

УДК 502.3

**В.В. ЛУК'ЯНОВА, А.А. ОСТАПЕНКО**

## **ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПЕРЕРОБКИ МАКУЛАТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ ХІМІЧНИХ ДОПОМІЖНИХ РЕЧОВИН**

***Анотація.** Проаналізовано екологічні аспекти накопичення та утилізації паперових відходів в Україні та світі. У статті доведено можливість використання хімічних допоміжних речовин, а саме амфотерних полімерних смол, з метою покращення фізико-хімічних характеристик паперу, виготовленого із вторинної сировини – макулатури марок МС-6Б-3 і МС-7Б-2. Встановлено, що використання амфотерних полімерних смол дозволить покращити показники міцності паперу для гофрування. У випадку використання як сировини макулатури марки МС-6Б-3 показник опору продавлюванню зростає на 9–19% в залежності від витрат і типу АПС у порівнянні із зразками паперу, виготовленими без додавання АПС.*

***Ключові слова:** макулатура, утилізація відходів, хімічні допоміжні речовини, папір для гофрування.*

### **Постановка проблеми**

Останнім часом у світі екологічним проблемам стало приділятися значно більше уваги, ніж раніше. В середньому кожна людина у світі за день продукує близько 1 кг побутових відходів, з яких значну кількість займають паперові відходи. В той же час близько 1 млн тонн відходів щорічно виробляє європейська паперова промисловість [1], 70% з якої можна утилізувати, отримавши новий продукт [2].

На сьогодні в Україні гостро стоїть проблема нестачі макулатурної сировини. Українські підприємства щороку витрачають мільйони доларів на закупівлю паперу та картону для утилізації [3]. Для розв'язання цієї проблеми необхідно вирішити питання роздільного збору сміття та покращення якості виробництва продукції з макулатури.

Загальновідомо, що в технології таропакувальних видів продукції використовують первинні та вторинні волокна. Первинні волокна в Україні не виробляються, а ступінь утилізації картонно-паперової продукції досить низький. Тому актуальним є питання покращення споживчих властивостей матеріалів, виготовлених із макулатури, шляхом додавання до неї хімічних допоміжних речовин (ХДР).

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

До числа найбільших за обсягом виробництв видів картонно-паперової продукції, що виготовляється, в основному, із використанням макулатури, належать папір для гофрування і картон для плоских шарів гофрованого картону.

Для покращення показників якості макулатурної маси і забезпечення необхідних технологічних параметрів процесів формування, проклеювання та фізико-механічних показників кінцевого продукту, а саме: паперу і картону у світовій практиці целюлозно-паперової промисловості широко використовуються ХДР [4–6]. Найбільш затребуваними на сьогоднішній день

ХДР, що використовуються з метою підвищення фізико-механічних показників паперу і картону, залишаються крохмалі [7, 8] різного природного походження та їх численні модифіковані продукти, а також використання їх в композиції з різними гідрофобізуючими речовинами. Відомо, що використання різноманітних модифікованих крохмалів на окремих етапах виробництва паперу та картону із сировини з високим вмістом вторинного волокна макулатури призводить до підвищення показників міцності паперу та картону.

Останнім часом стрімко розвиваються дослідження щодо використання в процесі виробництва паперу і картону амфотерних полімерних смол (АПС), до основних переваг яких належить наявність більш високого катіонного заряду та менша чутливість до впливу бактерій у порівнянні із традиційними ХДР. Амфотерні полімерні смоли мають ряд суттєвих переваг у порівнянні з катіонними крохмалями. Зокрема, катіонні крохмалі сприяють розвитку мікроорганізмів та у забруднених водних системах мають відносно слабкий катіонний заряд, який пригнічується розчиненими солями та аніонними забрудненнями. Амфотерні полімерні смоли менш придатні до дії бактерій і мають більш високий катіонний заряд [9].

