

**Мовчанюк О.М.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ВОДИ НА ШВИДКІСТЬ ПРОСОЧЕННЯ ВІДХОДІВ ПАКОВАННЯ ПЮР-ПАК

*Стаття присвячена актуальній проблемі – переробленню ламінованої вторинної волокнистої сировини, що важко розпускається. Зазначено причини таких технологічних складнощів. Головною причиною називається обмежена площа контакту з водою картону, що знаходиться між шарами полімеру. Основною задачею у подоланні проблем перероблення ламінованої макулатури є процес відокремлення шарів полімеру від волокнистого шару картону. Наведено приклади сучасних технологій, які пов'язані з використанням хімічних речовин неорганічного і органічного походження та суміші різних речовин. Зазначено, що суттєвим недоліком використання хімічних речовин є те, що вони, разом з продуктами їх хімічної взаємодії, залишаються в готовому папері та картоні, а також накопичуються в оборотній воді, чим створюють інші проблеми. Тому розроблення ефективних технологій відокремлення полімерних шарів без використання хімічних речовин є актуальною задачею.*

*Для дослідження була вибрана макулатура з використаної упаковки Пюр-Пак, що широко використовується для зберігання рідких молочних продуктів. Метою даного дослідження було визначення впливу температури води на ефективність просочення відходів використання такого пакування.*

*Досліджено вплив температури води в діапазоні 15 – 60 °С на ефективність просочення ламінованої макулатури впродовж 150 хв. Отримано та проаналізовано залежності між тривалістю просочування зразків і показником водопоглинання за різних значень температури. Доведено, що збільшення температури води сприяє інтенсифікації процесу просочування. Найменше значення водопоглинання зафіксовано за температури 15 °С, найбільше – за 60 °С. За результатами досліджень отримано математичні моделі. Встановлено, що збільшення температури води під час просочування зразків макулатури з 15 до 60 °С дозволить підвищити ефективність процесу до 8 разів.*

*Отримані результати допоможуть підвищити ефективність процесу розпускання ламінованої макулатури та удосконалити технологію її перероблення.*

**Ключові слова:** ламінована макулатура, упаковка Пюр-Пак, технологія перероблення, температура води, швидкість просочення.

**Постановка проблеми.** Вторинна сировина сьогодні широко використовується в багатьох галузях промислового виробництва. Паперова промисловість не є виключенням. В Україні використання вторинної волокнистої сировини має особливе значення як з економічної, так і з екологічної точки зору, оскільки більшість вітчизняних паперових підприємств виробляють свою продукцію з макулатури. Зважаючи на таку ситуацію, чітко прослідковуються такі стійкі тенденції як дефіцит макулатури в країні і погіршення її якості, що, в свою чергу, призводить до зниження якості готової картонно-паперової продукції, що виробляється.

Зазначені вище проблеми змусили виробників паперової галузі звернути увагу на ті марки макулатури, які через технологічні складнощі їх перероблення довго залишалися поза увагою і які згідно чинного державного стандарту [1, с. 2] віднесені до групи Г і характеризуються тим, що важко розпускаються.

Особливо привабливою і для дослідників, і для виробників залишається макулатура марки МС-12Г (відходи виробництва, перероблення та використання паперу та картону металізованого, з поліетиленовим покриттям (з алюмінієвою фольгою або без неї) [1, с. 4]. Основною причиною цього є цінне целюлозне волокно одного циклу перероблення, що міститься в такій макулатурі. До цієї марки макулатури відноситься і відходи пакування для тривалого і нетривалого зберігання рідких та пастоподібних харчових продуктів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні вже проведено багато досліджень і розроблено велику кількість технологій перероблення такої макулатури. В основу багатьох з них покладено використання індивідуальних неорганічних речовин або їх сумішей, наприклад, суміші сульфату натрію, сульфату натрію та гідроксиду натрію або суміші у складі сульфатів натрію і калію, сульфату натрію та гідроксиду натрію.

Такі суміші не розчиняють ні пластик, ні картонний шар, але розчиняють алюміній і клей, тим самим руйнуючи зв'язки між картонним шаром і полімерною плівкою [2, с. 4].

Відомі також технології, коли шари полімерні шари відокремлюють за допомогою оброблення ламінованої макулатури органічною кислотою або сумішшю органічних кислот (мурашиної, оцтової, пропіонової, бутанової кислот та інших аналогічних летких органічних речовин). Оброблення здійснюють за високої температури (80°C), що перевищує температуру спалаху оцтової кислоти. Це не лише потребує великої кількості енергії, але також збільшує загрозу безпеці. Суміш, що використовується, є дуже агресивною у зв'язку з високою концентрацією (80%) оцтової кислоти. Суміш буде атакувати алюмінієві компоненти та призведе до утворення водню, а також до втрати алюмінію [3, с. 5].

Але незалежно від виду використовуваних хімічних речовин, всі продукти їх хімічного впливу, як і компоненти вихідної суміші в результаті частково залишаються в готовому папері (картоні), а переважно опиняються в оборотній воді, створюючи вторинні проблеми. І це без урахування економічної складової, адже всі ці речовини коштують немало. Тому розроблення технологій відокремлення полімерних шарів від картону без використання хімічних речовин є актуальною задачею.

