

Мовчанюк О.М.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Пономаренко Є.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЛУГУ НА ШВИДКІСТЬ ПРОСОЧЕННЯ ВІДХОДІВ ПАКОВАННЯ ТЕТРА ПАК

Стаття присвячена вторинному переробленню використаного асептичного пакування компанії Tetra Pak. Компанія постачає свою продукцію у понад 160 країн світу. Щорічний обсяг продажів в останні роки складає понад 190 мільярдів пакувань. Після використання пакування Tetra Pak стає цінною вторинною сировиною для паперової промисловості, тим більше, що з 2020 року для виготовлення пакування для напоїв та рідких продуктів харчування компанія почала на 100% використовувати картон, сертифікований за стандартами Forest Stewardship Council.

Значна частина відомих технологій вторинного перероблення асептичного пакування базується на використанні агресивних хімічних речовин або їх сумішей, в поєднанні з високою температурою. Ці технології є небезпечними, витратними, призводять до значної втрати алюмінію та/або полімерів, а також до утворення великої кількості нових небезпечних відходів. Волокниста складова пакування при цьому втрачає механічну міцність. Тому розроблення ресурсозберігаючих технологій безпечного вилучення волокнистого шару з асептичного пакування є актуальним завданням.

Для дослідження була вибрана макулатура з використаного асептичного пакування Tetra Prisma Aseptic для зберігання рідких харчових продуктів. Метою дослідження було визначення впливу концентрації розчину луку на ефективність просочення використаного пакування.

Досліджено вплив концентрації розчину гідроксиду натрію в діапазоні 2,5–10,0 г/дм³ на ефективність просочення зразків впродовж 150 хв. Отримано та проаналізовано залежності між тривалістю просочування зразків і поглинанням луку за різних значень концентрації. Доведено, що збільшення концентрації луку інтенсифікує процес просочення. Найменші значення поглинання рідини зафіксовано за концентрації луку 2,5, найбільші – за концентрації 10 г/дм³. За результатами досліджень отримано математичні моделі. Встановлено, що використання для просочення розчину луку концентрацією 10 г/дм³ замість води дозволить підвищити ефективність процесу до 3 разів. Отримані результати допоможуть підвищити ефективність процесу розпускання макулатури з асептичного пакування та удосконалити технологію її перероблення.

Ключові слова: макулатура, асептичне пакування, технологія перероблення, концентрація луку, швидкість просочення.

Постановка проблеми. Найбільш ефективним на сьогоднішній день є асептичне пакування. Транснаціональна компанія Tetra Pak – найвідоміший та найпотужніший виробник такого пакування. Наприклад, сьогодні близько 80% соку, що реалізується в роздрібних мережах України, розлите в пакування компанії [1].

За даними компанії Tetra Pak, яка є частиною групи Tetra Laval, вони постачають своє пакування у понад 160 країн світу. Щорічний обсяг продажів в останні роки складає понад 190 мільярдів пакувань. В той же час самою компанією Tetra Pak вторинному переробленню піддається лише близько четвертої частини від обсягів постачання [2, 3].

Шар картону, на основі якого виготовляється пакування Tetra Pak, після використання пакування робить його цінною вторинною сировиною для виробництва паперу та картону, тим більше, що з 2020 року компанія Tetra Pak для виготовлення пакування для напоїв та рідких продуктів харчування почала на 100% використовувати картон, сертифікований за стандартами Forest Stewardship Council (FSC) [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значна частина відомих технологій вторинного перероблення асептичного пакування базується на використанні агресивних висококонцентрованих хімічних речовин або їх сумішей, в поєд-

нанні з високою температурою, і спрямована на розчинення алюмінієвого та/або полімерних шарів. Ці технології є небезпечними, витратними, призводять до значної втрати частини складових пакування, що також могли б використовуватися в інших галузях як вторинна сировина, а також до утворення великої кількості нових небезпечних відходів [4, с. 5; 5, с. 126; 6]. Волокниста складова пакування, також піддаючись при цьому хімічному впливу, втрачає свої паперотворні властивості, що негативно позначається на якості паперу та картону, котрі з неї виготовлятимуться.

Тому розроблення ресурсозберігаючих технологій безпечного вилучення волокнистого шару з асептичного пакування є актуальним завданням.