**Метою роботи** було дослідження можливості використання хімічних допоміжних речовин для покращення фізико-механічних властивостей паперу із вторинної сировини.

### Методика експерименту

В якості ХДР використовували амфотерні полімерні смоли, характеристика яких наведена в Таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристика амфотерних полімерних смол

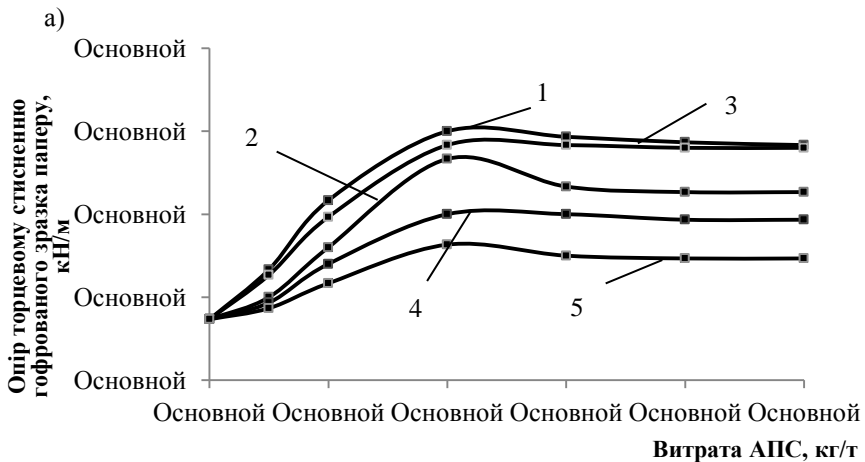
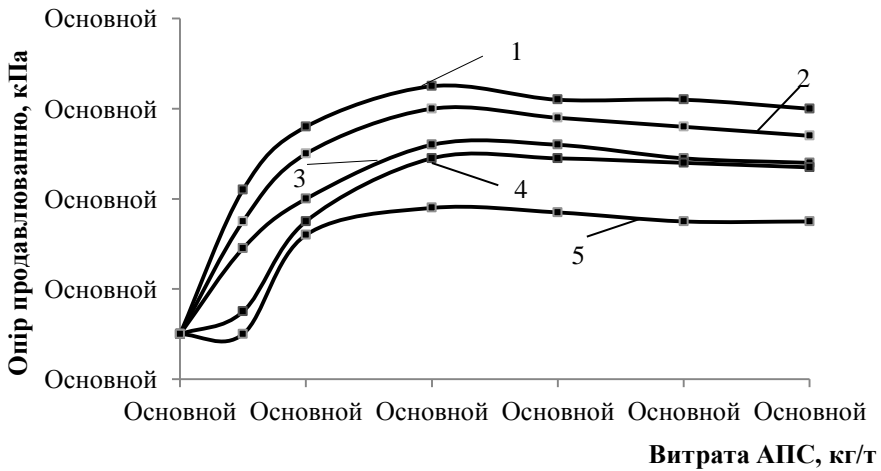
Марка АПС	Вміст сухих речовин у розчині, г/дм <sup>3</sup>	Зовнішній вигляд	pH (25 <sup>0</sup> C)	Густина, кг/дм <sup>3</sup>
Ультрарез 200	20,0 ± 1,0	Прозора рідина слабо-жовтого кольору	4,0 ± 1,5	1,060 ± 0,01
Fennostrength PA21	20,5 ± 1,0		3,5 ± 0,5	1,030 ± 0,01
Кумене 25X-Cel	20,0 ± 1,5		2,0 ± 0,5	1,070 ± 0,01
Ека WS 325	20,0 ± 1,0		2,5 ± 1,5	1,060 ± 0,01
Luresin KS	21,0 ± 1,5		2,5 ± 0,5	1,070 ± 0,01
Ультрасайз 200	21,0 ± 1,0	Рідина білого кольору з легким палевим відтінком	3,5 ± 1,0	1,010 ± 0,005

Для вивчення впливу досліджуваних видів АПС на показники якості лабораторних зразків паперу використовували макулатуру марки МС-6Б-3 (відходи картону тарного та коробкового з кольоровим друком (у співвідношенні 30% і 70% відповідно)) і МС-7Б-2 (використані книжки з однофарбовим друком без палітурок на друкарському папері № 2). Ступінь млива волокнистої суспензії складав 45 ± 2<sup>0</sup>ШР.

