

УДК 676.252

**ПАПЕРОТВІРНІ ВЛАСТИВОСТІ МАКУЛАТУРНОГО ВОЛОКНА
ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ**

© А. С. Морозов, к.т.н., доцент, НТУУ «КПІ», Київ, Україна

**В статье рассмотрено состояние вопроса о восстановлении
свойств макулатурного волокна и перспектив его
переработки.**

**In the article is considered state of question at restoration
of properties waster papering filament and prospects of its
processing.**

Постановка проблеми

У світовій економіці зацікавлення до широкого використання вторинних волокнистих матеріалів для отримання повноцінної продукції широкого призначення виникло давно, але особливо стало гострим, коли на початку сімдесятих років минулого сторіччя економіка відчула негативні наслідки багатократного підвищення цін на нафту та інші енергоносії. Багато розвинених країн світу з невеликими лісовими ресурсами почали різко збільшувати частку вторинного волокна в композиції картону та паперу.

З усього різноманіття вторинних матеріалів найбільш споживаними є: метал, скло, пластик, папір, картон. Метал і скло можна перероблювати велику кількість разів, а от пластик, папір і картон — всього два-три рази, бо вони втрачають свої основні властивості, сильно змінюється їх структура. Існує так званий поріг корисності break-even-point — точка, де прибуток від отриманої сировини дорівнює різниці витрат на рециклінг та знищення

відходів. При перевищенні цього рівня рециклінг економічно недоцільний і його технічні межі обумовлені різними причинами.

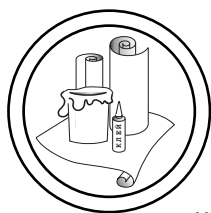
Аналіз джерел науково-технічної інформації не виявив відомостей, які б повною мірою висвітлювали питання сучасного стану переробки макулатури. У багатьох виданнях така інформація подається дуже обмежено [1–5].

Мета роботи

Метою даного дослідження є аналіз питань відновлення паперотвірних властивостей вторинного целюлозного волокна та сучасних світових тенденцій переробки макулатури.

Результати проведених досліджень

Макулатура є полідисперсною системою, яка містить в собі волокнисту масу, паперотвірні властивості якої за наступними циклами використання різко погіршуються внаслідок часткового руйнування первісної структури самих волокон.



Систематичний багатократний кругообіг макулатурного волокна у виробництві робить зниження його якості неминучим, бо воно по своїм фізико-хімічним властивостям значно відрізняється від первісних целюлозних. Вторинні волокна проходять, як мінімум, один цикл переробки, який містить процеси подрібнення і сушіння. При цьому хімічна та фізична структура волокон зазнає необоротних змін: більша частина пор і капілярів руйнується, поверхня волокон здавлюється та роговіє, що перешкоджає проникненню води у середину волокна і його подальшому набряканню.

Процеси роговиння викликають зменшення питомої поверхні волокон і це супроводжується частковою втратою здатності до утворення певних зв'язків, що є основною причиною погіршення фізико-механічних властивостей волокон з макулатури.

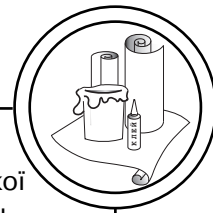
Вченими було висловлено припущення про те, що сутність процесу сушіння полягає у переході целюлози із високоеластичного стану в склоподібний. Виникаюче при цьому зниження вільного об'єму, підвищення енергії міжмолекулярної взаємодії в аморфних зонах, наявність в склоподібному стані значної кількості функціональних груп, залучених в фізичні і водневі зв'язки, призводить до суттєвого ускладнення протікання хімічних реакцій [6, 7].

Фізичну природу виникаючих при сушінні невідновних змінень властивостей волокон пов'язують з тим, що з початку стис-

кається внутрішній канал і пори волокон. Трубочата форма волокна перетворюється в стрічкову, а потім до наружної поверхні волокон прилипають окремі фібрили і дрібні волоконця. Нарешті, десорбується вода із стінок волокон, що особливо позначається на невідновленні властивостей висушених рослинних волокон.

