

УДК 655.05:676.24:621.798.151

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ПАПЕРОВИХ ПАКЕТІВ

Я. А. Бойчук¹, С. Ф. Гавенко², М. Т. Лабецька³

¹ НУ «Львівська Політехніка», вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна,
<https://orcid.org/0009-0000-2012-5925>, e-mail: yaroslav.a.boichuk@lpnu.ua

² НУ «Львівська Політехніка», вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна,
<https://orcid.org/0000-0003-4973-5174>, e-mail: svitlana.f.havenko@lpnu.ua

³ НУ «Львівська Політехніка», вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна,
<https://orcid.org/0000-0003-2818-051X>, e-mail: marta.t.labetska@lpnu.ua



Ліцензія Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0).

Зростання глобального ринку паперового пакування, зумовлене екологічними вимогами та обмеженням використання пластику, робить актуальними дослідження якісних показників паперових пакетів. Робота присвячена дослідженню експлуатаційних характеристик паперових пакетів із різними типами ручок в умовах дії навантажень, що виникають у процесі їх використання. Досліджено ізотерми сорбції та десорбції води гравіметричним методом, а також методику визначення міцності ручок пакетів на розривній машині зі спеціально розробленими затискачами. Встановлено, що міцність ручок паперових пакетів суттєво залежить від конструктивних особливостей, якості клейових з'єднань та вологовмісту паперу. Плоска багатошарова паперова ручка демонструє найвищу міцність при помірних значеннях вологості, тоді як вирізана ручка з армуванням картоном забезпечує найвищу міцність при підвищеній вологості. Вирізана ручка без армування поступається за міцнісними показниками в усьому діапазоні протестованих умов. Отримані результати є науково обґрунтованою базою для вибору оптимальної конструкції ручки пакета залежно від умов використання.

Ключові слова: паперові пакети, крафт-папір, вміст вологи, ізотерми сорбції та десорбції, міцність, конструкція ручки, армування, експлуатаційні показники.

Постановка проблеми. Паперові пакети є важливим сегментом сучасної пакувальної галузі, зростання якої зумовлене посиленням вимог до екологічності продукції та законодавчим обмеженням використання пластикових аналогів. За даними аналітичних досліджень, глобальний ринок паперових пакетів у 2024 році оцінювався приблизно в \$6,0–6,4 млрд та прогнозовано досягне \$9,5–9,9 млрд до 2032–2034 рр. з середньорічним темпом зростання близько 4,4–5,2 % [1, 2]. Цей тренд підкріплюється законодавчими ініціативами в Європейському Союзі,

США та інших регіонах, спрямованими на скорочення використання одноразового пластику [3].

Попри широке застосування, паперові пакети залишаються вразливими щодо механічних пошкоджень — особливо в зоні кріплення ручок, яка зазнає максимальних навантажень при перенесенні. Руйнування ручки є найпоширенішим видом відмови конструкції пакета і напряду визначає рівень задоволеності споживача. Гігроскопічність паперових матеріалів спричиняє значний вплив вологості навколишнього середовища на їх механічні властивості, що обґрунтовує доцільність комплексного дослідження міцності ручок пакетів у різних вологісних умовах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання механічних властивостей паперових матеріалів та їх залежності від вологості досліджувалося багатьма науковцями. Класичною роботою в галузі є дослідження Parker, Bronlund та Mawson [4], які систематизували дані про ізотерми сорбції та десорбції вологи для різних видів паперу та картону, що використовуються у виробництві паковань харчових продуктів. Авторами встановлено, що вміст вологи суттєво впливає на цілісність і функціональність паперового пакування.

Rhim [5] у своєму дослідженні встановив, що міцність на розрив та гнучкість зразків паперу суттєво залежать від вмісту вологи, при цьому механічні властивості зберігаються до рівня моношарового вмісту вологи (відповідного активності води $A_w \approx 0,4$ при $25\text{ }^\circ\text{C}$). В дослідженнях [6] методами динамічного механічного аналізу (DMA) продемонстровано, що в'язкопружна поведінка паперу зумовлена його гігроскопічною природою, а зміна відносної вологості суттєво змінює пружні характеристики матеріалу.