Лабораторні зразки паперу з макулатури марки МС-6Б-3 без використання АПС мали наступні фізико-механічні показники: опір продавлюванню – 290 кПа, опір торцевому стисненню – 1,56 кН/м, опір площинному стисненню після лабораторного гофрування – 230 Н, міцність під час розтягування – 4,25 кН/м. Щодо зразків паперу з макулатури марки МС-7Б-2 без використання АПС: опір продавлюванню – 250 кПа, опір торцевому стисненню – 1,50 кН/м, опір площинному стисненню після лабораторного гофрування – 185 Н, міцність під час розтягування – 3,80 кН/м.

Витрата АПС становила 2 кг/т, 4 кг/т, 6 кг/т, 8кг/т та 10 кг/т від ас.с.волокна.

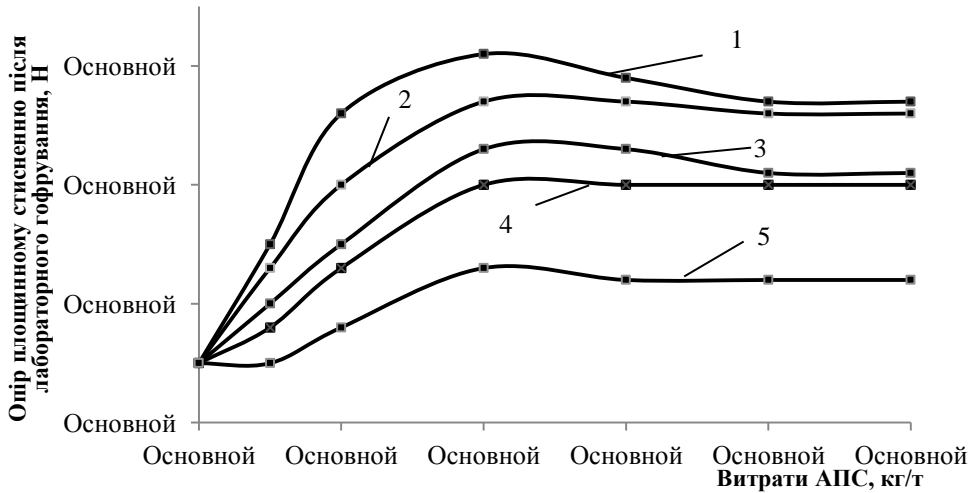
Маса лабораторних зразків паперу для випробувань становила  $140 \pm 8$  г/м<sup>2</sup>. Перед випробуванням зразки паперу витримувалися в кондиційних умовах згідно з ГОСТ 13523-78 за відносної вологості повітря ( $50 \pm 2$ )% і температури ( $23 \pm 1$ )<sup>0</sup>С.



