

Віктор Осика, Леонід Коптюх,  
Володимир Комаха, Ольга Шульга, Костянтин Мостика

## ПАПЕРОТВІРНІ ВЛАСТИВОСТІ ЦЕЛЮЛОЗИ РІЗНИХ ВИДІВ ТА СТУПЕНІВ ПОМЕЛУ

**Актуальність теми дослідження.** Існує значна кількість схем розмелювання целюлози, що впливає на властивості паперу. У будь-якому випадку характер і ступінь оброблення волокон у процесі розмелювання визначається насамперед їхньою зовнішньою поверхнею, а саме розмірами, морфологічною будовою та структурою волокна, а також його пластичністю та хімічною активністю.

**Постановка проблеми.** У виробничих умовах основні властивості паперової маси оцінюють з огляду на непрямі визначення її якості, а саме показника ступеня помелу та середньої довжини волокон.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації щодо можливості отримання паперу із заданими властивостями шляхом розроблення целюлозних волокон на етапі розмелювання.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Дослідження паперотвірних властивостей целюлозного волокна різного походження в достатньо широкому діапазоні ступеня помелу являє собою актуальний науковий та практичний інтерес для прогнозування властивостей паперу із заданим комплексом споживних властивостей.

**Постановка завдання.** Мета дослідження полягає у встановленні залежностей між ступенем фібрилювання й укороченням целюлозного волокна та властивостями паперу, отриманого з нього.

**Виклад основного матеріалу.** Для встановлення залежностей було досліджено різні зразки паперу, що виготовлені із різних видів целюлози хвойної та листяної деревини за різних ступенів помелу.

**Висновки відповідно до статті.** Результати досліджень дозволяють констатувати, що оптимальний ступінь помелу целюлозних волокон знаходиться в діапазоні 55-65 °ШР. При цьому значну відмінність у показниках механічної міцності та повітропроникності паперу, виготовленого із різних видів целюлози, можна пояснити різною їхньою здатністю до розмелювання, тобто здатністю до укорочення волокна та його фібрилювання.

**Ключові слова:** властивості паперу; хвойна целюлоза; листяна целюлоза; паперотвірні властивості; ступінь помелу; середня довжина волокон.

Рис.: 5. Бібл.: 15.

**Актуальність теми дослідження.** Переважна більшість механічних і фізичних властивостей паперу залежить не тільки від хімічного складу, структури і виду волокон целюлози, а й від умов її розмелювання в присутності води [1].

Для деяких видів паперу достатньо отримати в процесі розмелювання незначне укорочення волокон, а при виготовленні паперу з великим вмістом деревної маси він зводиться до рафінування целюлози і до гомогенізації композиції після її змішування з деревною масою [2]. Для виготовлення високоякісного пакувального паперу з необхідним комплексом бар'єрних та захисних властивостей необхідно забезпечити фібрилювання волокна та порівняно незначне його укорочення [3; 4]. При виготовленні вбирного паперу, навпаки, волокна сильно вкорочують без помітного збільшення їхньої активної поверхні [5].

Існує значна кількість схем розмелювання та варіантів поєднання факторів, що впливають на нього, серед яких тривалість процесу, питомий тиск розмелювального гарнітуру на волокна, концентрація і температура волокнистої маси, рН середовища та використання додаткових хімічних речовин [6]. У будь-якому випадку характер і ступінь оброблення волокон у процесі розмелювання визначається насамперед їхньою зовнішньою поверхнею, а саме розмірами, морфологічною будовою та структурою волокна, а також його пластичністю та хімічною активністю.