Кінцевим результатом цього процесу є зменшення всотування і закріплення друкарської фарби макулатурним папером або картоном, тобто погіршення його друкарських властивостей. Ще один негативний фактор, який виникає в процесі розпуску і подрібнення, це руйнування волокнистої структури. Піддані сушінню волокна макулатурної маси через роговиння протягом цих процесів виявляються значно подрібненими і слабо фібрильованими порівняно з первинними целюлозними напівфабрикатами, а виготовлений папір стає менш міцним, більш сипким, м'яким та непрозорим. Тому в основному із макулатурного картону виготовляється гофрокартон.

Покращення паперотвірних властивостей вторинних целюлозних волокон після обробки ферментами пов'язано з частковим видаленням поверхневих шарів кліткової стінки, що підвищує гнучкість волокон, збільшує зовнішнє фібрилювання і покращує зв'язкоутворення в аркуші паперу. Наприклад, ендоглюконази, як найчастіше застосовувани ферменти, руйнують целюлозні ланки в локальних зонах волокон, там, де волокна мають структурні неоднорідності і



більш відкриту структуру, до-ступну для ферментів.

Для вторинних волокон взаємодія з ферментами ускладнюється тим, що їх поверхня в значній мірі закрита крохмальним зв'язуючим та проклеюючими речовинами. Обмеження доступу ферментативного субстрату для дії, наприклад, целюлаз, може суттєво знизити ефективність ферментативної обробки.

Біомодифікація волокон за допомогою ферментів припускає досягнення балансу між міцністю волокон, міцністю міжволоконних зв'язків і втратами водного зв'язуючого, які повинні бути зведені до мінімуму при ферментативній дії на целюлозне волокно [7, 8].

Механізм відділення частинок друкарської фарби від волокна заснований на реакції омилення в'язучих речовин фарби, які містять різні смоляні кислоти, гідроксидом натрію, пов'язаною з цим дисоціацією отриманих солей на іони і утворення міцел-флокул, здатних взаємодіяти з повітряними бульбашками при процесі флоатації. При цьому поверхнево-активні речовини окутують частинки використаної фарби сольватним шаром і запобігають їх повторному осаду на волокно [8].

Одним із методів активації цього процесу є ультразвукова обробка. За рахунок ультразвукової обробки відбувається більш інтенсивне очищення макулатурного волокна, засноване на дії кавітації, яка виникає в рідині в результаті локального зниження тиску при прохо-

дженні акустичної хвилі великої інтенсивності. Кавітаційні бульбашки, які утворились, пересуваючись в зону з більш високим тиском, тріскаються, випромінюючи при цьому вторинні ударні хвилі. При цьому значення локального тиску і температури збільшується у сотні раз, і, завдяки цьому, відбувається одночасно очищення і розщеплювання в повздовжньому напрямку вторинної волоконної маси, а також утворення на знов сформованій поверхні макулатурного волокна дефектних зон з некомпенсованими зв'язками. Ці ефекти багатократно прискорюють процеси адсорбції необхідних поверхнево-активних речовин при облагороджуванні макулатурної маси [9].

Розрахунки ефективності використання макулатури по кінцевій продукції довели, що її використання характеризується більш високими економічними показниками, ніж використання для тих же цілей первинної деревинної сировини. Збільшення питомого споживання макулатури до нормативного рівня без змінення якісних параметрів готової продукції знижує витрати на виробництво тарного картону на 12,6 %, а паперу санітарно-гігієнічного призначення на 43,3 % [9].

На думку деяких експертів промислово розвинених країн, у цей час, з погляду економіки, доцільно переробляти до 56 % макулатурної сировини від загальної кількості макулатури (рис. 1).