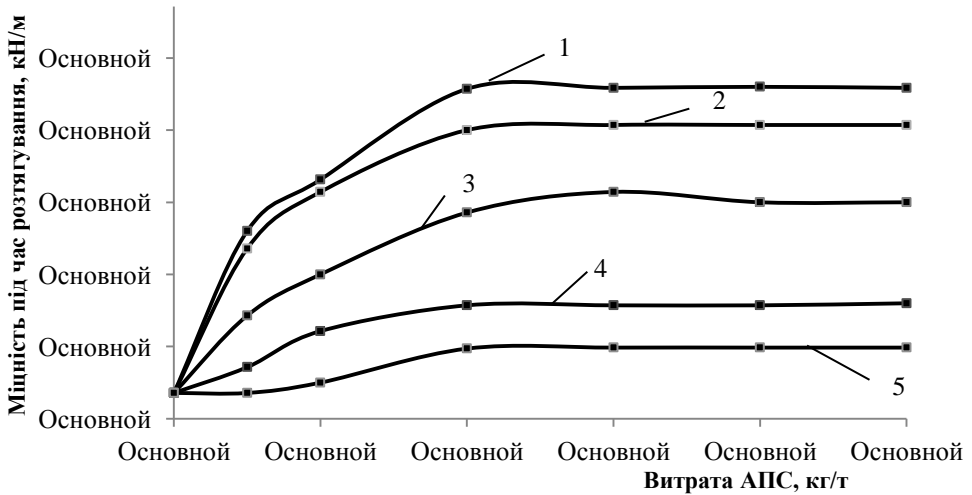
б)

Рис. 1 – Залежність опору продавлюванню (а) та опору торцевому стисненню гофрованого зразка паперу (б) від витрат АПС із використанням макулатури марки МС-6Б-3: 1 – Ультрарез 200; 2 – Fennostrength PA21; 3 – Kumene 25X-Cel; 4 – Eka WS 325; 5 – Luresin KS

**Аналіз одержаних результатів** дослідження показує, що додавання досліджених АПС у волокнисту масу макулатури марок МС-6Б-3 і МС-7Б-2 привело до збільшення всіх показників якості паперу для гофрування (рис. 1–4) у порівнянні із зразками паперу, виготовленими без використання АПС.



а)



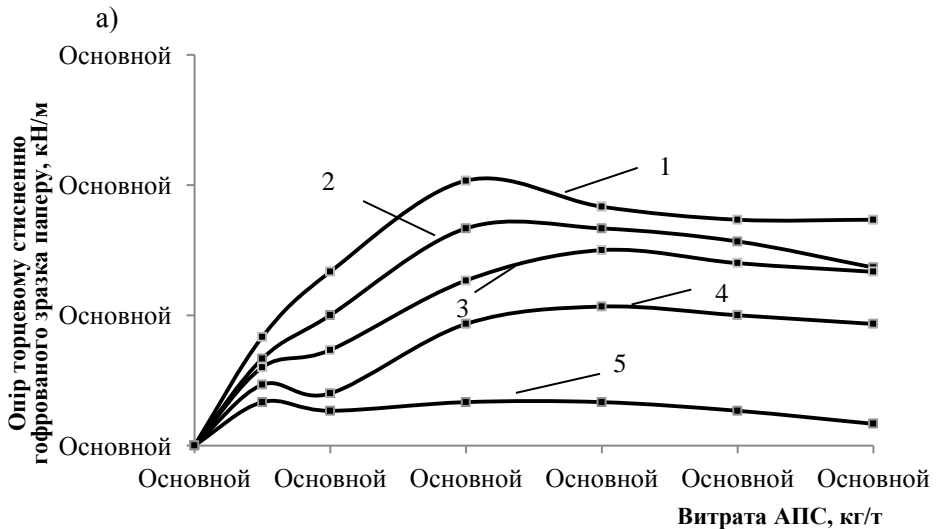
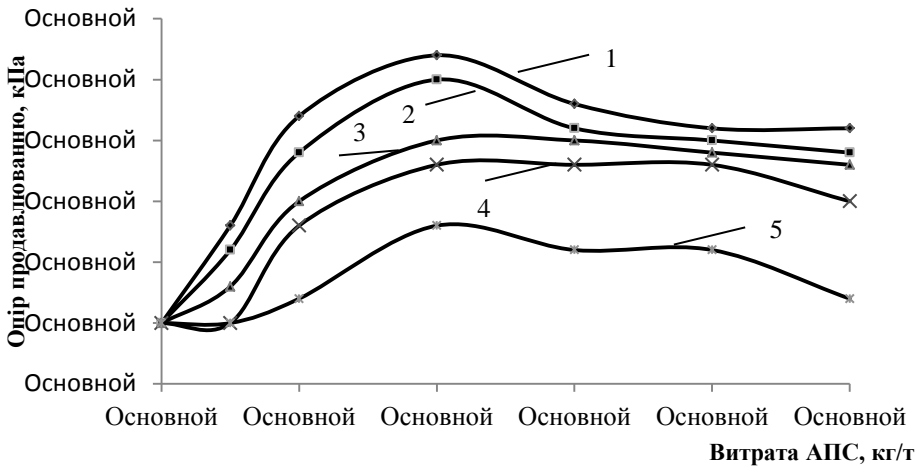
б)