У роботах, присвячених механіці паперових матеріалів, встановлено, що відносна вологість впливає як на еластичність окремих целюлозних волокон, так і на стан міжволоконних зв'язків, що у підсумку визначає інтегральну міцність паперового полотна [7]. Spiewak з колегами [8] показали, що вода, проникаючи між целюлозними волокнами, послаблює зв'язки між ними та знижує міцність паперового матеріалу, а адсорбційно-десорбційний гістерезис ізотерм підтверджений численними дослідженнями.

У сфері паперового пакування питання відмов конструкцій пакетів і, зокрема, ручок, поступово набуває уваги. Merabtene та ін. [9] аналізували гнучкі паперові матеріали з покриттям на промислових пакувальних машинах, встановивши залежність міцності склейок від параметрів процесу та вологості. Загалом публікації, присвячені безпосередньо комплексному аналізу міцності ручок паперових пакетів у широкому діапазоні вологості, в науковій літературі представлені недостатньо, що й обумовлює актуальність цього дослідження.

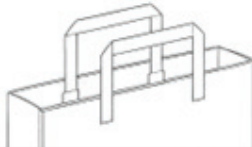

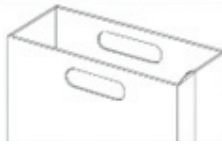
Мета статті. Метою статті є проведення дослідження експлуатаційних характеристик паперових пакетів з різними конструктивними типами ручок: встановлення закономірностей зміни вологовмісту крафт-паперу залежно від умов кліматичного середовища (ізотерми сорбції та десорбції) та визначення впливу вмісту вологи на міцність ручок пакетів для формування науково обґрунтованих рекомендацій щодо вибору оптимальної конструкції ручки відповідно до умов використання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єктами дослідження були паперові пакети, виготовлені з одного виду крафт-паперу, з чотирма конструктивними типами ручок (табл. 1: ручка у вигляді плоскої (багатошарової) паперової смужки (тип 1); ручка у вигляді скрученої паперової смужки (тип 2); ручка у вигляді вирізаного отвору без армування (тип 3); ручка у вигляді вирізаного отвору з армуванням картоном (тип 4). Обрані конструкції є найбільш поширеними у виробництві торгових паперових пакетів.

Усі пакети перед випробуваннями були піддані акліматизації при відносній вологості повітря 99 % та температурі 23 ± 1 °C і зберігалися в герметично закритих поліетиленових пакетах для запобігання зовнішнім впливам.

Таблиця 1

Конструктивні характеристики досліджуваних типів ручок паперових пакетів

Тип 1	Пакет з ручкою у вигляді багатошарової смужки паперу	
Тип 2	Пакет з ручкою у вигляді скрученої паперової смужки	
Тип 3	Пакет з ручкою у вигляді вирізаного отвору без армування	
Тип 4	Пакет з ручкою у вигляді вирізаного отвору з армуванням картоном	

Методика дослідження включала дві основні частини: визначення ізотерм сорбції та десорбції вологи в папері пакетів та дослідження міцності ручок пакетів при різних значеннях відносної вологості.

Визначення вологовмісту паперу здійснювалося гравіметричним методом відповідно до стандарту EN ISO 287 [10]. Зразки розміром 5×5 мм зважувалися з точністю до 0,0001 г. Вологість розраховувалася за формулою:

$$W = \frac{m_c - m_s}{m_c} \cdot 100\%, \quad (1)$$

m_s – маса сухої субстанції, г; m_c – маса готового продукту (перед висушуванням), г.