Сучасні технології й устаткування для переробки макулатурної маси дозволяють засто-

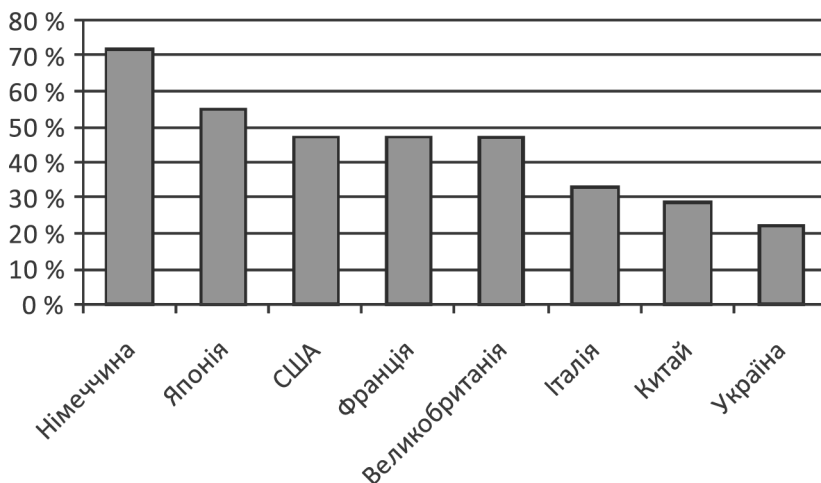
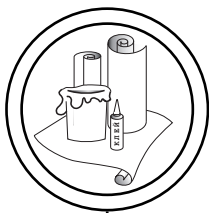


Рис. 1. Використання макулатури в різних країнах світу за 2010 р.

совувати її не тільки для вироблення низькоякісної, але й високоякісної продукції. Одержання високоякісної продукції припускає наявність додаткового устаткування й введення хімічних допоміжних речовин для облагороджування маси. Ця тенденція чітко проглядається в описах закордонних технологічних ліній [9–11].

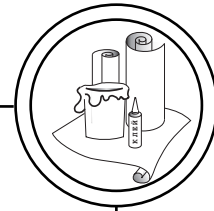
Однією з вирішальних умов поліпшення якості готової продукції, у тому числі показників міцності, є поліпшення якості сировини: сортування макулатури по марках і поліпшення її очищення від різних забруднень. Зростаючий ступінь забруднення вторинної сировини негативно впливає на якість продукції. Для підвищення ефективності використання макулатури необхідна відповідність її якості виду продукції, що випускається. Так, тарний картон, папір для гофрування, повинні вироблятися із застосуванням макулатури переважно марок МС-4А, МС-5Б та МС-6Б.

Важливою характеристикою макулатурного ринку (рис. 2 а, б), є ступінь використання та регенерації (відновлення), тобто частка зібраної макулатури в загальному обсязі виготовленого паперу та картону [12].

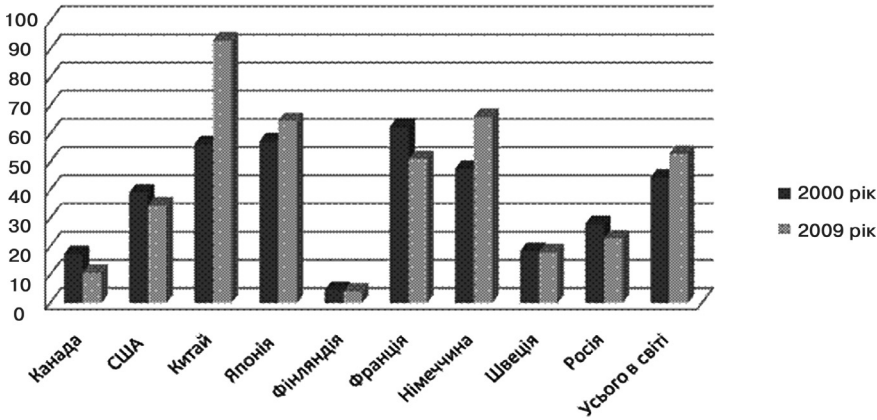
На рис. 3, а–г наведено обсяги утворення, експорту, імпорту та споживання паперової та картонної сировини (макулатури), у світі за 2000 і 2009 рр.