Рис. 2 – Залежність опору площинному стисненню після лабораторного гофрування (а) та міцності під час розтягування гофрованого зразка паперу (б) від витрат АПС із використанням макулатури марки МС-6Б-3: 1 – Ультраз 200; 2 – Fennostrength PA21; 3 – Kumene 25X-Cel; 4 – Eka WS 325; 5 – Luresin KS

Експериментальним шляхом доведено, що зростання показників міцності паперу для гофрування в процесі додавання АПС відбувається по-різному в залежності від марки макулатури. Так, у випадку використання як сировини макулатури марки МС-6Б-3 показник опору продавлюванню зростає на 9–19% в залежності від витрат і типу АПС у порівнянні із зразками паперу,

виготовленими без додавання АПС. У випадку використання як вихідної сировини макулатури марки МС-7Б-2 аналогічний показник підвищується тільки на 6–11% у порівнянні із зразками паперу, виготовленими без додавання АПС.

Отримані результати досліджень закономірно пояснюються різними властивостями вказаних марок макулатури. Так, наприклад, макулатура марки МС-7Б-2 – це використані книжки, журнали та зошити, в процесі виготовлення яких застосовують не тільки проклеюючі речовини, але і наповнювачі та фарби. В результаті утилізації даної волокнистої сировини спостерігається підвищений вміст в масі не тільки органічних водорозчинних, але і мінеральних речовин, які негативно впливають на процеси взаємодії АПС з волокном.



б)

Рис. 3 – Залежність опору продавлюванню (а) та опору торцевому стисненню гофрованого зразка паперу (б) від витрат АПС із використанням макулатури марки МС-7Б-2: 1 – Ультразез 200; 2 – Fennostrength PA21; 3 – Kymene 25X-Cel; 4 – Eka WS 325; 5 – Luresin KS

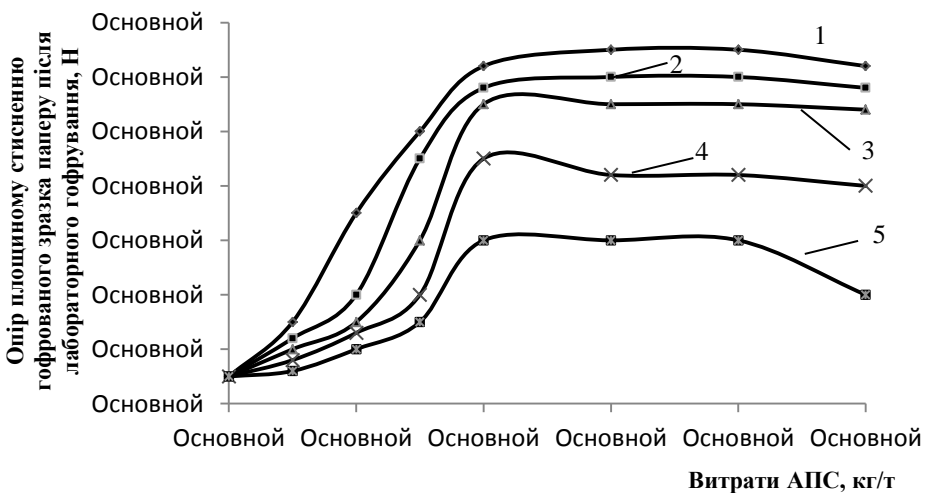
Аналогічна закономірність спостерігається і для показників жорсткості, а саме: опору площинному стисненню після лабораторного гофрування та опору торцевому стисненню гофрованого зразка паперу. Для зразків паперу, виготовлених із макулатури марки МС-6Б-3, вищевказані показники жорсткості зростають на 6–11% та 12–30% у порівнянні із зразками паперу, виготовленими без додавання АПС, відповідно. Разом з тим, для зразків паперу, виготовленого із макулатури марки МС-7Б-2, вищевказані показники підвищуються тільки на 3–8% і 8–25%, відповідно. Найбільше підвищення показників міцності паперу із вищевказаних марок макулатури спостерігається за використання АПС Ультрарез 200 за витрати АПС в кількості 4 кг/т паперу. Подальше підвищення витрат як Ультрарез 200, так і інших АПС в межах від 6 до 10 кг/т призводить навіть до незначного зниження показників (рис. 1–3).