Час кондиціонування зразків без бар'єрних покриттів встановлювався відповідно до стандарту EN 26599-1:1992 [11] – не менше 24 год у стандартизованому середовищі. Для визначення ізотерм сорбції зразки акліматизували при відносній вологості повітря 0, 25 та 50 % (температура 23 ± 1 °C); для ізотерм десорбції — при відносній вологості 100, 75 та 50 %. Для кожного режиму було проведено 15 вимірювань.

Міцність на розрив паперу визначалась за стандартом ДСТУ EN ISO 1924-2:2022 [13] на розривній машині зі швидкістю навантаження 20 мм/хв та робочою довжиною 180 мм. Для проведення даних випробувань були розроблені та виготовлені спеціальні затискачі з гумовим шаром, який запобігає концентрації напруг у зоні контакту ручки з кронштейном. Це конструктивне рішення є принципово важливим, оскільки гострі кути кронштейна можуть спричинити передчасне руйнування зразка під час випробування.

Під час кріплення пакета в тримачі машини було встановлено, що затискання нижнього краю пакета призводило до вислизання одного з країв при натяганні ручки, що давало неточні результати. Тому було прийнято рішення затискати пакет за бічні поверхні.

Для пакетів з плоскою багатшаровою ручкою (тип 1) характерним видом руйнування було розшарування клейового з'єднання між ручкою та стінкою пакета — шов поступово відшаровувався під навантаженням, після чого відбувався повний відрив ручки. Під час випробувань пакета зі скрученою ручкою з паперової смужки (тип 2) були зафіксовані аналогічні закономірності руйнування, як і для багатшарової паперової ручки. Встановлено, що визначальний вплив на міцність конструкції мало клейове з'єднання, однак менша площа контакту спричиняла зниження загальної міцності ручки (рис.1).



Рис. 1. Паперовий пакет із ручками у вигляді скручених паперових смужок

Для пакетів з вирізаною ручкою без армування (тип 3) руйнування відбувалося миттєво — розрив паперу починався від крайніх точок отвору, де концентрація напруг була найбільшою, і поширювався по всій ширині стінки. Для армованої ручки (тип 4) картонна вставка перерозподіляла навантаження на більшу площу, тому руйнування проходило поетапно (рис. 2): спочатку виникав поперечний надрив у зоні з'єднання картону з папером, і лише після цього відбувався повний розрив ручки.

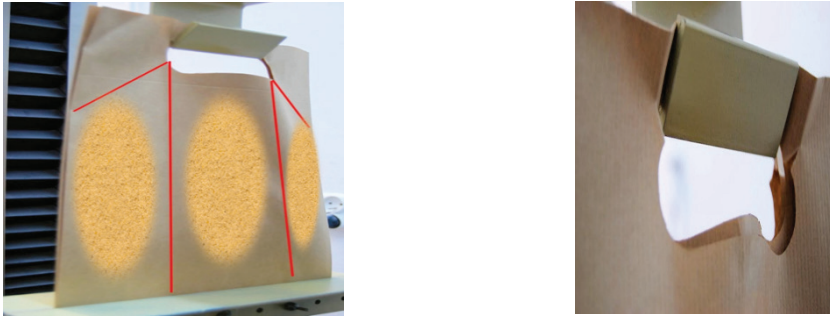


Рис. 2. Деформація та руйнування пакета з вирізаною ручкою під час випробувань

Випробування проводились при відносній вологості повітря 25 % та 75 % (після акліматизації зразків). Для кожного типу ручки виконувалось не менше трьох вимірювань. Якщо коефіцієнт варіації результатів перевищував 10 %, кількість зразків збільшувалась.

Дослідження зміни маси зразків пакетів з різними типами ручок у процесі сорбції та десорбції вологи показали характерний експоненційний характер кривих (рис. 3). Вологовміст зразків, акліматизованих на повітрі при 23 °С та відносній вологості (ВВ) 50 %, після перенесення з кліматичної шафи (ВВ = 99 % або ВВ = 0 %) змінювався за часом до стану рівноваги.