**Постановка проблеми.** Вимірювання активності й розмірів зовнішньої поверхні волокна, визначення їх пластичності, внутрішнього фібрилювання та інших найбільш характерних властивостей пов'язані з певними труднощами. Виконання таких вимірювань можливо лише в профільних лабораторіях. У виробничих же умовах основні властивості паперової маси оцінюють зважаючи на непрямі визначення її якості. Здебільшого для виробничих цілей обмежуються визначенням здатності целюлозного волокна вбирати воду та набухати, вимірюючи показник ступеня помелу (°ШР), а також визначенням середньої довжини волокон.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Технологічну сторону впливу різноманітних факторів розмелювання на властивості паперу досліджували багато авторів. Так, у роботах [7-9] показано, що для отримання паперу із заданими механічними властивостями можна регулювати ступінь помелу целюлозного волокна. Високу механічну міцність паперу можна досягнути за більш низького ступеня помелу целюлози, при цьому знижується витрата енергії та поліпшуються умови зневоднення на сітці папероробної машини. Показано, що в однакових умовах сульфатна целюлоза розмелюється швидше, ніж сульфатна з того ж самого виду деревини [10]. При цьому листяна целюлоза з молоді деревини розмелюється швидше, ніж хвойна, однак важче зневоднюється. З практики паперового виробництва відомо, що властивості паперу великою мірою визначаються співвідношенням альфа-целюлози і геміцелюлози, що міститься у волокнистій масі. Вплив геміцелюлоз на властивості паперу висвітлюється в багатьох роботах [11-15], з яких випливає, що присутність геміцелюлоз у складі різних видів волокнистих напівфабрикатів прискорює розмелювання і сприяє підвищенню механічних властивостей паперу.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Паперова маса, залежно від призначення виготовлюваного виду паперу, повинна відповідати певному складу за довжиною волокна та ступенем фібрилювання волокна. Тому дослідження паперотвірних властивостей целюлозного волокна різного походження в достатньо широкому діапазоні ступеня помелу являє собою актуальний науковий та практичний інтерес для прогнозування властивостей паперу із заданим комплексом споживних властивостей.

**Постановка завдання (мета статті).** Мета дослідження полягає у встановленні залежностей між ступенем фібрилювання й укороченням целюлозного волокна та властивостями паперу, отриманого з нього.

**Матеріали та методи.** Дослідні зразки паперу виготовляли із сульфатної небіленої (НС-2), сульфатної біленої (Б-І) целюлози хвойних порід деревини (АТ «Балтійська целюлоза», РФ) та сульфатної небіленої (НС-3) листяних порід деревини (АТ «Світлогорський целюлозно-картонний комбінат», Білорусь). Волокнисті напівфабрикати піддавали розпуску та розмелюванню до необхідного ступеня помелу в присутності води в лабораторному ролі VALLEY при швидкості барабана 500 об/хв<sup>-1</sup>. Ступінь помелу контролювали на приладі Шоппер-Ріглера за стандартною методикою. Дослідні зразки паперу готували за допомогою листовиливного лабораторного приладу із комбінованою сушильною камерою RapidKothern. Дослідження показників якості паперових пакувальних матеріалів здійснювали загальноприйнятими методами: повітропроникність визначали на експрес-приладі ВПТМ.М МТ-160; показники міцності за ДСТУ 2334-94 та ДСТУ ISO 3781:2005.

**Виклад основного матеріалу.** Властивості паперу значною мірою залежать як від ступеня розмелювання, тобто від більшої або меншої довжини і товщини волокон, так і від характеру розмелювання – механічного рубання целюлозних волокон і їхнього фібрилювання.

Дослідження придатності різних видів целюлози до розмелювання в лабораторних і виробничих умовах дало змогу зробити висновок, що для виготовлення пакувального паперу з однорідною зімкнутою структурою необхідно застосовувати целюлозу зі збереженим високомолекулярним комплексом, тобто високим ступенем полімеризації, а також зниженим вмістом лігніну. Це дає можливість стінкам целюлозних волокон пластифікуватись всмоктаючою водою. Розмелювання такої целюлози до необхідного ступеня помелу відбувається набагато швидше і легше, що можна пояснити підвищеною здатністю її до набухання й фібрилювання завдяки геміцелюлозній складовій. Тому в процесі розмелювання целюлозні волокна стануть більш гнучкими і м'якими.

Зменшення полідисперсності целюлозного волокна, у свою чергу, сприяє значному підвищенню однорідності полотна паперу й забезпечує умови для одержання паперу з рівномірною і зімкнутою структурою.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

На рис. 1 наведені цифрові мікрозображення целюлозного волокна різного ступеня помелу за збільшення у 110 разів.