Так, наприклад, для паперу із макулатури марки МС-6Б-3 і використанні АПС Кумене 25Х-Cel та Ека WS 325 значення показника опору продавлюванню зростає навіть за витрат 8 кг/т на 1–2%, а вже за витрат 10 кг/т зменшується на 0,5% у порівнянні з витратами АПС 4 кг/т.

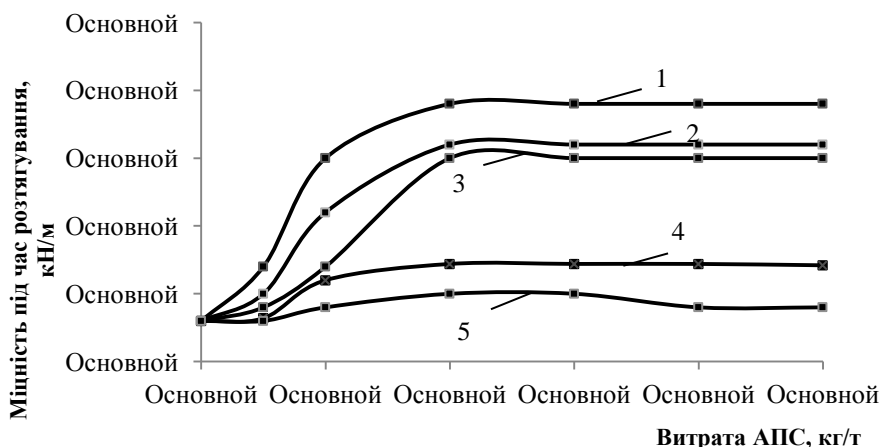
Для зразків паперу, виготовлених із макулатури марки МС-6Б-3 за використання АПС Кумене 25Х-Cel та Ека WS 325, значення показника опору продавлюванню зростає навіть за витрат 8 кг/т на 1–2%, а вже за витрат 10 кг/т його величина зменшується на 0,5% у порівнянні з результатами, отриманими за витрати АПС 4 кг/т продукції.

Аналогічна закономірність спостерігається для показника опору продавлюванню для зразків паперу, виготовлених із макулатури марки МС-7Б-2 у випадку використання усіх досліджуваних видів АПС.

Щодо показника опору торцевому стисненню гофрованого зразка паперу, то тільки у випадку застосування АПС Ультрарез 200 максимальне його значення (2,01 кН/м) досягається за витрати 4 кг/т, за використання інших видів АПС підвищення значення даного показника відбувається тільки до величини 1,7–1,81 кН/м, навіть за витрати АПС 10 кг/т.