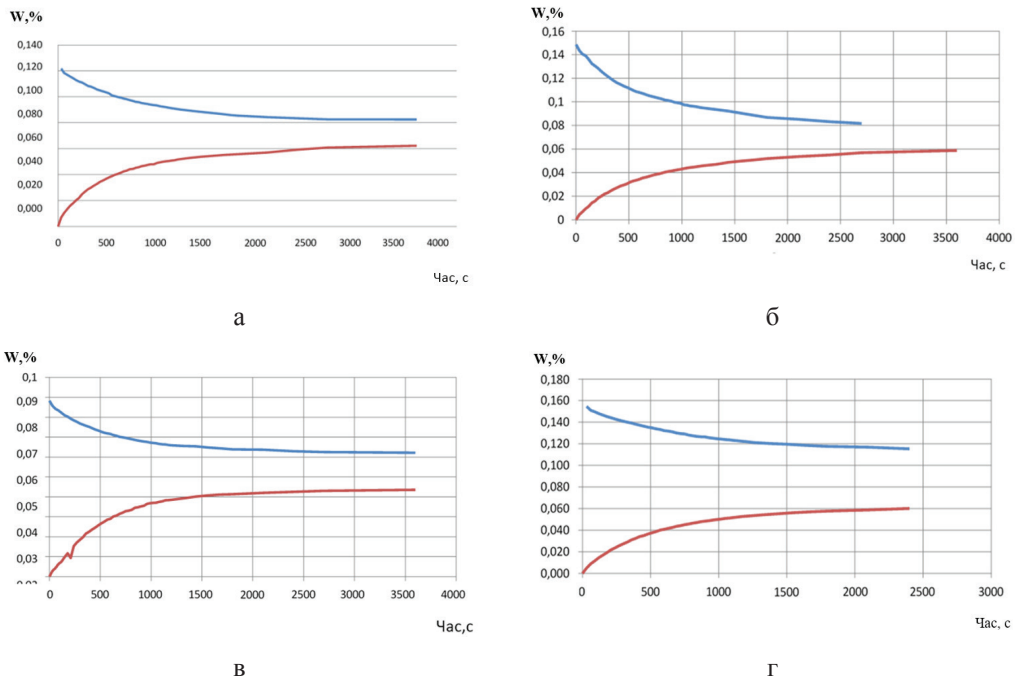


Рис. 3. Зміни вмісту вологи $W, \%$ з часом для пакетів з ручками: а – 1, б – 2, в – 3, г – 4

Аналіз результатів показав, що на вміст вологи в паперовому пакеті суттєво впливають: відносна вологість навколишнього повітря та тривалість перебування зразків у певних кліматичних умовах. Рівновага при зміні ВВ з 99 % до 50 % досягається повільніше, ніж при зміні з 0 % до 50 %, що пов'язано з гістерезисом ізотерм сорбції-десорбції целюлозних матеріалів [4, 7].

Ізотерми сорбції та десорбції для досліджуваних пакетів представлені на рис. 4. Встановлено наявність характерного гістерезису між кривими сорбції та десорбції, що є типовим явищем для целюлозних матеріалів [4, 5]. При однаковому значенні ВВ вміст вологи в зразку при десорбції вищий, ніж при сорбції.

