщиною } \delta = 0,35 \text{ мм;}$$

$$P_{\Sigma} = P_{piz} + P_{zm} = 736 + 75,2 = 811,2 \text{ Н} - \text{для картону товщиною } \delta = 0,5 \text{ мм.}$$

Це суттєво більше від базового варіанту I (рис. 1), тому такий метод бажано застосовувати лише у виключних випадках, коли головне – якість продукції, а не енергоощадність.

Висновки. Під час формування чашкоподібної донної частини паперових конічних ємностей на стінці дна утворюються додаткові «зморшки» паперу. Через

це знижується якість дна, збільшуються зусилля, необхідні для згинання пласкої заготовки. У розрахунку навантажень у процесі формоутворення чашкоподібного дна паперового стаканчика слід враховувати одночасне із згинанням утворення додаткових згинів на боковій стінці дна. Як виявили розрахунки, загальне навантаження під час формування збільшується приблизно удвічі. Запропоновано поліпшити якість утвореного дна шляхом попереднього висікання неглибоких радіальних надрізів у його заготовці. Проте, одночасно з поліпшенням якості дна паперової конічної ємності стрімко зростає навантаження під час його формоутворення, що збільшує вартість продукції, що збільшує енергомісткість способу виготовлення цієї складової паперової ємності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Главацький А.С., Задра В.М. Геометрична інтерпретація процесу прорізування отворів у картоні. *Поліграфія і видавнича справа*. Львів, 2001. №37. С. 78-82.
2. Задра В.М. Прорізування отворів у картоні (оптимізація енергосилових параметрів). *Упаковка*. К., 2003. №2. С. 30-31.
3. Книш О. Б., Слобода Т. В. Механіка руйнування картону при ножичному різанні з використанням гострого ножа та незагостреного контрножа. *Технологічні комплекси*. 2013. № 2. С. 117-122.
4. Голдак Л.Б., Коломієць А.Б. Завдання комплексних досліджень механізмів в обладнанні для виготовлення конічних картонних контейнерів. Abstracts of XIX International Scientific and Practical Conference. Krakow, Poland. Pp. 239-241. URL: <https://eu-conf.com/en/events/science-modern-technologies-and-humanity-problems-theories-and-thoughts/> (in Ukrainian).
5. Kolomiets, A., & Holdak, L. (2024). Improvement of the main movement drive of a rotary automatic machine based on the Geneva mechanism with two crankshafts. *Матеріали конференцій МЦНД*, (19.07.2024; Миколаїв, Україна), 88–92. <https://doi.org/10.62731/mcnd-19.07.2024.003>.
6. Коломієць А. Б., Шустикевич А. І., Голдак Л. Б. Метричний синтез штанцювальної машини плоскоциліндрового типу із оптимізованою компоновальною схемою. *Поліграфія і видавнича справа*, № 1 (87), УАД, 2024, С. 165-173. doi: 10.32403/0554-4866-2024-1-87-165-173.
7. Company «Ekoposud» <https://ecoposud.com.ua> (in Ukrainian).
8. Company «Alfa-pak pivden'» <https://alfa-pack.org> (in Ukrainian).
9. Регей І.І. Споживче картонне пакування (матеріали, проектування, обладнання для виготовлення) : навч. посіб. Львів : Українська академія друкарства, 2011. 144 с.
10. Регей І.І. Енергоощадна технологія і засоби виготовлення розгортки картонного пакування: монографія. Львів: Українська академія друкарства, 2009. 78 с.
11. Пальчевський Б.О., Крестьянполь О.А., Бондарчук Д.В. Розрахунок функціональних пристроїв пакувальних машин: Навч. посібник / За ред. проф. Б. О. Пальчевського. – 2-е вид., випр. і доп. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2014. 264 с.
12. Полюдов О.М., Кузнецов В.О., Коломієць А.Б. Розрахунки циклових механізмів поліграфічних і пакувальних машин на персональних комп'ютерах : навчальний посібник. – Львів : УАД, 2004. 96 с.

13. Пристрій для виведення плоских напівфабрикатів : пат. 103240 Україна. МПК (2013.01) B65B 41/00, B65H 5/00, F16H 21/00. / Полюдов О. М., Ререї І. І., Коломієць А. Б., Стетсів Я. Б. №а201113964; заявл. 13.05.2013, опубл. 25.09.2013, бюл. №18.
14. Проектування пакувального обладнання із мехатронних модулів. (2017) / М. В. Якимчук, О. М. Гавва, А. П. Безпалько та інші. 515 с.
15. Patent US 9371149B2, IPC B65D3/06. Structure of paper cup – publ. Apr. 28, 2016. US 2016/0114929 A1.