Традиційна технологія перероблення будь-якої макулатури починається з перетворення її на водну волокнисту суспензію, яка далі піддається іншим технологічним процесам. Отже, насамперед, сухий вторинний волокнистий напівфабрикат контактує з водою. Це відбувається, як правило, у гідророзбивачі, за одночасної механічної дії ротора. Процес розпускання макулатури на окремі фрагменти та пучки волокон у гідророзбивачі супроводжується небажаним процесом подрібнення сторонніх механічних включень, що надійшли в гідророзбивач з макулатурою. Від тривалості перебування напівфабрикату в гідророзбивачі залежатиме як ступінь його розпускання, так і ступінь подрібнення механічних домішок. При цьому збільшення тривалості процесу покращує ступінь розпускання макулатури (позитивний процес), збільшуючи при цьому ступінь подрібнення домішок (негативний процес). Ось чому прийнято скорочувати час розпускання у гідророзбивачі. Залежно від здатності макулатури до розпускання вміст нерозпущених фрагментів в макулатурній масі після гідророзбивача може доходити до 40% [7, с. 81]. Функцію остаточного розпуску віддають іншим, більш економічним апаратам, так званним вторинним гідророзбивачам, до яких макулатурна маса надходить вже після видалення з неї найбільш крупних важких і легких домішок.

У випадку перероблення макулатури з відходів використання асептичного пакування скорочення перебування маси в гідророзбивачі виливається в іншу проблему. Через обмежений контакт з водою, що стримує просочення та набухання картонного шару, а відповідно і процес розпускання, не завершується відокремлення всіх волокон від полімерного шару. Це призводить до збільшення втрат волокна, що видаляється разом з відходами. Інтенсифікація процесу просочення такої макулатури автоматично

призведе до інтенсифікації процесу розпуску, а відповідно до зменшення втрат волокна.

Метою даного дослідження було визначення впливу концентрації розчину лугу на ефективність просочення відходів використання асептичного пакування Tetra Prisma Aseptic компанії Tetra-Pak.



Рис. 1. Пакування Tetra Prisma Aseptic компанії Tetra Pak

Виклад основного матеріалу. Для дослідження було обране використане асептичне пакування Tetra Prisma Aseptic з-під фруктових соків (рис. 1), що залишається одним з найпопулярніших у світі пакувань для рідких харчових продуктів [3]. Зразки вирізали розміром 30x50 мм з бічних стінок пакування, без механічних пошкоджень та пластику.

Розуміння взаємодії макулатурних волокон з водою має ключове значення у технології переробки макулатури. Особливістю переробки макулатури є багаторазове повернення целюлозних волокон в процес виробництва. В результаті кожного циклу виробництва відбувається поглиблення ороговіння волокон, зменшення їх довжини та зниження показників міцності. Незворотні зміни ускладнюють проникнення води в структуру волокна та його набухання, що є однією з причин нижчої міцності паперу із вторинних волокон [8].

Раніше нами були проведені дослідження з вивчення динаміки просочення макулатури з неасептичного пакування, для чого використовувалася лише дистильована вода [9]. Аналогічні дослідження проводилися і для макулатури з асептичного пакування, але для просочення використовувався луг концентрацією 50 г/дм³ [10, с. 48]. Використання гідроксиду натрію дослідженої концентрації суттєво пришвидшувало сорбцію води целюлозними волокнами картонного шару. Але паралельно відбувалася інтенсивна хімічна взаємодія лугу з фольгою під час тривалого просочування зразків. Тому в даному дослідженні було прийнято рішення знизити концентрацію розчину лугу. Для просочення зразків використовували розчини гідроксиду натрію концентрацією (2,5; 5,0 і 10,0 г/дм³) та дистильовану

