

УДК 676.27

**ВСТАНОВЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПАРАМЕТРА КАРТОНУ
ЯК ФАКТОРА МІНІМІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ПАКУВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА**

В. Б. Репета, О. Б. Гаврилишин, О. В. Криховець, В. Ц. Жидецький

*Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна*

Результати статистичного аналізу проходження процесу пакування двадцяти замовлень з використанням п'яти зразків пакувального картону показали, що у випадку застосування деяких видів картонних заготовок спостерігається більша кількість зупинок потокової пакувальної лінії. Для з'ясування причини технічних зупинок було проведено визначення структурних показників зразків картону і жорсткості з встановленням можливої кореляції між ними для визначення показника, який можна використати як прогностичний при попередньому оцінюванні поведінки заготовок пакування у досліджуваному пакувальному процесі. Аналіз результатів з визначення структурних показників картону і показника жорсткості вказав на відсутність кореляції між ними, що унеможливорює використання показників маси, густини і пухкості картону як прогностичних.

Встановлено, що отримані результати мікроскопічного і хімічного аналізів зразків картону корелюються з показниками їх жорсткості, а самі мікрофотографії структури картону можуть слугувати шаблоном для порівняння з наступними зразками картону і створенням розуміння у різниці волокнистого складу між зразками. Жорсткість пакувального картону для досліджуваного пакувального процесу має бути більшою ніж $11 \text{ мН} \times \text{м}$.

Ключові слова: пакування, картон, структурні показники, мікроскопічний аналіз, жорсткість, відходи.

Постановка проблеми. У 2022 році обсяг ринку картонних пакувань оцінювався в розмірі 131,3 мільярда доларів США, а до 2030 року, за прогнозами, досягне 197,2 мільярда доларів США, зростаючи у середньому на 4,5 % з 2023 до 2030 року [1]. Такий стрімкий подальший розвиток пакувальної індустрії сприяє широкому використанню різноманітних типів пакувального картону, який підлягає обробці у поліграфічних процесах з наступним завантаженням пакувальних ліній. Відомо, що картон — багат шаровий волокнистий матеріал, який виготовляється у різних варіантах комбінації шарів з волокон целюлози, деревної або макулатурної маси. Картон здебільшого використовується для фармацевтичних пакувань, пакувань харчових продуктів і напоїв, для товарів тривалого та нетривалого користування, промислових та косметичних пакувань. Основною перевагою пакувального картону є те, що значна кількість картону є придатною для переробки і зменшує відходи і вирубку лісів. Сьогодні споживачі віддають перевагу здатності до вторинної

переробки та біорозкладання як важливого споживчого показника. Дві третини (67 %) споживачів вважають важливим, щоб продукти, які вони купують, були в пакуваннях, які підлягають переробці [2], і такий самий відсоток вважають себе екологічно обізнаними [3]. Щодо заходів, запланованих у ЄС, то планується до 2030 року збільшити переробку пакувань з паперу і картону до 85 % [4].

Пакувальний картон відрізняється низкою переваг, а саме: екологічність, достатня міцність, відносна універсальність, здатність задруковуватися, утилізація і придатність до багаторазової переробки [5].

Основною умовою якісного проходження процесу пакування фармацевтичної продукції є відповідність пакувального картону вимогам, що ставляться до нього. Невідповідність пакувального картону за такими параметрами, як маса 1 м^2 , товщина, густина/пухкість, композиційний волокнистий склад може призвести до порушень у технологічному процесі пакування, а отже, до надлишку відходів виробництва та простоїв технологічного устаткування. В ЄС розроблено ієрархічний підхід щодо поводження з відходами пакувань, першим щаблем якого є заходи із запобігання збільшення кількості відходів [6]. Саме тому важливим елементом технології пакування фармацевтичної продукції є попереднє комплексне визначення властивостей пакувального картону та прогнозування його поведінки у технологічному процесі з подальшою мінімізацією утворення відходів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Якщо говорити про пакування з картону різного типу, то чітко виокремлюють такі наукові напрями. Більшість праць стосуються саме операції штанцювання заготовок, бігування, оцінки ефективності використання пакувальних матеріалів і енергоощадних технологій та засобів виготовлення пакувань [7–10]. Іншим напрямом є дослідження, присвячені якості друкування, оздоблення, формування елементів шрифту Брайля [11–13]. Потрібно зазначити, що здебільшого у працях об'єктом дослідження є гофрокартон [14, 15]. Відповідно, питання прогностичного оцінювання поведінки заготовки саме пакувального картону у процесі пакування продукції на потоковій лінії не розглядалося.