а)



б)

Рис. 4 – Залежність опору площинному стисненню після лабораторного гофрування (а) та міцності під час розтягування гофрованого зразка паперу (б) від витрат АПС із використанням макулатури марки МС-7Б-2: 1 – Ультрарез 200; 2 – Fennostrength PA21; 3 – Kymene 25X-Cel; 4 – Eka WS 325; 5 – Luresin KS

Зростання значень вказаних показників якості паперу, отриманого із макулатури різних марок, пояснюється тим, що показники жорсткості паперу в значній мірі залежать від жорсткості не тільки самих волокон, а й міцності міжволоконних зв'язків, зокрема водневих зв'язків. Вказані види зв'язків додатково утворюються між функціональними групами АПС і гідроксильними групами целюлози, що доведено результатами досліджень, висвітлених в [10].

## Висновки

У результаті виконаної роботи можна зробити висновки, що використання ХДР в процесах утилізації макулатури призводить до покращення якості паперу для гофрування. Використання різних амфотерних полімерних смол та різних марок макулатури дозволяє покращити фізико-хімічні показники паперу. Для зразків паперу, виготовлених із макулатури марки МС-5Б-2, фізико-хімічні показники зростають на 10–30% у порівнянні із зразками паперу, виготовленими без додавання АПС. Разом з тим, для зразків паперу, виготовленого із макулатури марки МС-7Б-2, ці показники підвищуються на 8–25%. Як у випадку паперу, виготовленого із макулатури марки МС-6Б-2, найбільше підвищення показників жорсткості паперу досліджуваних марок макулатури спостерігається за використання АПС Ультрарез 200 за витрати АПС в кількості 4 кг/т паперу.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Monte M.C., Fuente E., Blanco A., Nogro C. Waste Manadgmt from pulp and paper production in the European Union // Elsevier: Waste Manadgmt. – 2009. – Vol. 29, P. 293–308 (англ.).

2. [Biotech Articles: Environmental Biotechnology](http://www.biotecharticles.com/Environmental-Biotechnology-Article/Wastes-From-Pulp-and-Paper-Industry-as-Energy-Source-1476.html). [Електронний ресурс] / Shekhar C Bisht – Режим доступу: <http://www.biotecharticles.com/Environmental-Biotechnology-Article/Wastes-From-Pulp-and-Paper-Industry-as-Energy-Source-1476.html>
3. Ресурсний центр ГУРТ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://gurt.org.ua/blogs/%D0%84%D0%B2%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D1%96%D1%8F%20%D0%9A%D1%80%D0%B0%D0%B2%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE/1406/>
4. Rudolf Patt et al. "Paper and Pulp" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2005, Wiley-VCH, Weinheim. doi:[10.1002/14356007.a18\\_545.pub4](https://doi.org/10.1002/14356007.a18_545.pub4)
5. He Shi, Hongbin Liu, Yonghao Ni, Zhirun Yuan, Xuejun Zou, Yajun Zhou Review: Use of Optical Brightening Agents (OBAs) in the Production of Paper Containing High-Yield Pulps / BioResources.– 2012.– V. 7, № 2.– P. 2582–2591.
6. Gothenburg, Sweden: EKA Chemicals/Akzo Nobel (PDF), 2011. p. 2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.akzonobel.com/eka/system/images/AkzoNobelEka%20Chemicals\\_ProductLine\\_WebRes\\_tcm56-60891.pdf](https://www.akzonobel.com/eka/system/images/AkzoNobelEka%20Chemicals_ProductLine_WebRes_tcm56-60891.pdf)
7. Фляте Д.М. Свойства бумаги 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 680 с.
8. Sezgin Koray Gulsoy Effects of cationic starch addition and pulp beating on strength properties of softwood kraft pulp // Starch/Stärke. – 2014. – V. 66. – P. 655–659.
9. Остапенко А.А., Мороз В.Н., Барбаш В.А. и др. Повышение качества бумаги из макулатуры химическими функциональными веществами / Химия растительного сырья. – 2012.– № 1.– С. 187–190.
10. Барбаш В.А. та ін. Вплив структури амфотерних полімерних смол на якість паперу для гофрування / Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2015. – № 1. – С. 58–64.

*Стаття надійшла до редакції 13.04.2017*