**Метою** даного дослідження було визначення впливу температури води на ефективність просочення відходів використання ламінованого пакування Pure-Pak для рідких молочних продуктів.

**Виклад основного матеріалу.** Основною проблемою у технології перероблення ламінованої макулатури є процес відокремлення полімерних шарів від волокнистого шару картону. Традиційно при зволоженні сухої макулатури вода в результаті фізико-хімічних процесів проникає в пори аркуша, послаблює водневі зв'язки між сусідніми волокнами, розсуває їх та в подальшому викликає набухання. Відбувається розрив водневих зв'язків між волокнами та заміщення цих зв'язків слабкими водними містками. У випадку ламінованої макулатури, коли з обох сторін картонний аркуш вкритий полімерним шаром, відбувається обмежений контакт з водою, лише через торцеві поверхні, що мають незначну площу контакту. Тому швидкість просочення картону водою буде залежати від капілярних сил, в результаті дії яких вода від торців зразка буде транспортуватися у середину картонного шару [4, с. 72].

На рисунку 1, б зображено упаковку Pure-Pak із двохстилим верхом компанії Elopak, що залишається однією з найпопулярніших у світі упаковок для молока та сокових продуктів. Вторинна упаковка Pure-Pak (рис. 1, а) забезпечує надійну доставку продукції до споживача [5].

Поглинання рідких серед целюлозним волокном переважно здійснюється шляхом капілярного всмоктування рідини в міжволоконні простори і люмени волокон; на цій стадії, що протікає з великою швидкістю, значення сорбції досягають сотень відсотків [6, с. 48]. Активація сорбції води волокнами картонного шару може суттєво пришвидшити процес деламінування під час розпускання, що призведе до зниження витрат електроенергії та втрат волокна.



**Рис. 1. Пакування Pure-Pak компанії Elopak**  
а – вторинне; б – первинне

Для дослідження використовували відходи пакування Pure-Pak компанії Elopak для нетригального зберігання рідких молочних продуктів (шар фольги відсутній). Слідкували за тим, щоб підготовлені зразки розміром 30x50 мм не мали пластикових фрагментів та механічних пошкоджень (згинів та заломів). Для просочення зразків використовували скляну ємність з дистильованою водою. Для підтримування постійної температури води під час всього часу просочування (150 хвилин) використовували термостат.

Раніше аналогічні дослідження були виконані для асептичного пакування (з шаром фольги) [7]. Дослідження проводилися за цією ж методикою. Водопоглинання картонного шару оцінювали за відносним приростом маси зразка ( $q, \%$ ) після певного часу просочування і визначали за формулою:

$$q = \frac{m_k - m_n}{m_n} \cdot 100,$$

де  $m_n$  і  $m_k$  – маса зразка до і після просочення, г, відповідно

Результати досліджень представлено на рис. 2.

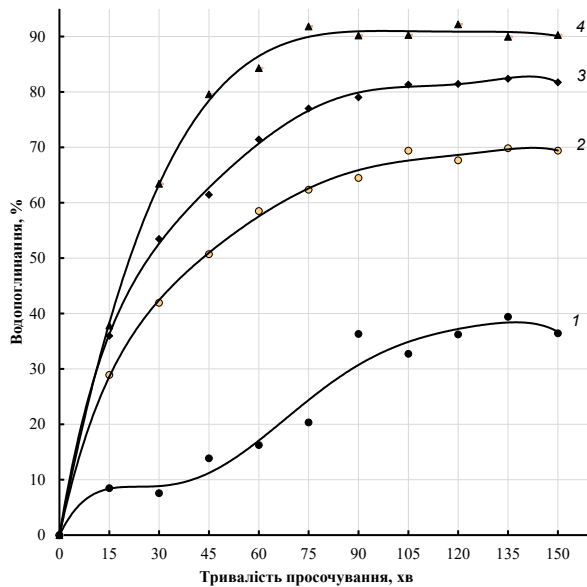


Рис. 2. Залежність вологопоглинання від тривалості просочення за різних значень температури води  
1, 2, 3, 4 – температура води 15, 35, 45, 60°C

Аналіз графічних даних демонструє чітку залежність швидкості вологопоглинання від температури води під час просочування зразків. Збільшення температури води сприяє інтенсифікації процесу просочення. Найменші значення вологопоглинання отримано за температури 15°C, найбільші – за температури 60°C. Так для досягнення

волопоглинання 30 % за температури 15°C знадобилося 87 хв, за 35°C – 16 хв, а за 45 і 60°C виявилось достатнім 11 хв просочування, тобто ефективність процесу в останньому випадку збільшилася майже у 8 разів. На дослідженій ділянці часу 90 % волопоглинання вдалося досягти лише за температури просочування 60°C, для цього знадобилося 75 хв. Просочення ж за температури 15°C не дозволило досягти значення вологопоглинання у 40 %.