Мета статті — встановлення прогностичного показника, який можна використати для оцінювання поведінки заготовок з відповідного пакувального картону у процесі пакування фармацевтичної продукції.

Виклад основного матеріалу дослідження. На рис. 1 показано результати статистичного аналізу проходження процесу пакування 20 найменувань продукції з використанням заготовок, виготовлених з п'яти зразків пакувального картону.

Результати аналізу показують, що для процесу пакування з використанням заготовок з картону № 5 є характерною велика кількість зупинок з отриманням відходів у вигляді деформованих зразків. Для з'ясування виникнення такої проблеми у процесі пакування було проведено визначення таких структурних показників картону: маси 1 м^2 , товщини, густини і пухкості. Під час дослідження були використані такі методики:

- масу 1 м^2 визначено шляхом зважування зразків $50 \times 50 \text{ мм}$ на електронній вазі Axis D50 з точністю 0,0001 г, згідно зі стандартом ISO 536-2013 [16];

- товщину картону визначено на товщиномірі ТИБ з точністю до 0,01 мм, згідно зі стандартом ISO 534:2011 [17];
- густину розраховували як відношення маси аркуша картону до його товщини [17];
- *пухкість* картону (см³/г) розраховували як величину, яка є оберненою його густині.

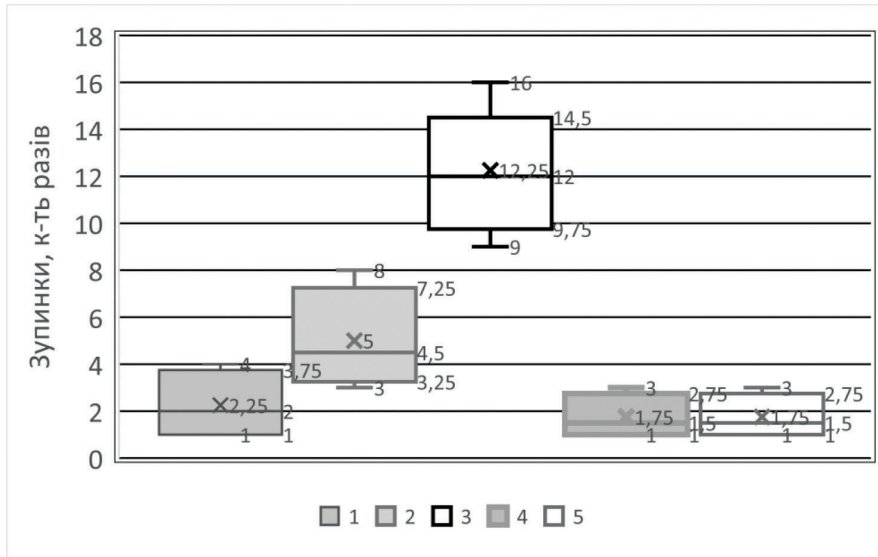


Рис. 1. Статистичний аналіз якості процесу пакування фармацевтичної продукції з використанням заготовок: 1 — зразок картону № 1; 2 — зразок картону № 2; 3 — зразок картону № 5; 4 — зразок картону № 3; 5 — зразок картону № 4

Результати дослідження структурних показників зразків картону показано у табл. 1.

Як видно з табл. 1, маса зразків картону є в межах 118–141 м², товщина — 0,42–0,46 мм, що вказує на орієнтування замовника, насамперед на останній показник.