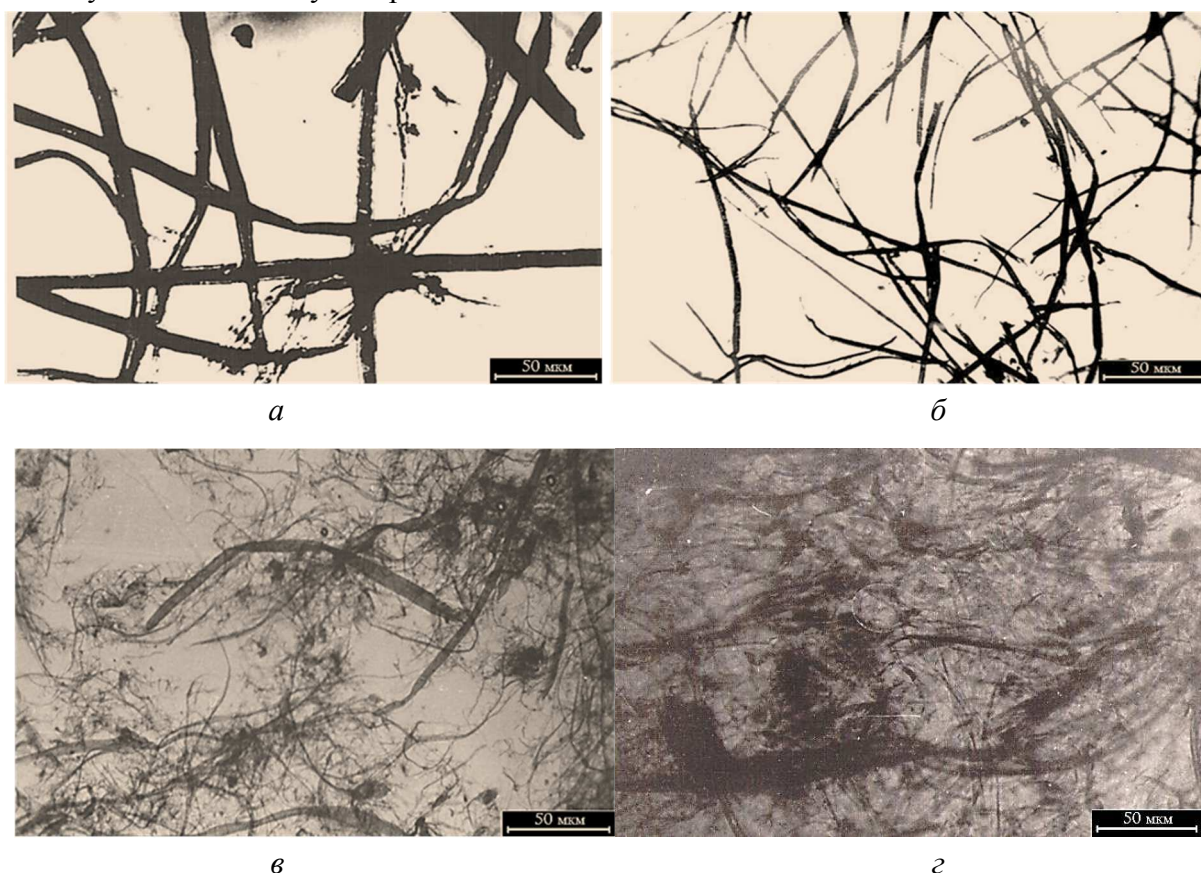


Рис. 1. Цифрові мікрозображення целюлозних волокон різного ступеня помелу:  
а – 15 °ШР; б – 35 °ШР; в – 55 °ШР; г – 65 °ШР (X 110)

Результати виконаних досліджень показали, що розмелювання целюлозного волокна до ступеня помелу 65 °ШР (рис. 1, г) сприяє утворенню на поверхні фібрил – тонких волокон, що за структурою нагадують розгалужені волоски. При цьому вони збільшують зовнішню площу поверхні волокон і кількість точок дотику під час формування паперу. Це, у свою чергу, створює сприятливі умови для виникнення водневих зв'язків між волокнами на стадії формування та оброблення паперового полотна.