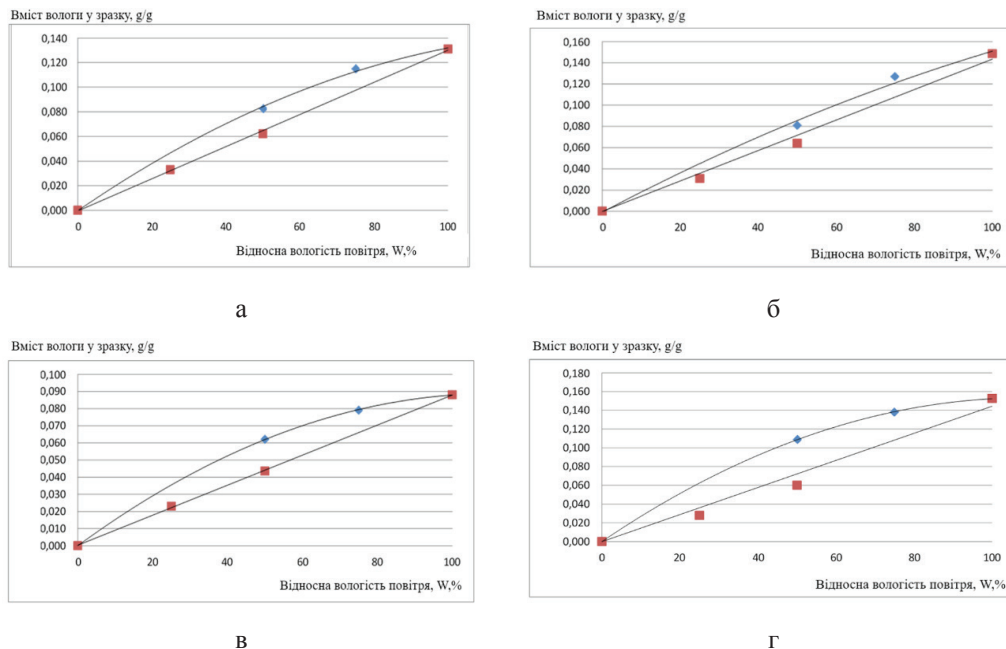


Рис. 4. Ізотерми сорбції та десорбції для пакетів з ручками : а – 1, б – 2, в – 3, г – 4

Різниця у вологовмісті між адсорбційною та десорбційною гілками досягає до 2–3 % залежно від значення відносної вологості, що має практичне значення для прогнозування поведінки пакетів в умовах змінного мікроклімату.

Результати дослідження вологовмісту зразків пакетів з різними типами ручок та часу досягнення рівноважного стану при відносній вологості повітря 25 % і 75 % наведено в таблиці 2.

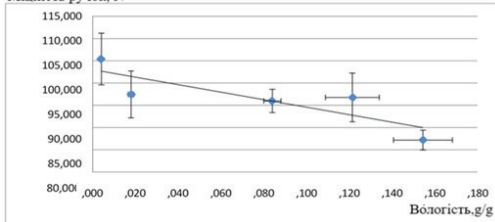
Аналіз даних табл. 2 свідчить, що вологовміст зразків при відносній вологості 75 % суттєво варіює залежно від конструкції ручки, тоді як при 25 % діапазон варіювання значно вужчий — сорбційні характеристики різних конструкцій зближуються в умовах низької вологості. Найповільніше рівноважний стан досягається для зразка 4 (вирізаний отвір з армуванням картоном), що пояснюється найбільшою товщиною та масою конструктивних елементів цього типу ручки, а найшвидше — для зразків 1 та 3 з меншою масою паперових елементів у зоні кріплення.

Таблиця 2

Результати дослідження показників вологовмісту та часу перебування зразків пакетів при певній вологості

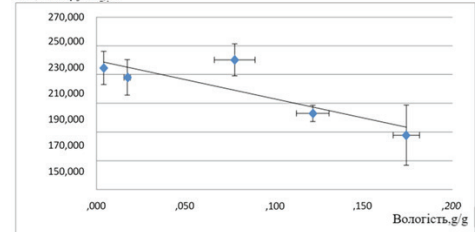
Відносна вологість повітря	Тип ручки				
	Показник	1	2	3	4
75 %	Вміст вологості, г/г	0,115	0,127	0,0791	0,138
	Час перебування у приміщенні, с	150	240	180	390
25 %	Вміст вологості, г/г	0,033	0,031	0,0231	0,028
	Час перебування у приміщенні, с	390	510	420	300