Застосування вторинного волокна замість свіжих деревних напівфабрикатів пов'язане з певними труднощами внаслідок нестабільності складу макулатурної маси. Вторинна маса та складові її фракції відрізняються між собою в основному середньою довжиною волокна й здатністю утворювати зв'язки між волокнами в папері.

ВАТ «ЦНДІП» розпочав розробку сучасної технології виробництва газетного легкокрейдованого паперу з використанням макулатурної маси. Дослідження проводяться по широкому спектру проблем, таких як: по-

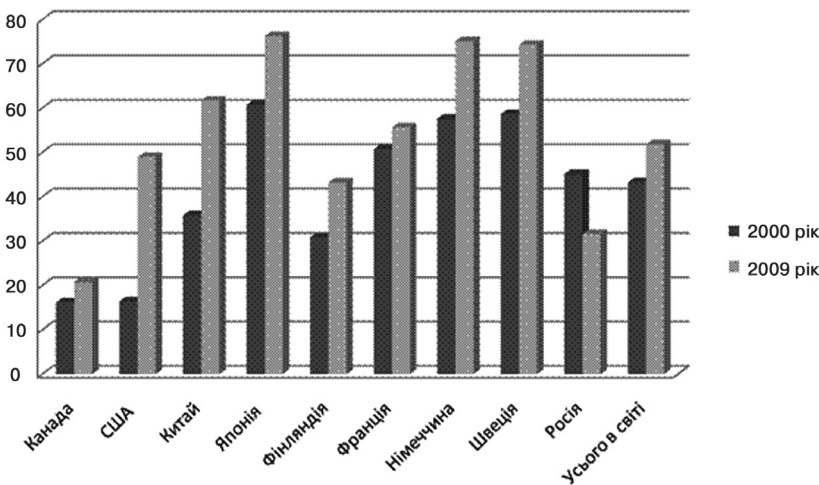


Використання макулатури, %



а

Ступінь регенерації, %



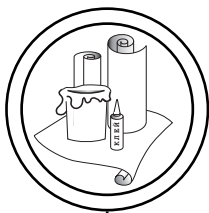
б

Рис. 2. Ступінь використання (а) та регенерації макулатури (б) у деяких країнах за 2000 і 2009 рр. [12]

передній розпуск макулатури, грубе й тонке очищення, фракціонування, термодисперсна обробка, безхлорне відбілювання в 1–2 стадії [13].

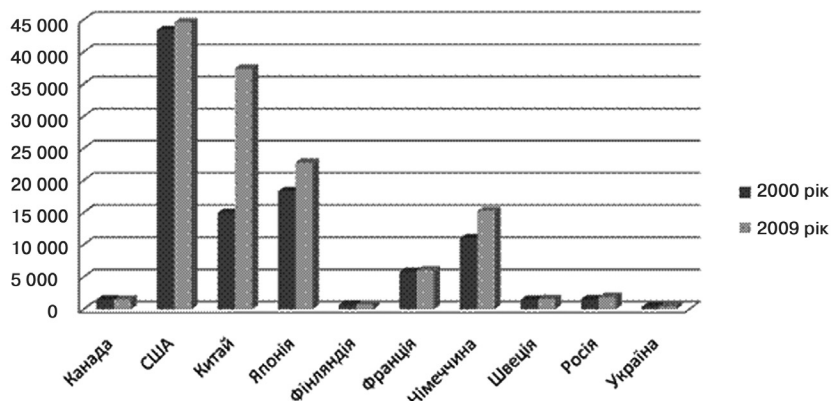
Проведення процесу облагороджування макулатурної маси з використанням сучасного апаратурного оформлення дозво-

лить приступити до введення високоякісного макулатурного волокна в композицію газетного паперу. При цьому плановане зниження собівартості продукції складе 40 % за рахунок використання в композиції макулатури, поліпшення міцнісних властивостей газетного паперу вна-