Разом з тим надмірне розмелювання целюлозних волокон призводить до різкого зниження розмірів волокон та механічної міцності паперу через збільшення в масі кількості дрібних фракцій волокна, що характеризується зниженим ступенем полімеризації та призводить до нерівномірності структури виготовленого паперового полотна.

Для формування оптимального рівня механічної міцності та повітропроникності, а також забезпечення можливості використання паперу як основи для отримання вологоміцних та водонепроникних паперових пакувальних матеріалів, досліджено вплив ступеня помелу целюлозного волокна на властивості матеріалу.

Результати випробувань механічної міцності виготовленого паперу за показником руйнівного зусилля та опору продавлюванню наведено на рис. 2 і 3.

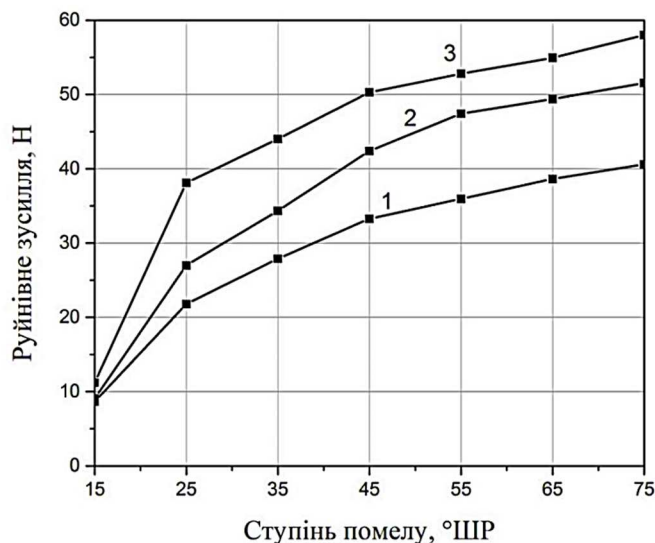


Рис. 2. Вплив ступеня помелу на руйнівне зусилля у сухому стані паперу із різних видів целюлози:

1 – сульфатна листяна небілена; 2 – сульфітна хвойна небілена; 3 – сульфатна хвойна небілена

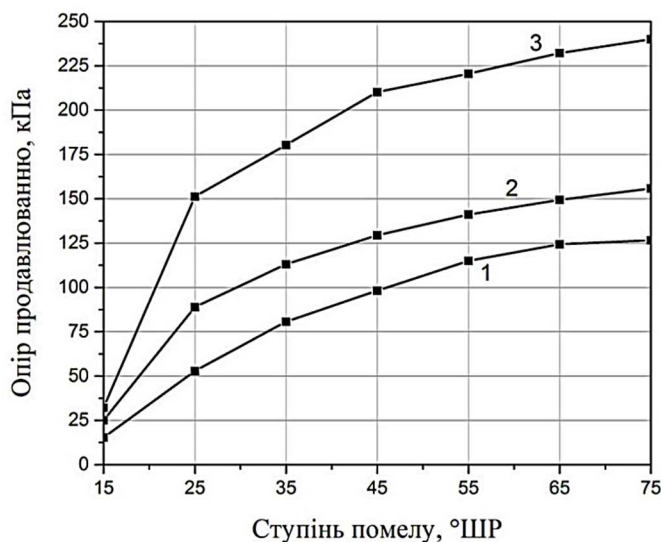


Рис. 3. Вплив ступеня помелу на опір продавлюванню паперу із різних видів целюлози:

1 – сульфатна листяна небілена; 2 – сульфітна хвойна небілена; 3 – сульфатна хвойна небілена

Механічна міцність паперу зростає зі збільшенням ступеня помелу целюлозного волокна. Найбільш інтенсивний (у 4 рази) приріст руйнівного зусилля має місце в діапазоні 15-55 °ШР. За ступеня помелу від 55 до 75 °ШР показник руйнівного зусилля паперу, виготовленого із сульфатної хвойної целюлози, збільшується з 53 до 58 Н. Ступінь помелу вище 65 °ШР не сприяє значному зростанню рівня руйнівного зусилля в машинному напрямі паперу, виготовленого з усіх досліджуваних видів целюлози.