Таблиця 1

Структурні показники пакувального картону

Зразок*	Маса, г/м ²	Товщина, мм	Густина, г/см ³	Пухкість см ³ /г
1	139,1	0,42	0,331	3,019
2	117,5	0,418	0,281	3,557
3	141,1	0,425	0,332	3,012
4	129,7	0,46	0,282	3,547
5	141,4	0,44	0,321	3,112

Жорсткість картону визначали згідно зі стандартом ISO 5628-2012 [18, 19]. Зразки картону шириною 15 мм вирізали із запропонованих пакувань у повздовжньому напрямку пакування (рис. 1), де їх довжина становитиме 100 мм і більше, як це вимагають розрахунки зі стандарту. Навантаження на смужки картону становило 10 г.

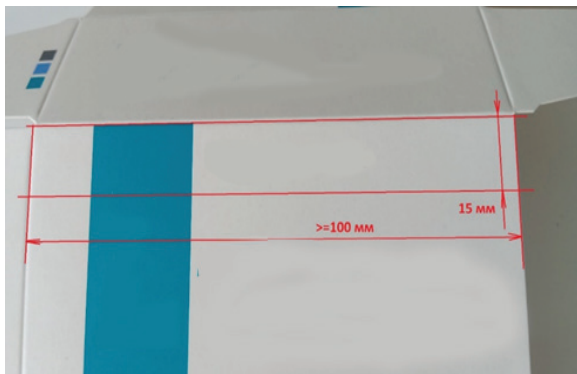


Рис. 2. Принцип отримання зразків картону для визначення жорсткості

Потрібно звернути увагу на те, щоб на отриманих зразках не було фрагментів блінтового чи конгревного тиснення, оскільки цей тип оздоблення руйнує структуру і може вплинути на результат визначення показника жорсткості.

Мікроскопічний і хімічний аналізи проводили з використанням цифрового мікроскопа із збільшенням $\times 100$ і тестового розчину — флороглуцину.

Таблиця 2

Результати визначення жорсткості зразків пакувального картону

Зразок	Позиція 1	Позиція 2	Прогинання зразка, мм	Жорсткість, мН \times м
1	22,5	10	12,5	10,89
2	22,5	9	13,5	10,08
3	22,5	13	9,5	14,33
4	22,5	12	10,5	12,96
5	22,5	6,4	16,1	8,51

Отримані результати показують, що максимальну жорсткість має картон зразків № 3 і № 4, у яких показник пухкості відрізняється в широких межах. Це вказує насамперед на високий вміст волокон у композиції картону № 3 і пористість картону № 4, про це також вказує низька маса 1 м². Якщо ж порівняти показник жорсткості зразка картону № 5, то виявилося, що він є мінімальний, хоча за структурними показниками цей картон є близьким до інших. Зразок № 2 характеризується невисокою жорсткістю 10,08 мН \times м, порівняно з іншими зразками, але це пояснюється великим значенням пухкості (максимальним з усіх зразків картону),

на що також вказує найменше значення маси — 117,5 г/м². Зразок картону № 1 за структурними показниками є близьким до зразка № 3, але поступається йому за показником жорсткості. Аналіз результатів з визначення структурних показників картону (табл. 1) і жорсткості (табл. 2) показав на відсутність кореляції між ними, що унеможливує використання показників густини і пухкості картону як прогностичні для прогнозування поведінки картону у процесі пакування.

Для встановлення такої різниці у показниках було проведено мікроскопічний і хімічний аналіз зразків картону. Зразки пакувального картону після відокремлення верхнього крейдованого шару розглядали під мікроскопом і встановлювали характер і ступінь розмелу рослинних волокон. Для аналізу складу за волокном використали хімічний експрес-метод визначення вмісту волокнистих напівфабрикатів із застосуванням розчину флороглюцину, який дає характерну яскраво-червону (малинову) кольорову реакцію з лігніном.