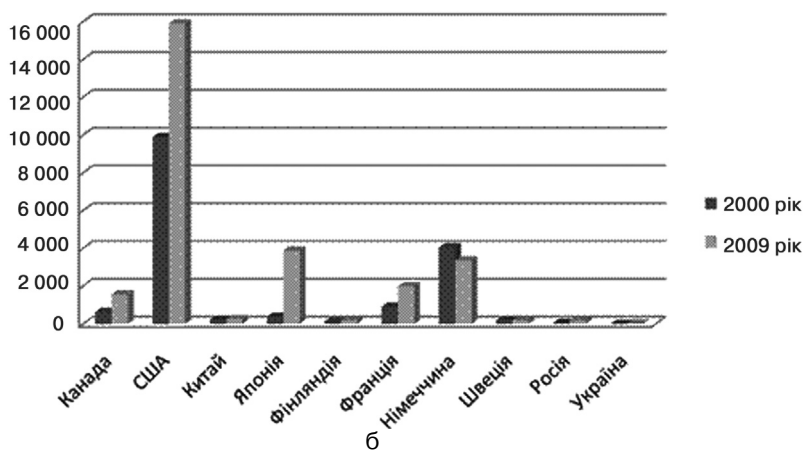
ПОЛІГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ

Обсяги утворення макулатури, тис. т



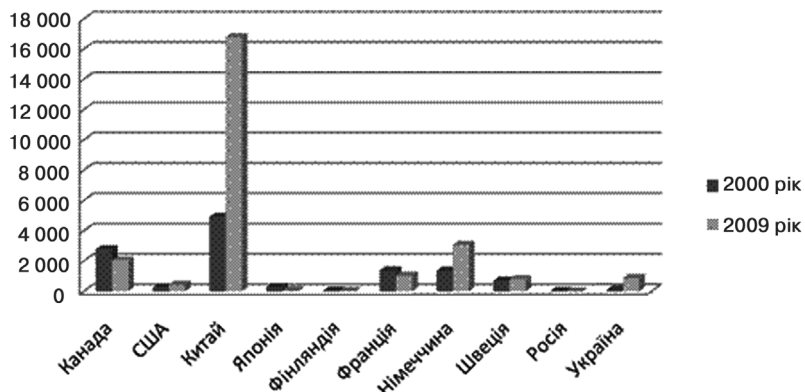
а

Експорт макулатури, тис. т



б

Імпорт макулатури, тис. т



в

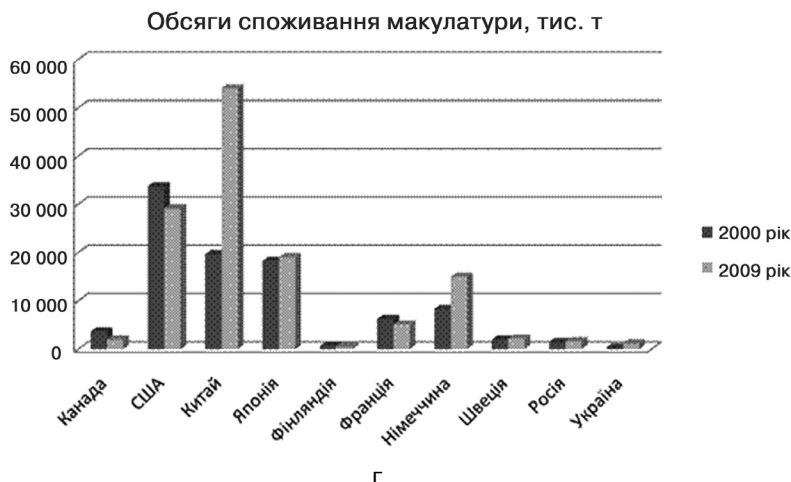
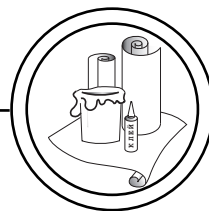


Рис. 3. Обсяги утворення (а), експорту (б), імпорту (в) і споживання (г) вторинної паперової та картонної сировини (макулатури) у деяких країнах за 2000 і 2009 рр. [12]

слідок застосування нових технічних рішень, використання сучасних високоефективних хімічних допоміжних речовин.