За опором продавлюванню паперу досліджувані зразки демонструють такий же ряд, як і у випадку руйнівного зусилля: сульфатна хвойна целюлоза > сульфітна хвойна целюлоза > сульфатна листяна целюлоза.

Папір, виготовлений із сульфатної листяної целюлози, характеризується більш рівномірним зростанням опору продавлюванню із підвищенням ступеня помелу паперової маси, про що свідчить більш полого крива залежності (1) на рис. 3. Приріст досліджуваного показника за ступеня помелу вище 55 °ШР є суттєво меншим для паперу з усіх видів целюлози.

У діапазоні ступеня помелу з 65 до 75 °ШР показники механічної міцності паперу дещо збільшуються, однак при цьому суттєво зменшується його повітропроникність (рис. 4).

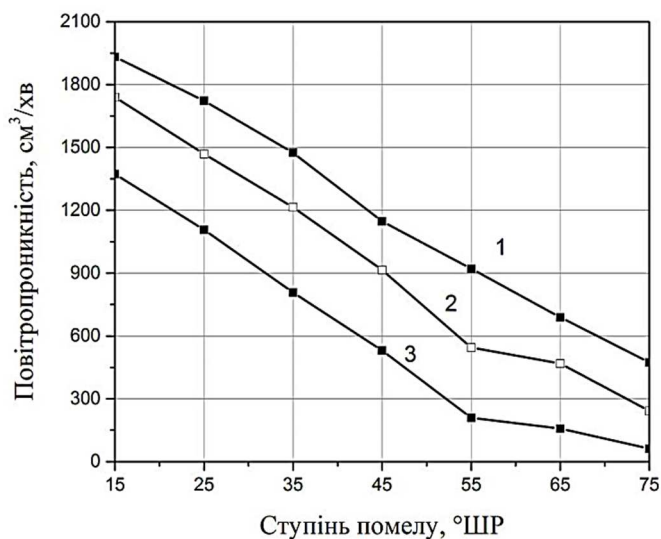


Рис. 4. Вплив ступеня помелу на повітропроникність паперу з різних видів целюлози: 1 – сульфатна листяна небілена; 2 – сульфітна хвойна небілена; 3 – сульфатна хвойна небілена

Повітропроникність паперу, виготовленого з листяної целюлози (1), за однакових ступенів помелу волокна є вищою, ніж паперу із хвойних видів целюлози (2, 3). При цьому папір із нерозмеленої целюлози (15 °ШР) листяної деревини має повітропроникність 1932 см³/хв, що в 1,4 раза більше, ніж у паперу з хвойної сульфатної (1373 см³/хв) та на 11 % вище, ніж у паперу із сульфітної хвойної целюлози (1740 см³/хв).

З підвищенням ступеня помелу повітропроникність зразків паперу значно знижується. Мінімальним значенням повітропроникності відповідає максимальний ступінь помелу, що для паперу з листяної целюлози становить 474 см³/хв, хвойної сульфітної – 242 см³/хв, хвойної сульфатної – 61 см³/хв.

Таким чином, із наведених залежностей можна зробити висновок, що ступінь помелу целюлозного волокна вище за 65 °ШР не сприяє значному зростанню рівня руйнівного зусилля в машинному напрямі, однак значно знижує повітропроникність паперу.

Змінювання довжини волокон сульфітної і сульфатної хвойної та сульфатної листяної целюлози в процесі розмелювання наведено на рис. 5.