REFERENCES

1. Hlavatskyi A.S., Zadra V.M. (2001) Heometrychna interpretatsiia protsesu prorizuvannia otvoriv u kartoni. *Polihrafiia i vydavnycha sprava*. Lviv. №37. S. 78-82. (in Ukrainian).
2. Zadra V.M. (2003) Prorizuvannia otvoriv u kartoni (optyimizatsiia enerhohosylovykh parametriv). *Upakovka*. K., №2. S. 30-31. (in Ukrainian).
3. Knysh O. B., Sloboda T. V. Mekhanika ruinuвання kartonu pry nozhychnomu rizanni z vykorystanniam hostroho nozha ta nezahostrenoho kontrnozha. *Tekhnolohichni kompleksy*. 2013. № 2. S. 117-122.
4. Holdak L.B., Kolomiets A.B. (2024) Zavdannia kompleksnykh doslidzen mekhanizmiv v obladnanni dlia vyhotovlennia konichnykh kartonnykh konteineriv. Abstracts of XIX International Scientific and Practical Conference. Krakow, Poland. Pp. 239-241. URL: <https://eu-conf.com/en/events/science-modern-technologies-and-humanity-problems-theories-and-thoughts/> (in Ukrainian).
5. Kolomiets, A., & Holdak, L. (2024). Improvement of the main movement drive of a rotary automatical machine based on the Geneva mechanism with two crankshafts. *Materialy konferentsii MTsND*, (19.07.2024; Mykolaiv, Ukraina), 88–92. <https://doi.org/10.62731/mcnd-19.07.2024.003> (in English).
6. Kolomiets A. B., Shustykevych A. I., Holdak L. B. (2024) Metrychnyi syntez shtantsiuvalnoi mashyny ploskotsylindrovoho typu iz optyimizovanoi komponovalnoi skhemoiu. *Polihrafiia i vydavnycha sprava*, № 1 (87), UAD, S. 165-173. doi: 10.32403/0554-4866-2024-1-87-165-173. (in Ukrainian).
7. Company «Ekoposud» <https://ecoposud.com.ua> (in Ukrainian).
8. Company «Alfa-pak pivden» <https://alfa-pack.org> (in Ukrainian).
9. Rehei I.I. (2011) Spozhyvche kartonne pakovannia (materialy, proektuvannia, obladnannia dlia vyhotovlennia) : navch. posib. Lviv : Ukrainska akademiia drukarstva. 144 s. (in Ukrainian).
10. Rehei I.I. (2009) Enerhooshchadna tekhnolohiia i zasoby vyhotovlennia rozghortok kartonnoho pakovannia: monohrafiia. Lviv: Ukrainska akademiia drukarstva. 78 s. (in Ukrainian).
11. Palchevskyi B. O., Krestianpol O. A., Bondarchuk D. V. Rozrakhunok funktsionalnykh prystroiv pakuvalnykh mashyn: Navch. posibnyk / Za red. prof. B. O. Palchevskoho. – 2-e vyd., vypr. i dop. – Lutsk: RVV Luts'koho NTU, 2014. 264 s. (in Ukrainian).
12. Poliudov O. M., Kuznietsov V. O., Kolomiets A. B. Rozrakhunky tsyklovykh mekhanizmiv polihrafichnykh i pakuvalnykh mashyn na personalnykh kompiuterakh : navchalnyi posibnyk. – Lviv : UAD, 2004. 96 s. (in Ukrainian).
13. Prystrii dlia vyvedennia ploskykh napivfabrykativ : pat. 103240 Ukraina. MПК (2013.01) B65B 41/00, B65H 5/00, F16H 21/00. / Poliudov O. M., Rehei I. I., Kolomiets A. B., Stetsiv Ya. B. №а201113964; zaiavl. 13.05.2013, opubl. 25.09.2013, biul. №18.

14. Proiektuvannia pakuvalnoho obladnannia iz mekhatronnykh moduliv (2017)/M. Vlakymchuk, O. M. Havva, A. P. Bezpalko na inshi. 515 s. (in Ukrainian).
15. US Patent №9371149B2, IPC B65D3/06. Structure of paper cup – publ. Apr. 28, 2016. US 2016/0114929 A1. (in English).

doi: 10.32403/1998-6912-2025-1-70-205-212

FEATURES OF FORMING THE BOTTOM OF CONICAL PAPER FOOD CONTAINERS

A. B. Kolomiets, A. I. Shustykevych, L. B. Holdak

*Lviv Polytechnic National University,
12, Stepan Bandera St., Lviv, 79000, Ukraine
kolanbor@gmail.com*

The technological process of manufacturing conical paper containers (cups, yogurt containers, etc.) consists of several operations. Some of them have been studied in detail, while others have been studied little, so it is impossible to determine the choice of machine power analytically and technically justified.

It has been determined that one of the operations that has received little attention so far is the process of forming a cup-shaped bottom, which precedes the attachment of the bottom to the conical body of the cup. Features of the formation of a complex shape have been found, when not only the forming wall is fold at 90° relative to the plane of the bottom, but also additional folds, “wrinkles” on the wall. This leads to an increase in the required effort to form a cup-shaped shape and a deterioration in the quality of the final surface of the bottom’s wall.

Additional measures aimed at improving the shape of the cup have been proposed. It is suggested that during shaping, shallow (up to 4 mm) radial cuts be made at the edges of the workpiece with the same pitch first. This allows to avoid “wrinkles” on the walls during further shaping of the bottom and to improve the quality of the product.

Comparative calculations of the traditional and proposed methods have been made, and their positive and negative results have been identified. It was found that the length of the folding lines using the usual technology is twice as long due to the formation of “wrinkles” on the bottom’s wall. Adding small radial slots will reduce the folding force and improve product quality, but cutting forces arise, which significantly increase the total forming force and increase the energy consumption of the paper conical container manufacturing process.

Keywords: *paper cup, conical container, bottom, cup-shaped shape, force, fold, paper “wrinkle”, cut.*

Стаття надійшла до редакції 16.06.2025.

Received 16.06.2025.