За допомогою функції «Лінія тренда» програми MS Excel 2010 було виконано апроксимацію експериментальних залежностей. Отримані однофакторні математичні моделі для досліджених значень температури представлено в таблиці 1. Всі моделі є поліноміальними функціями, що адекватно описують залежності вологопоглинання від загального часу просочування зразків, зі ступенем апроксимуючого полінома 6.

**Висновки.** Таким чином, проведені дослідження довели ефективність температурного чинника. Збільшення температури води під час просочування відходів пакування Pure-Pak з 15 до 60°C дозволить підвищити ефективність процесу до 8 разів.

Подальші дослідження планується провести у напрямку вивчення впливу температури води для попереднього просочування зразків на ефективність процесу відокремлення полімерної плівки під час розпускання.

Таблиця 1

Результати апроксимації

Температура, °C	Математична модель	Достовірність апроксимації, (R <sup>2</sup> )
15	$y = -2E-10x^6 + 9E-08x^5 - 2E-05x^4 + 0,0016x^3 - 0,0673x^2 + 1,2594x - 0,0399$	0,9682
35	$y = -1E-10x^6 + 6E-08x^5 - 1E-05x^4 + 0,0013x^3 - 0,0734x^2 + 2,7579x$	0,9984
45	$y = -2E-10x^6 + 1E-07x^5 - 2E-05x^4 + 0,002x^3 - 0,1056x^2 + 3,6213x$	0,9994
60	$y = -1E-09x^5 - 9E-08x^4 + 0,0002x^3 - 0,0368x^2 + 3,0637x$	0,9985

Список літератури:

1. ДСТУ 3500:2019. Макулатура паперова і картонна. Технічні умови. – На заміну ДСТУ 3500:2009; чинний від 2020–07–01. – ДП «УкрНДНЦ», 2019. 14 с. (Державний стандарт України).
2. Patent WO 2011/077450 A2, C08J 11/06 (2006/01). Process for delamination of laminated packaging / Mukhopadhyay Ashutosh. – Publ. 30.06.11. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/ed/e6/6d/cc295ed04934bb/WO2011077450A2.pdf>
3. Пат № 2759556 C2 RU., МПК В32В 38/10, В32В 38/16, В32В 43/00. Способ и устройство переработки упаковочного материала / Ф. Ловис, М. Шульце (DE). – Оpubл. 15.11.21, Бюл. № 32. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/63/2e/72/e48ad3fefeb8e0/RU2759556C2.pdf>
4. Ванчаков М.В., Кулешов А.В., Александров А.В., Гаузе А.А. Технология и оборудование переработки макулатуры: учебное пособие/ ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2019. Часть I. 107 с.
5. ELOPAK. Secondary packaging. URL: <https://www.elopak.com/distribution/>

6. Коваль А. М., Мовчанюк О. М. Інтенсифікація розпускання відходів асептичного пакування // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». – 2021. – № 18 (118). С. 47–50.

7. Movchanyuk O., Koval A. The rate of absorption of liquid by the fibrous layer aseptic packaging // Results of modern scientific research and development. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing (12–14 december 2021, Madrid, Spain). Pp. 206–211.

#### **Movchaniuk O.M. INFLUENCE OF WATER TEMPERATURE ON THE RATE OF IMPREGNATION OF PURE-PAK PACKAGING WASTE**

*The article is devoted to an actual problem – the processing of laminated secondary fibrous raw materials that are difficult to dissolve. The reasons for such technological difficulties are indicated. The main reason is the limited area of contact with water of the cardboard between the polymer layers. The main task in overcoming the problems of recycling laminated waste paper is the process of separating polymer layers from the fibrous layer of cardboard. Examples of modern technologies associated with the use of inorganic and organic chemical substances and mixtures of various substances are given. It is noted that a significant drawback of using chemicals is that they, together with the products of their chemical interaction, remain in the finished paper and cardboard, and also accumulate in circulating water, which creates other problems. Therefore, the development of effective technologies for the separation of polymer layers without the use of chemicals is an urgent task.*

*Waste paper from used Pure-Pak packaging, which is widely used for storing liquid dairy products, was selected for the study. The purpose of this study was to determine the effect of water temperature on the efficiency of impregnation of waste using such packaging.*

*The effect of water temperature in the range of 15-60 °C on the efficiency of impregnation of laminated waste paper for 150 minutes was investigated. The dependences between the duration of seepage of the samples and the water absorption index at different temperature values were obtained and analyzed. It has been proven that an increase in water temperature contributes to the intensification of the seepage process. The lowest value of water absorption was recorded at a temperature of 15 °C, the highest at 60 °C. Based on the research results, mathematical models were obtained. It has been established that increasing the water temperature during soaking of waste paper samples from 15 to 60 °C will increase the efficiency of the process up to 8 times.*

*The obtained results will help increase the efficiency of the process of dissolving laminated waste paper and improve the technology of its processing.*

**Key words:** laminated waste paper, Pure-Pack packaging, processing technology, water temperature, impregnation rate.