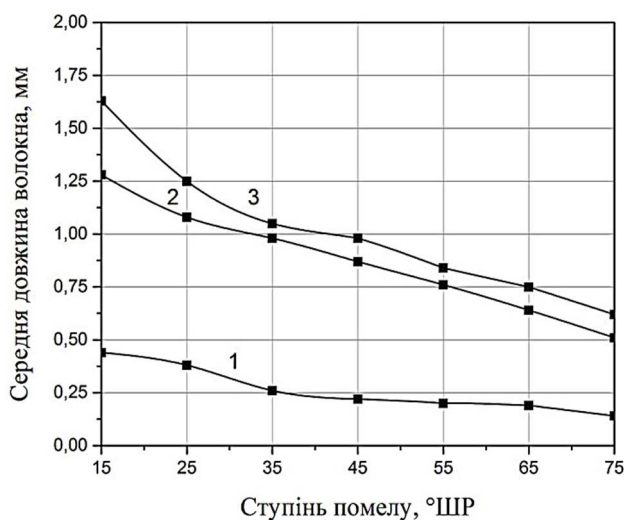


Рис. 5. Залежність довжини волокна целюлози від ступеня помелу: 1 – сульфатна листяна небілена; 2 – сульфітна хвойна небілена; 3 – сульфатна хвойна небілена

Наведені залежності свідчать про кращу здатність до розмелювання волокон хвойної целюлози, що укорочується більше ніж на 46–50 % за ступеня помелу 65 °ШР від початкового стану. На відміну від хвойної целюлози, листяна має набагато меншу початкову довжину волокна, яка в процесі розмелювання зменшується з 0,44 до 0,19 мм, тобто в 2,3 рази, що є небажаним фактором для забезпечення відповідних структури паперу та його властивостей.

**Висновки та пропозиції.** Результати досліджень дозволяють констатувати, що оптимальний ступінь помелу целюлозних волокон знаходиться в діапазоні 55–65 °ШР. При цьому значну відмінність у показниках механічної міцності та повітропроникності паперу, виготовленого з різних видів целюлози, можна пояснити різною їхньою здатністю до розмелювання, тобто здатністю до укорочення волокна та його фібрилювання.

Значно менша довжина волокна листяної целюлози дає можливість за відповідного співвідношення використовувати її в комбінації з волокнами з хвойної целюлози. При цьому волокна листяної целюлози будуть заповнювати простір між більш довгими волокнами хвойної, що дозволить отримати папір із більш однорідною структурою, підвищеною непрозорістю, стійкістю до деформацій та скручування.

Дослідження характеру розмелювання різних видів целюлози та їхнього впливу на властивості отриманого паперу показало, що папір із сульфатної хвойної целюлози за своїми властивостями значно поступається паперу, виготовленому із сульфатної хвойної, та незначною мірою перевищує за показниками опору продавлюванню та повітропроникності папір із листяної целюлози за інших однакових умов. Враховуючи високу доступність та нижчу вартість листяної целюлози, для виробництва пакувального паперу доцільно використовувати як вихідний волокнистий матеріал композиції сульфатної небіленої хвойної та листяної видів целюлози.

#### Список використаних джерел

1. Примаков П. С., В. А. Барабаш Технологія паперу і картону. Київ: ЕКМО, 2008. 425 с.
2. Фляте Д. М. Бумагообразующие свойства волокнистых материалов. Москва: Лесная промышленность, 1990. 136 с.
3. Коптюх Л. А. Разработка и организация производства жиронепроницаемой и влагопрочной упаковочной бумаги. *Целлюлоза. Бумага. Картон*. 1997. № 11–12. С. 28–30.
4. Осика В. А., Коптюх Л. А. Паперові пакувальні матеріали: монографія. Київ: КНТЕУ, 2018. 464 с.
5. Вураско А. В., Фролова Е. И. Влияние степени помола на сорбционные свойства целлюлозы из недревесного растительного сырья. *Леса России и хозяйство в них*. 2013. С. 123–126.
6. Карпунин И. И., Кузьмич В. В., Балабанова Т. Ф. Технологические режимы переработки растительного сырья для производства упаковки. *Наука и техника*. 2011. № 3. С. 34–38.
7. Мирзаева М. В., Бабаханова Х. А. Факторы, влияющие на специфические свойства бумаги конкретного назначения. *Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела*. 2013. № 2. С. 13–17.
8. Кулешов А. В., Смолин А. С. Бумагообразующие свойства вторичных растительных волокон. *Химия растительного сырья*. 2008. № 2. С. 110–112.
9. Анализ влипания качества целлюлозного сырья на прочностные и сорбционные свойства упаковочных видов картона / О. А. Мишурина и др. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2017. № 1–1. С. 9–13.
10. Sahin H. T., Arslan M. B. A Study on Physical and Chemical Properties of Cellulose Paper Immerse in Various Solvent Mixtures. *International Journal of Molecular Sciences*. 2008. Vol. 9, Issue 1. P. 78–88.
11. Исследование влияния химического состава целлюлозы на физико–механические свойства бумаги / Э. Р. Муллина и др. *Современные наукоемкие технологии*. 2015. № 9. С. 32–38.
12. Hosoya T., Kawamoto H., Saka S. Cellulose–hemicellulose and cellulose–lignin interaction in wood pyrolysis at gasification temperature. *Journal of analytical and applied pyrolysis*. 2007. Vol. 80, № 1. P. 118–125.