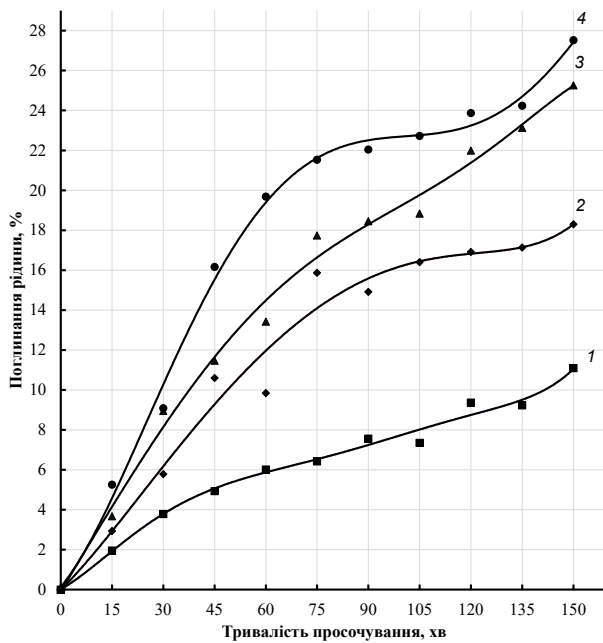


Рис. 2. Залежність поглинання рідини зразками від тривалості їх просочення за різних значень концентрації луку:
1, 2, 3, 4 – концентрації луку 0; 2,5; 5,0; 10,0 г/дм³ відповідно

сусідні целюлозні волокна

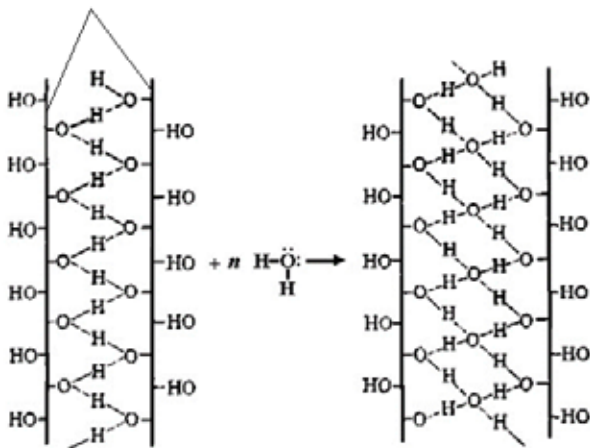


Рис. 3. Механізм послаблення зв'язків між волокнами целюлози

воду для порівняння (базовий варіант). Просочення здійснювали у скляній ємності за температури 20°C. Дослідження проводилися за методикою [9], протягом 150 хв. Через кожні 15 хв просочування оцінювали поглинання рідини за відносним приростом маси зразка, %. Формула для розрахунку наведена у джерелі [9, с. 267].

Результати досліджень представлено на рис. 2. З графічних залежностей видно, що використання замість води розчину гідроксиду натрію для просочення зразків збільшує швидкість процесу за всіх досліджених концентрацій. Зі збільшенням концентрації луку інтенсивність просочення зростає.

Впродовж всього дослідженого часу максимальні результати отримані для концентрації луку 10 г/дм³. З рисунку 1 також видно, що всі криві мають початкову прямолінійну ділянку інтенсивного поглинання рідини, після якої швидкість поглинання поступово знижується. Так криві концентрації луку 10; 5 і 2,5 г/дм³ мають цю прямолінійну ділянку впродовж перших 45, 50 і 60 хв відповідно. За 45 хв просочення зразків поглинання ними розчину луку концентрацією 10 г/дм³ становило близько 16%, швидкість поглинання рідини при цьому дорівнює 0,36% за хвилину. Швидкість поглинання води за той самий період складає 0,11% за хвилину, що втричі нижче. Якщо ж порівняти ці варіанти на ділянці від 60 до 90 хв, то швидкості для луку і води стають приблизно однаковим (близько 0,04% за хвилину). Отже використання луку замість води є доцільним на початкових етапах просочування.

Відомо, що гідроксильні групи на поверхні целюлозних волокон при контакті з водою, притягують молекули води, адсорбують їх з утворенням водневих зв'язків. Після приєднання одного шару молекул води (рис. 3) [8], гідроксильні групи цього шару притягують другий шар, третій тощо [11, с. 17], таким чином все більше і більше послаблюючи зв'язки між сусідніми волокнами. Здатність целюлозних волокон поглинати і зв'язувати воду характеризує набухання волокон. Вода в процесі змочування і проникнення потрапляє в міжволо-

Таблиця 1

Результати апроксимації

Концентрація розчину луку, г/дм ³	Математична модель	Достовірність апроксимації, (R ²)
0 (дист.вода)	$y = 2E-11x^6 - 1E-08x^5 + 2E-06x^4 - 0,0001x^3 + 0,0037x^2 + + 0,0966x + 0,0118$	0,9903
2,5	$y = 7E-12x^6 - 3E-09x^5 + 5E-07x^4 - 5E-05x^3 + 0,0025x^2 + + 0,169x - 0,0112$	0,9753
5,0	$y = -9E-12x^6 + 3E-09x^5 - 3E-07x^4 - 3E-06x^3 - 0,0001x^2 + + 0,2859x - 0,091$	0,9931
10,0	$y = -6E-12x^6 + 7E-10x^5 + 6E-07x^4 - 0,0001x^3 + 0,0081x^2 + + 0,204x + 0,1367$	0,9959

конний простір і у вільний простір аморфних ділянок клітинної стінки. В цих областях вода і руйнує водневі зв'язки між волокнами. [12, с. 105].