Для того, щоб правильно організувати виробництво паперу з додаванням макулатури і зробити існуюче устаткування більш ефективним, необхідно:

- визначити, який відсоток прийнятності для подальшої переробки волокна є в макулатурі;
- яке природне волокно доцільніше комбінувати із вторинним;

- наскільки заміна вплине на якість і технологічну стабільність, її економічну ефективність;

- чи зажадає перехід до масового використання вторинної сировини роботи у нейтральному середовищі;

- який відсоток необоротних відходів буде при цьому утворюватися і, що з ними робити.

Підприємства по переробці макулатури є безумовно прибутковими, особливо, якщо во-

ни входять в інтегровану систему папероробних комбінатів, та ціна на макулатуру штучно не підніметься.

У загальному випадку швидкий ріст використання макулатури обумовлений наступними факторами:

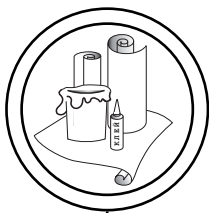
- конкурентоспроможністю виробництва паперу й картону з макулатурної сировини;

- відносно високою вартістю деревної сировини, особливо з урахуванням транспортування;

- відносно низькою капіталомісткістю проектів нових підприємств, що працюють на макулатурі, у порівнянні з підприємствами, що використовують первинну волокнисту сировину;

- простотою створення нових невеликих підприємств;

- підвищеним попитом на папір і картон із вторинного волокна через більш низьку вартість.



Висновки

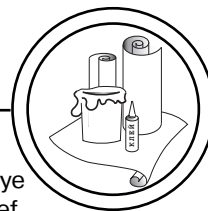
Отже, проаналізувавши сучасний стан паперової індустрії в Україні, вивчивши етапи переробки макулатури, можна зробити висновок, що сфера переробки та використання макулатури організаційно недосконала, і потребує детального вивчення і впровадження нових технологій, завдяки яким цей про-

цес буде більш доступним і легким для масового використання.

Безумовно, доцільніше використовувати макулатуру для виробів, які після застосування не потребують утилізації, невідповідального призначення (теплоізоляційні плити, ековата, як електроізоляційний матеріал тощо).

1. Примаков С. П. Технологія паперу і картону / С. П. Примаков, В. А. Барбаш. — Київ : ЭКМО. — 2002. — 396 с. 2. Олексій Л. М. Технологія виготовлення паперу / Л. М. Олексій — Навч. посібник. — Ч. 1. — Львів : УАД. — 2007. — 72 с. 3. Шредер В. Л. Упаковка из картона / В. Л. Шредер, С. Ф. Пилипенко. — Киев : ИАЦ «Упаковка». — 2004. — 560 с. 4. Волошин В. С. Природа отхообразования / В. С. Волошин. — Мариуполь : Рената. — 2007. — 666 с. 5. Каменев А. Ф. Технические системы : закономерности развития / А. Ф. Каменев. — Ленинград : Машиностроение. — 1985. — 216 с. 6. Агеев М. А. Облагораживание макулатуры в производстве бумаги : автореф. дисс. докт. техн. наук / М. А. Агеев. — Красноярск, 2008. — 21 с. 7. Кондаков А. В. Ферментные технологии для подготовки макулатуры к изготовлению бумаги и картона : автореф. дисс. канд. техн. наук / А. В. Кондаков. — Архангельск, 2009. — 16 с. 8. Южанинова Л. А. Комбинированное облагораживание вторичных волокон из макулатуры / Л. А. Южанинова, Д. А. Дулькин, Н. Н. Павлов, И. Н. Ковернинский // Целлюлоза. Бумага. Картон. — 2005. — № 1. — С. 60–63. 9. Голямзинова О. В. Механическая активация ферментативного гидролиза целлюлозы и лигноцеллюлозных материалов : автореф. дисс. канд. химич. наук / О. В. Голямзинова. — Новосибирск, 2010. — 22 с. 10. Проблема твердых бытовых отходов : комплексный подход [Электронный ресурс]. — Режим доступа : URL : <http://www.ecolifeorg.ua/education/apress/tbo/g13>. 11. Мини-заводы по переработке макулатуры и производству эковаты [Электронный ресурс]. — Режим доступа : URL : <http://www.new.garbagecome/11789page>. 12. Андрієвська Л. В. Проблеми використання макулатури у виробництві паперу санітарно-гігієнічного призначення / Л. В. Андрієвська, Т. Г. Глушкова, Л. В. Токаренко // Вестник Дон НУЭТ. Серия «Технические науки». — 2011. — № 1. — С. 142–154. 13. Макулатура вважається основною сировиною паперової промисловості XXI століття [Електронний ресурс]. — Режим доступа : URL : <http://www.rav.ua/ua/useful-know/clauses/sorting/maculatur-XXI-ua>.