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

13. Iwamoto S., Abe K., Yano H. The effect of hemicellulose son wood pulp nanofibrillation and nanofiber network characteristics. *Biomacromolecules*. 2008. Vol. 9, № 3. P. 1022–1026.

14. Characteristics of hemicellulose, cellulose and ligninpyrolysis / Yang H. et al. *Fuel*. 2007. Vol. 86, № 12–13. P. 1781–1788.

15. Влияние условий обработки древесины на молекулярно-массовое распределение целлюлозы в ее составе / Е. В. Калюта и др. *Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья*. 2009. С. 93–95.

## References

1. Prymakov, P. S. (2008). *Tekhnolohiia paperu i kartonu [Publishing and editing]*. Kyiv: EKMO [in Ukrainian].

2. Fliate, D. M. (1990). *Bumagoobrazuiushchie svoistva voloknistikh materialov [Publishing and editing]*. Moscow: Lesnaia promyshlennost [in Russian].

3. Koptiukh, L. A. (1997). Razrabotka i organizatsiia proizvodstva zhironpronitcaemoi i vlagoprochnoi upakovochnoi bumagi [Development and organization of production of greaseproof and moisture-proof packaging paper]. *Tcelluloza. Bumaga. Karton – Cellulose. Paper. Cardboard*, 11-12, 28–30 [in Russian].

4. Osyka, V. A. (2018). *Paperovi pakuvalni materialy [Publishing and editing]*. Kyiv: KNUTE [in Ukrainian].

5. Vurasko, A. V. (2013). Vliianie stepeni pomola na sorbtcionnye svoistva tcellulozy iz nedrevesnogo rastitelnogo Syria [The influence of the degree of grinding on the sorption properties of cellulose from non-wood plant materials]. *Les Rossii i khoziaistvo v nikh – Russian forests and farming in them*, 1, 123–126 [in Russian].

6. Karpunin, I. I. (2011). Tekhnologicheskie rezhimy pererabotki rastitelnogo syria dlia proizvodstva upakovki [Technological modes of processing vegetable raw materials for the production of packaging]. *Nauka i tekhnika – Science and technology*, 3, 34–38 [in Russian].

7. Mirzaeva, M. V. Faktory, vliiaiuushchie na spetsificheskie svoistva bumagi konkretnogo naznacheniia [Factors affecting the specific properties of a paper of a specific purpose]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy poligrafii i izdatelskogo dela. – News of higher educational institutions – Problems of printing and publishing*, 2, 13–17 [in Russian].

8. Kuleshov A. V. Bumagoobrazuiushchie svoistva vtorichnykh rastitelnykh volokon [Paperforming properties of secondary plant fibers]. *Khimiia rastitelnogo syria – Chemistry of plant raw materials*, 2, 110–112 [in Russian].

9. Mishurina, O. A. (2017). Analiz vliipniia kachestva tcelluloznogo syria na prochnostnye i sorbtcionnye svoistva upakovochnykh vidov kartona [Analysis of the influence of the quality of cellulosic raw materials on the strength and sorption properties of packaging types of cardb]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovanii – International Journal of Applied and Fundamental Research*, 1–1, 9–13 [in Russian].

10. Sahin, H. T. (2008). A Studyon Physicaland Chemical Properties of Cellulose Paper Immerse dinVarious Solvent Mixtures. *International Journal of Molecular Sciences*, 9 (1), 78–88.