Міцність ручок, N



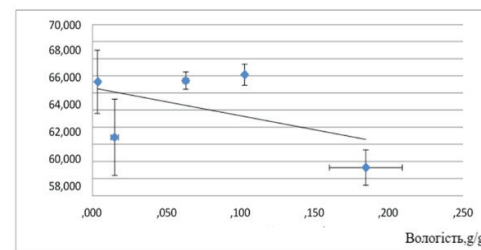
а

Міцність ручок, N



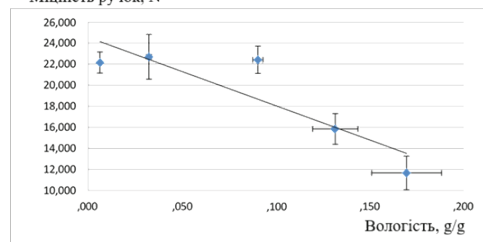
б

Міцність ручок, N



в

Міцність ручок, N



г

Рис. 5. Залежність міцності ручок пакетів : а – 1, б – 2, в – 3, г – 4 від вологовмісту

Результати досліджень міцності ручок при відносній вологості повітря 25 % та 75 % представлені на рис. 5. Загальна закономірність для всіх типів ручок полягає у зниженні міцності зі збільшенням вологовмісту паперу, що обумовлено ослабленням водневих зв'язків між целюлозними волокнами при насиченні вологою [6, 7].

Плоска багат шарова паперова ручка демонструє найвищу міцність серед усіх досліджуваних типів у діапазоні ВВ від 0 до 50 %. Це пояснюється більшою площею клейового з'єднання та рівномірнішим розподілом навантаження по довжині ручки. Клейове з'єднання мало вирішальний вплив на загальну міцність — якість та ширина шва (рекомендована від 5 до 30 мм) безпосередньо визначають несучу здатність конструкції.

Ручки у вигляді скрученої паперової смужки продемонстрували поведінку, подібну до плоских ручок, проте загальний рівень міцності є нижчим через меншу площу клейового контакту зі стінкою пакета.

При підвищеній вологості (ВВ 75–100 %) найвищу міцність забезпечували ручки з армуванням картоном у вигляді вирізаного отвору. Армування суттєво перерозподіляє навантаження від отвору на більшу площу стінки пакета, що запобігає концентрації напруг і розриву зволоженого паперу. Ручки у вигляді вирізаного отвору без армування показали найнижчу міцність у всьому діапазоні протестованих умов вологості. При випробуванні спостерігалося два характерні етапи руйнування: спочатку попереднє натягування матеріалу навколо отвору, а потім стрімкий розрив.

Висновки. В результаті проведення експериментальних досліджень експлуатаційних показників паперових пакетів з різними конструкціями ручок встановлено, що:

1. Міцність паперових пакетів суттєво залежить від конструктивних особливостей ручки та властивостей матеріалів, що використовуються для її виготовлення: якості та площі клейового з'єднання, стійкості паперу до розриву та загальних механічних характеристик матеріалу.

2. Плоска (багатошарова) паперова ручка забезпечує найвищу міцність при вологовмісті, що відповідає відносній вологості повітря до 50 %. Зі збільшенням вологовмісту в кожному досліджуваному типі ручок міцність знижується — ця закономірність узгоджується з відомими механізмами ослаблення міжволоконних водневих зв'язків целюлозної мережі при зволоженні.

3. При підвищеній вологості (75–100 %) найкращі показники міцності демонструють ручки з армуванням картоном у вигляді вирізаного отвору. Ручка у вигляді вирізаного отвору без армування має найнижчу міцність у всьому досліджуваному діапазоні вологості, що вказує на необхідність обов'язкового армування для пакетів, які використовуватимуться в умовах підвищеної вологості.

4. Встановлено наявність гістерезису між ізотермами сорбції та десорбції крафт-паперу: при однаковому значенні ВВ вміст води в папері при десорбції є вищим, ніж при сорбції. Цей факт необхідно враховувати при проектуванні паперових пакетів для застосувань в умовах циклічної зміни вологості.