Рис. 3. Вигляд волокон у композиційному складі картону зразків № 1, 3 і 4



Рис. 4. Вигляд волокон у композиційному складі картону зразків № 2

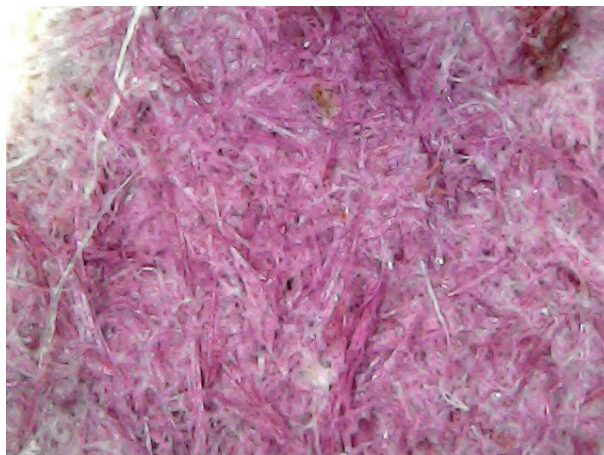


Рис. 5. Вигляд волокон у композиційному складі картону зразка 5

Як видно з рис. 3, композиція за волокном характеризується наявністю довговолокнистої фракції, водночас розглядається значна кількість незабарвлених волокон — целюлозних. У зразку № 2 (рис. 4), окрім наявності довгих рослинних волокон, візуально спостерігається наявність пустот між ними. Наявність довговолокнистої фракції волокон целюлози і деревної маси є передумовою забезпечення достатньої жорсткості пакувального картону. Якщо проаналізувати рис. 5, то спостерігається наявність коротких дрібних волокон деревної маси (щільність забарвлення рослинних волокон висока), присутність целюлозних волокон у композиції картону є незначною, що й пояснює низькі міцнісні показники картону, порівняно з іншими зразками. Ці візуальні результати добре корелюються з результатами дослідження жорсткості картону. Отже, було встановлено можливість використання мікроскопічного і хімічного аналізів композиційного складу картону для швидкого прогнозування поведінки картону у технологічному пакувальному процесі за однієї умови — незначної різниці у масі 1 м^2 та товщини.

Висновки. Отже, мікроскопічно-хімічний аналіз дає змогу спрогнозувати поведінку пакувального картону. Наявність довговолокнистих фракцій деревної маси і целюлози вказують на більшу міцність картону та жорсткість. Отримані результати мікроскопічного та хімічного аналізів зразків картону корелюються з показниками їх жорсткості. Мікрофотографії структури картону можуть слугувати шаблоном для порівняння з наступними зразками картону і створенням розуміння у різниці волокнистого складу між зразками картону та спрогнозувати його поведінку у процесі. Жорсткість пакувального картону при дотримуванні вищепописаних режимів дослідження приблизно має бути більше ніж $11 \text{ мН} \times \text{м}$.

Заходи щодо попереднього аналізу композиційного складу картону за волокном при незмінних межах за товщиною дають змогу уникнути багаторазових технологічних зупинок і зробити досліджуваний пакувальний процес максимально безвідходним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Folding Carton Packaging Market Size And Forecast. URL: <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/folding-carton-packaging-market/#:~:text=Folding%20Carton%20Packaging%20Market%20size%20was%20valued%20at,a%20CAGR%20of%204.5%25%20from%202023%20to%202030>.
2. Manning Lauren. Consumer demand for sustainable packaging holds despite pandemic. Published, April 27, 2021. URL: <https://www.fooddiver.com/news/consumer-demand-for-sustainable-packaging-holds-despite-pandemic/599013>.
3. Global Buying Green Report 2021. Trivium Packaging. URL: <https://www.triviumpackaging.com/media/zvtht1t/2021buyinggreenreport.pdf>.
4. Packaging waste EU rules on packaging and packaging waste, including design and waste management. URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste_en.
5. Кривошей В. М. Упаковка в українських реаліях. 2-ге вид., допов. Київ : ІАЦ Упаковка, 2023. 356 с.
6. European Green Deal: Putting an end to wasteful packaging, boosting reuse and recycling, 30 November, 2022. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7155.
7. Регей І. І., Млинко О. І. Оцінка ефективності використання пакувальних матеріалів. Упаковка. 2012. № 1. С. 34–36.
8. Регей І. І. Енергоощадна технологія і засоби виготовлення розгортки картонного пакування. 2009. 176 с.
9. Rehei I. I., Ternytskyi S. V., Ivaskiv B. R. Development of die-cutting press programmable displacement of pressure plate. Perspectives of world science and education: 8th International scientific and practical conference (Osaka, Japan, April 22–24, 2020). Osaka, 2020. Pp. 152–157.
10. Четербух О. Ю., Шахбазов Я. О. Удосконалення приводного механізму рухомої натискної плити плоскоштанцювального преса. Наукові записки [Української академії друкарства]. 2023. № 1 (66). С. 164–171.
11. Гавенко С. Ф., Бернацек В. В., Лабецька М. Т. Дослідження впливу способів нанесення зображень на якість пакувань, виготовлених з кашированого мікрогофрокартону. Технологія і техніка друкарства. 2020. № 1/2. С. 4–13.
12. Змочування картонів фотополімеризаційноздатними лаками / Шибанов В. В., Репета В. Б., Муравський Л. І., Вороняк Т. І. Наукові записки [Української академії друкарства]. 2002. № 5. С. 58–62.
13. Маїк В. З. Дослідження впливу процесів нанесення шрифту Брайля на стійкість картонів до продавлювання. Наукові записки [Української академії друкарства]. 2014. № 1–2. С. 24–27.
14. Ran Jilin, Liu Changli. Modeling of the Stiffness of Corrugated Cardboard Considering Material Non-linear Effect. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1187. Issue 3.
15. Investigation of Quality of Packaging Made of Laminated Micro-Corrugated Cardboard / Havenko S., Bernatsek V., Ryvak P., Labetska M. Технологія і техніка друкарства. 2018. Вип. 4. С. 18–26.
16. ISO 536:2012 Paper And Board - Determination Of Grammage.