На рис. 4 наведено діаграми підвищення поглинання зразками макулатури просочувального розчину луґу за досліджених концентрацій після 15, 90 і 150 хв просочення, порівняно з просоченням у дистильованій воді. З діаграм видно, що після 15 хв просочення зразків поглинання ними луґу концентрацією 10 г/дм³ на 140% перевищує цей показник для води. За тривалості просочення 90 хв ця різниця складає вже 213%.

У програмі MS Excel 2010 було виконано апроксимацію експериментальних залежностей. Отримані однофакторні математичні моделі для досліджених значень концентрації луґу наведено в таблиці 1. Всі моделі є поліноміальними функціями, адекватно описують залежності поглинання рідини зразками від загального часу їх просочення.

Висновки. Таким чином, проведені дослідження довели ефективність використання гідроксиду натрію концентрацією від 2,5 до 10 г/дм³ як просочувального розчину для макулатури з відходів пакування Tetra Prisma Aseptic компанії Tetra Pak упродовж 45–60 хв. Використання для попереднього просочення замість води розчину луґу концентрацією 10 г/дм³ дозволить до трьох разів підвищити інтенсивність поглинання рідини картонним шаром асептичного пакування, що, в свою чергу, пришвидшить його відокремлення від полімерної плівки під час розпускання, зменшуючи в результаті волокнисті втрати та витрату енергії.

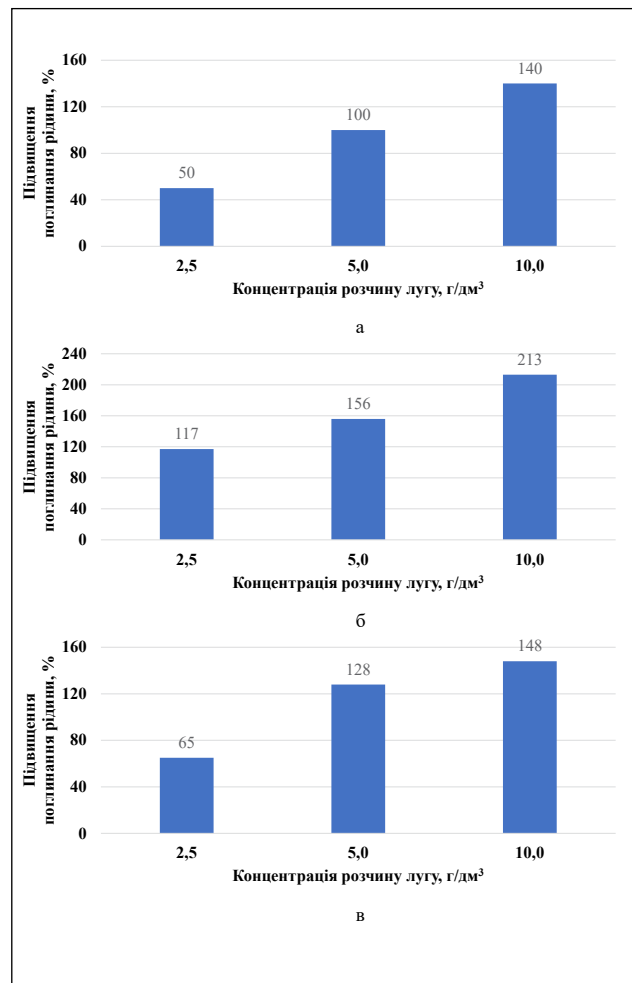


Рис. 4. Діаграми підвищення поглинання рідини зразками за різних значень концентрації луґу після 15 (а), 90 (б) і 150 хв (в) просочення відповідно, порівняно з просоченням у воді

Список літератури:

1. Аналіз ринку соку в упаковці Tetra-Pak України. 2019 рік. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-soka-v-upakovke-tetra-pak-ukrainy-2019-god> (дата звернення 24.03.2023).
2. Ioulia Georgiopolou, Georgia D. Pappa, Stamatina N. Vouyiouka, Kostis Magoulas. Recycling of post-consumer multilayer Tetra Pak® packaging with the Selective Dissolution-Precipitation process. *Resources, Conservation & Recycling*. 165 (2021) 105268.
3. Tetra Pak International, Tetra Pak in Figures. Retrieved from <https://www.tetrapak.com/about-tetra-pak/the-company/facts-figures> (дата звернення 26.03.2023).
4. Пат № 2759556 С2 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> (дата звернення 26.03.2023).
5. Karaboyaci M., Gizem Elbek G., Kilic M., Sencan A. Process Design for the Recycling of Tetra Pak Components. *EJENS*. 2017. Vol. 2. № 1. P. 126–129.
6. Muñoz-Batista M.J., Blázquez G., Franco J.F., Calero M., Martín-Lara M.A. Recovery, separation and production of fuel, plastic and aluminum from the Tetra PAK waste to hydrothermal and pyrolysis processes. *Waste Management*. 2022. № 137. P. 179–189.
7. Ванчаков М.В., Кулешов А.В., Александров А.В., Гаузе А.А. Технология и оборудование переработки макулатуры: учебное пособие. СПб., 2019. Часть I. 107 с.
8. Дулькин Д. А., Южанинова Л. А., Миронова В.Г., Спиридонов В.А. Научные основы переработки макулатуры. *Лесной журнал*. 2005. № 1–2. С. 105–123.
9. Мовчанюк О. М. Вплив температури води на швидкість просочення відходів пакування Пюр-Пак. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2022. Т. 33 (72). № 5. С. 266–269.

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

11. Кларк Дж. Технология целлюлозы: Пер. з англ. Оболенской А.В. и Пазухиной. М.: Лесная пром-сть. 1983. 456 с.

12. Botkova M., Suty S., Jablonsky M., Kucerkova L., Vraska M. Monitoring of kraft pulps swelling in water. *Cellulose Chemistry And Technology*. 2013. № 47 (1–2). P. 95–102.

Movchaniuk O.M., Ponomarenko Ye.V. INFLUENCE OF ALKALI CONCENTRATION ON THE RATE OF IMPREGNATION OF TETRA PAK PACKAGING WASTE

The article is devoted to the recycling of used Tetra Pak aseptic packaging. The company supplies its products to more than 160 countries around the world. The annual volume of sales in recent years is more than 190 billion packages. After use, Tetra Pak packaging becomes a valuable secondary raw material for the paper industry, especially since in 2020 the company began to use 100% Forest Stewardship Council certified cardboard for packaging for beverages and liquid foods.

A significant part of the known technologies for the processing of aseptic packaging is based on the use of aggressive chemicals or their mixtures, in combination with high temperature. These technologies are dangerous, expensive, lead to a significant loss of aluminum and/or polymers, and also to the formation of a large amount of new hazardous waste. At the same time, the fibrous component of the package loses its mechanical strength. Therefore, the development of resource-saving technologies for the safe removal of the fibrous layer from aseptic packaging is an urgent task.

Waste paper from used aseptic Tetra Prisma Aseptic packaging for storing liquid food products was selected for the study. The purpose of the study was to determine the influence of the concentration of the alkali solution on the impregnation efficiency of the used packaging.

The influence of the concentration of sodium hydroxide solution in the range of 2.5–10.0 g/dm³ on the effectiveness of the impregnation of the samples during 150 minutes was studied. The dependences between the duration of percolation of the samples and the absorption of alkali at different concentration values were obtained and analyzed. It has been proven that increasing the alkali concentration intensifies the impregnation process. The lowest values of liquid absorption were recorded at an alkali concentration of 2.5, the highest at a concentration of 10 g/dm³. Based on the research results, mathematical models were obtained. It was established that the use of a solution of alkali with a concentration of 10 g/dm³ instead of water for impregnation will increase the efficiency of the process up to 3 times. The obtained results will help increase the efficiency of the process of dissolving waste paper from aseptic packaging and improve the technology of its processing.

Key words: waste paper, aseptic packaging, processing technology, alkali concentration, impregnation rate.