5. Перспективними напрямками подальших досліджень є вивчення впливу типу та кількості шарів клею на міцність ручок, дослідження поведінки ручок при динамічних (ударних) навантаженнях, а також розробка математичних моделей прогнозування міцності ручок пакетів залежно від вологовмісту матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kraft Paper Shopping Bags Market Outlook from 2024 to 2034. *Future Market Insights*. 2024. URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/kraft-paper-shopping-bag-market>.
2. Paper Bags Market Size, Share & Forecast 2033. *Straits Research*. 2024. URL: <https://straitresearch.com/report/paper-bags-market>.
3. 2026 Sustainable Packaging Trends Report. *Sustainable Packaging Coalition*. 2026. URL: <https://sustainablepackaging.org/2026-sustainable-packaging-trends-report/>.

4. Parker M. E., Bronlund J. E., Mawson A. J. Moisture sorption isotherms for paper and paperboard in food chain conditions. *Packaging Technology and Science*. 2006. Vol. 19, No. 4. P. 193–209. DOI: <https://doi.org/10.1002/pts.719>.
5. Rhim J. W. Effect of moisture content on tensile properties of paper-based food packaging materials. *Food Science and Biotechnology*. 2010. Vol. 19, No. 1. P. 243–247. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0034-x>.
6. Humidity response of Kraft papers determined by dynamic mechanical analysis / G. Adriana et al. *Thermochimica acta*. 2013. Vol. 570. P. 33–40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2013.07.025>.
7. Humidity influence on mechanics of paper materials: joint numerical and experimental study on fiber and fiber network scale / B. Lin et al. *Cellulose*. 2022. Vol. 29, No. 2. P. 1129–1148. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04355-y>.
8. Humidity dependence of fracture toughness of cellulose fibrous networks / R. Spiewak et al. *Engineering fracture mechanics*. 2022. Vol. 264. Art. 108330. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2022.108330>.
9. Heat sealing evaluation and runnability issues of flexible paper materials in a vertical form fill seal packaging machine / M. Merabtene et al. *BioResources*. 2022. Vol. 17, No. 1. P. 223–242. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.17.1.223-242>.
10. EN ISO 287:2009. Paper and board — Determination of moisture content of a lot — Oven-drying method. International Organization for Standardization, 2009. 12 p.
11. EN 26599-1:1992. Packaging — Sacks — Conditioning for testing. International Organization for Standardization, 1992. 4 p.
12. ДСТУ EN ISO 1924-2:2022. Папір і картон. Визначення міцності при розтягуванні. Частина 2. Метод з постійною швидкістю деформації (20 мм/хв) (EN ISO 1924-2:2008, IDT; ISO 1924-2:2008, IDT). [Чинний від 2023-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 12 с.

REFERENCES

1. Future Market Insights. (2024). *Kraft paper shopping bags market outlook from 2024 to 2034*. <https://www.futuremarketinsights.com/reports/kraft-paper-shopping-bag-market>.
2. Straits Research. (2024). *Paper bags market size, share & forecast 2033*. <https://straitsresearch.com/report/paper-bags-market>.
3. Sustainable Packaging Coalition. (2026). *2026 Sustainable packaging trends report*. <https://sustainablepackaging.org/2026-sustainable-packaging-trends-report/>.
4. Parker, M. E., Bronlund, J. E., & Mawson, A. J. (2006). Moisture sorption isotherms for paper and paperboard in food chain conditions. *Packaging Technology and Science*, 19(4), 193–209. <https://doi.org/10.1002/pts.719>.
5. Rhim, J. W. (2010). Effect of moisture content on tensile properties of paper-based food packaging materials. *Food Science and Biotechnology*, 19(1), 243–247. <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0034-x>.
6. Adriana, G., Jussi, L., Robert, S., & Franz, S. (2013). Humidity response of Kraft papers determined by dynamic mechanical analysis. *Thermochimica Acta*, 570, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2013.07.025>.