1. Prymakov S. P. Tekhnolohiia paperu i kartonu / S. P. Prymakov, V. A. Barbash. — Kyiv : JeKMO. — 2002. — 396 s. 2. Oleksii L. M. Tekhnolohiia vyhotovlennia paperu / L. M. Oleksii. — Navchalnyi posibnyk. — Chast. 1. — Lviv : UAD. — 2007. — 72 s. 3. Shreder V. L. Upakovka iz kartona / V. L. Shreder, S. F. Pilipenko. — Kiev : IAC «Upakovka». — 2004. — 560 s. 4. Voloshin V. S. Priroda othodoobrazovaniia / V. S. Voloshin. — Mariupol' : Renata. — 2007. — 666 s. 5. Kamenev A. F. Tehnicheskie sistemy : zakonomernosti razvitija / A. F. Kamenev. — Leningrad : Mashinostroenie. — 1985. — 216 s. 6. Ageev M. A. Oblagorazhivanie makulatury v proizvodstve bumagi : avtoref. diss. dokt. tehn.



nauk / M. A. Ageev. — Krasnojarsk, 2008. — 21 s. 7. Kondakov A. V. Fermentnye tehnologii dlja podgotovki makulatury k izgotovleniju bumagi i kartona : avtoref. diss. kand. tehn. nauk / A. V. Kondakov. — Arhangel'sk, 2009. — 16 s. 8. Juzhaninova L. A. Kombinirovannoe oblagorazhivanie vtorignyh volokon iz makulatury / L. A. Juzhaninova, D. A. Dul'kin, N. N. Pavlov, I. N. Koverninskij // Celljuloza. Bumaga. Karton. — 2005. — № 1. — S. 60–63. 9. Goljamzinova O. V. Mehanicheskaja aktivacija fermentativnogo gidroliza celljulozy i lignocelluloznyh materialov: avtoref. diss. kand. himich. nauk / O. V. Goljamzinova. — Novosibirsk, 2010. — 22 s. 10. Problema tverdych bytovyh othodov : kompleksnyj podhod [Elektronnyi resurs]. — Rezhym dostupu : URL : <http://www.ecolife.org.ua/education/apress/tbo/g13>. 11. Mini-zavody po pererabotke makulatury i proizvodstvu jekovaty [Elektronnyi resurs]. — Rezhym dostupu : URL : <http://www.new.garbag.com/11789rage>. 12. Andriievska L. V. Problemy vykorystannia makulatury u vyrobnytstvi paperu sanitarno-higienichnoho pryznachennia / L. V. Andriievska, T. H. Hlushkova, L. V. Tokarenko // Vestnik Don NUJeT. Serija «Tehnicheskie nauki». — 2011. — № 1. — S. 142–154. 13. Makulatura vvažaietsia osnovnoiu syrovynoiu paperovoi promyslovosti XXI stolittia [Elektronnyi resurs]. — Rezhym dostupu : URL : <http://www.rav.ua/ua/useful-know/clauses/sorting/maculat-XXI-ua>.

Рецензент — Т. А. Роїк, д.т.н.,
професор, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 01.02.12