17. ISO 534:2011 Paper And Board - Determination Of Thickness, Density And Specific Volume.
18. ISO 5628:2019 Paper And Board - Determination Of Bending Stiffness - General Principles For Two-Point, Three-Point And Four-Point Methods.
19. Токарчик З. Г., Репета В. Б., Слободяник В. Г. Поліграфічні і пакувальні матеріали: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка». Львів : Українська академія друкарства, 2018. 44 с.

REFERENCES

1. Folding Carton Packaging Market Size And Forecast. Retrieved from <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/folding-carton-packaging-market/#:~:text=Folding%20Carton%20Packaging%20Market%20size%20was%20valued%20at,a%20CAGR%20of%204.5%25%20from%202023%20to%202030> (in English).
2. Manning, Lauren. (April 27, 2021). Consumer demand for sustainable packaging holds despite pandemic. Published. Retrieved from <https://www.fooddive.com/news/consumer-demand-for-sustainable-packaging-holds-despite-pandemic/599013> (in English).
3. Global Buying Green Report 2021. Trivium Packaging. Retrieved from <https://www.trivium-packaging.com/media/zvtht1t/2021buyinggreenreport.pdf> (in English).
4. Packaging waste EU rules on packaging and packaging waste, including design and waste management. Retrieved from https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste_en (in English).
5. Kryvoshei, V. M. (2023). Upakovka v ukrainskykh realiakh. Kyiv : IATs Upakovka (in Ukrainian).
6. European Green Deal: Putting an end to wasteful packaging, boosting reuse and recycling, 30 November, 2022. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7155 (in English).
7. Rehei, I. I., & Mlynko, O. I. (2012). Otsinka efektyvnosti vykorystannia pakuvalnykh materialiv: Upakovka, 1, 34–36 (in Ukrainian).
8. Rehei, I. I. (2009). Enerhooshchadna tekhnolohiia i zasoby vyhotovlennia rozghortok kartonnoho pakovannia (in Ukrainian).
9. Rehei, I. I., Ternytskyi, S. V., & Ivaskiv, B. R. (2020). Development of die-cutting press programmable displacement of pressure plate. Perspectives of world science and education: 8th International scientific and practical conference (Osaka, Japan, April 22–24, 2020). Osaka, 152–157 (in English).
10. Cheterbukh, O. Yu., & Shakhbazov, Ya. O. (2023). Udoskonalennia pryvodnoho mekhanizmu rukhomoi natysknoi plyty ploskoshtantsiuvalnoho presa: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva], 1 (66), 164–171 (in Ukrainian).
11. Havenko, S. F., Bernatsek, V. V., & Labetska, M. T. (2020). Doslidzhennia vplyvu sposobiv nanesennia zobrazhen na yakist pakovan, vyhotovlenykh z kashyrovanooho mikrohofrokartonu: Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva, 1/2, 4–13 (in Ukrainian).
12. Shybanov, V. V., Repeta, V. B., Muravskiy, L. I., & Vroniak, T. I. (2002). Zmochuvannia kartoniv fotopolimeryzatsiinozdatnyimi lakamy: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva], 5, 58–62 (in Ukrainian).