7. Lin, B., Auernhammer, J., Schaefer, J. L., Meckel, T., Stark, R., Biesalski, M., & Xu, B. X. (2022). Humidity influence on mechanics of paper materials: Joint numerical and experimental study on fiber and fiber network scale. *Cellulose*, 29(2), 1129–1148. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04355-y>.
8. Spiewak, R., Vankayalapati, G. S., Considine, J. M., Turner, K. T., & Purohit, P. K. (2022). Humidity dependence of fracture toughness of cellulose fibrous networks. *Engineering Fracture Mechanics*, 264, Article 108330. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2022.108330>.
9. Merabtene, M., Tanninen, P., Varis, J., & Leminen, V. (2022). Heat sealing evaluation and runnability issues of flexible paper materials in a vertical form fill seal packaging machine. *BioResources*, 17(1), 223–242. <https://doi.org/10.15376/biores.17.1.223-242>.
10. International Organization for Standardization. (2009). *Paper and board — Determination of moisture content of a lot — Oven-drying method* (ISO Standard No. 287:2009). <https://www.iso.org/standard/44372.html>.
11. International Organization for Standardization. (1992). *Packaging — Sacks — Conditioning for testing* (ISO Standard No. 26599-1:1992). <https://www.iso.org/standard/12975.html>.
12. SE «UkrNDNC». (2022). *Paper and board. Determination of tensile properties. Part 2. Constant rate of elongation method (20 mm/min)* (DSTU EN ISO 1924-2:2022).

doi: 10.32403/2411-3611-2026-1-49-166-176

STUDY OF OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF PAPER BAGS

Ya. A. Boichuk¹, S. F. Havenko², M. T. Labetska³

¹ Lviv Polytechnic National University, 19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine, <https://orcid.org/0009-0000-2012-5925>, yaroslav.a.boichuk@lpnu.ua

² Lviv Polytechnic National University, 19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine, ORCID: 0000-0003-4973-5174, svitlana.f.havenko@lpnu.ua

³ Lviv Polytechnic National University, 19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0003-2818-051X>, marta.t.labetska@lpnu.ua

The rapid growth of the global paper packaging market, driven by environmental requirements and legislative restrictions on plastic use, makes research into the quality performance of paper bags highly relevant. The paper is devoted to the study of operational characteristics of paper bags with four handle types — flat multi-layer paper handle, twisted paper strip, cut-out hole without reinforcement, and cut-out hole reinforced with a cardboard insert — subjected to loads arising during use. A key aspect of this study is the determination of the effect of paper moisture content on its strength properties. Four types of paper bag handles made from the same kraft paper were selected for comparative analysis. Moisture sorption and desorption isotherms were determined gravimetrically according to EN ISO 287, and handle strength was assessed using a tensile testing machine equipped with specially designed rubber-padded clamps. Sample conditioning was performed at relative humidity levels of 0–100 % at a temperature

of 23 ± 1 °C. The study established that the strength of paper bag handles significantly depends on the design of the handle, the quality of adhesive joints, and the moisture content of the paper. Flat multi-layer paper handles demonstrated the highest strength at moderate humidity levels (up to 50 % RH), while cut-hole handles reinforced with a cardboard insert provided the highest strength at elevated humidity (75–100 % RH). Cut-hole handles without reinforcement showed the lowest strength across the entire range of tested conditions. Sorption and desorption hysteresis of the kraft paper was confirmed — at the same relative humidity value, moisture content during desorption is higher than during sorption, which must be considered in bag design for variable-humidity applications. The obtained results provide a scientifically grounded basis for selecting the optimal handle construction depending on the conditions of use and contribute to the development of rational design solutions for paper bag packaging.

Keywords: paper bags, kraft paper, moisture content, sorption and desorption isotherms, strength, handle design, reinforcement, operational characteristics.

Стаття надійшла до редакції 15.05.2026.

Submitted: 15.05.2026.

Прийнято до друку: 17.05.2026.

Accepted: 17.05.2026.

Опубліковано: 20.05.2026.

Published: 20.05.2026.