11. Mullina, E. R. (2015). Issledovanie vliianiia khimicheskogo sostava tcellulozy na fiziko–mekhanicheskie svoistva bumagi [Study of the influence of the chemical composition of cellulose on the physical and mechanical properties of paper]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii – Modern high technologies*, 9, 32–38 [in Russian].

12. Hosoya, T. (2007). Cellulose–hemicellulose and cellulose–lignin interaction sin wood pyrolysis at gasification temperature. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 1 (80), 118–125.

13. Iwamoto, S. (2008). The effect of hemicellulose son wood pulp nanofibrillation and nanofiber network characteristics. *Biomacromolecules*, 9 (3), 1022–1026.

14. Yang H. etal. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and ligninpyrolysis. *Fuel*, 86 (12–13), 1781–1788.

15. Kaluta, Ye. V. (2009). Vliianie ruslovii obrabotki drevesiny na molekuliarno-massovoe raspredelenie tcellulozy v ee sostave [The influence of wood processing conditions on the molecular weight distribution of cellulose in its composition]. *Novye dostizheniia v khimii i khimicheskoi tekhnologii rastitelnogo syria – New advances in chemistry and chemical technology of plant raw materials*, 1, 93–95 [in Russian].

UDC 676.15:676.248

Viktor Osyka, Leonid Koptiukh,  
Volodymyr Komakha, Olga Shulga, Kostiantyn Mostyka

## PAPER-FORMING PROPERTIES OF CELLULOSE OF DIFFERENT TYPES AND DEGREES OF GRINDER

**Urgency of the research.** There is a significant number of cellulose grinding schemes affecting on paper properties. In any case, the nature and degree of processing of the fibers in the grinding process is determined primarily by their external surface, namely, the size, morphological structure and structure of the fiber, as well as its plasticity and chemical activity.

**Target setting.** Under production conditions, the basic properties of paper pulp are estimated on the basis of indirect definitions of quality, namely, the index of the degree of grinding and the average fiber length.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The latest publications on the possibility of obtaining paper with desired properties by developing cellulose fibers at the grinding stage were reviewed.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The study of the paper-forming properties of cellulose fibers of various origins in a fairly wide range of grinding degree is an actual scientific and practical research for predicting the properties of paper with a given complex of consumer properties.

**The research objective.** The purpose of the study is to establish the relationship between the degree of fibrillation, shortening of various types of cellulose fiber and the properties of paper obtained from it.

**The statement of basic materials.** To establish the dependencies, various samples of paper made from various types of softwood and hardwood pulp with varying degrees of grinding were examined.

**Conclusions.** The research results allow us to state that the optimal degree of grinding of cellulose fibers is in the range of 55–65 ° ShR. At the same time, a significant difference in the mechanical strength and air permeability of paper made from different types of cellulose can be explained by their different ability to grind, that is, to shorten the fiber and fibrillate it.

**Keywords:** paper properties; softwood pulp; hardwood pulp; paper-forming properties; degree of grinding; average fiber length.

Fig.: 5. References: 15.

**Осика Віктор Анатолійович** – доктор технічних наук, доцент, декан факультету торгівлі та маркетингу, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Osyka Victor** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Deen of Trade and Marketing Faculty, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** osyka@knteu.kiev.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5081-7727>

**Коптюх Леонід Андрійович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри товарознавства та митної справи, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Koptiukh Leonid** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor in the Department of Commodity Science and Customs Affairs, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** neprod3@knteu.kiev.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6205-6120>

**Комаха Володимир Олександрович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри товарознавства та митної справи, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Komakha Volodymyr** – PhD in Technical Sciences, Senior lecturer in the Department of Commodity Science and Customs Affairs, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6498-9047>

**Шульга Ольга Сергіївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та митної справи, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Shulga Olga** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor in the Department of Commodity Science and Customs Affairs, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0312-890X>

**Мостика Костянтин Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри товарознавства, управління безпечністю та якістю, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Mostyka Kostiantyn** – PhD in technical sciences, docent, Associate Professor in the Department of Commodity Science, Safety and Quality Management, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6165-6463>