13. Maik, V. Z. (2014). Doslidzhennia vplyvu protsesiv nanesennia shryftu Brailia na stikist kartoniv do prodavliuvannia: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva], 1–2, 24–27 (in Ukrainian).
14. Ran, Jilin, & Liu, Changli. Modeling of the Stiffness of Corrugated Cardboard Considering Material Non-linear Effect: Journal of Physics: Conference Series, 1187, Issue 3 (in English).
15. Havenko, S., Bernatsek, V., Ryvak, P., & Labetska, M. (2018). Investigation of Quality of Packaging Made of Laminated Micro-Corrugated Cardboard: Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva, 4, 18–26 (in English).
16. ISO 536:2012 Paper And Board - Determination Of Grammage (in English).
17. ISO 534:2011 Paper And Board - Determination Of Thickness, Density And Specific Volume (in English).
18. ISO 5628:2019 Paper And Board - Determination Of Bending Stiffness - General Principles For Two-Point, Three-Point And Four-Point Methods (in English).
19. Tokarchyk, Z. H., Repeta, V. B., & Slobodianyuk, V. H. (2018). Polihrafichni i pakuvalni materialy: metodychni vkazivky do vykonannia laboratornykh robit dlia studentiv spetsialnosti 131 «Prykladna mekhanika». Lviv : Ukrainska akademiia drukarstva (in Ukrainian).

doi: 10.32403/1998-6912-2023-2-67-229-238

DETERMINATION OF THE OPTIMAL CARDBOARD PARAMETER AS A FACTOR OF PACKAGING PRODUCTION WASTE MINIMIZATION

V. B. Repeta, O. B. Havrylyshyn, O. V. Krykhovets, V. Ts. Zhydetskii

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
vreneta@gmail.com*

The results of the statistical analysis of the packaging process of 20 orders using five samples of packaging cardboard show that in the case of using some types of cardboard blanks, there is a greater number of stoppages of the flow packaging line. In order to find out the reason for technical stops, the structural indicators of cardboard are determined: thickness, mass of 1 m², density, looseness and stiffness indicators, with the establishment of a possible correlation between them to determine an indicator that can be used as a prognostic factor in the preliminary assessment of the suitability of packaging blanks in the packaging process. The results analysis of determining the structural parameters of the cardboard and the stiffness index show the absence of correlation between them, which makes it impossible to use the density and looseness indicators of the cardboard as prognostic ones. In addition, microscopic and chemical analyses of plant fibres of the cardboard samples composition are carried out using a digital microscope with 100 magnification and a test solution – phloroglucin. The reagent used gives a characteristic bright red colour as a result of chemical reaction interaction with lignin.

The obtained results of microscopic analysis and chemical analyses of cardboard samples are correlated with their stiffness indicators. The presence of long-fibre fractions of wood mass and cellulose indicate greater strength of cardboard and, accordingly, stiffness. Therefore, micrographs of the cardboard structure can serve as a template to be compared with subsequent cardboard samples and to create an understanding of the difference in fibre composition between cardboard samples (with a constant range of cardboard mass). In turn, the research shows that the stiffness of the packaging cardboard for the researched packaging process should not be lower than 11 mN×m. Measures related to the preliminary analysis of the cardboard composite composition by fibre with constant grammage limits will avoid multiple technological stops and make the researched packaging process as waste-free as possible.

Keywords: *packaging, carton, structural indicators, microscopic analysis, stiffness, waste.*

Стаття надійшла до редакції 21.08.2023.

Received 21.08.2023.