

УДК 676.1.022

В.А. Барбаш, В.О. Зінченко, І.В. Трембус

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБЛЕННЯ СТЕБЕЛ МІСКАНТУСА

Processes of obtaining pulp from *Miscanthus* stems for the production of paper and cardboard, microcrystalline cellulose and pellets were investigated. The chemical composition of *Miscanthus giganteus* stems was determined. Established that the *Miscanthus* contains more cellulose, pentosans, minerals and less lignin than wood. The influence of main technological parameters on the quality indexes of organosolv pulp obtained from *Miscanthus* stems was investigated. The use of *Miscanthus* organosolv pulp in composition of writing paper and paperboard container was experimentally confirmed. The influence of preliminary hydrolysis duration *Miscanthus* stems on ash content and polymerization degree of microcrystalline cellulose was presented. It was established that performing preliminary hydrolysis by water-alcohol solution and oxide-organosolv pulping by hydrogen peroxide solution and acetic acid allows obtaining microcrystalline cellulose from *Miscanthus* stems. Obtained microcrystalline cellulose meets the requirements of standards by its quality indexes. Laboratory samples of pellets from the stems of *Miscanthus* correspond to the indexes of European standards for wood pellets by density (1,26 g/cm³) and calorific value (18,9 kJ/kg).

Вступ

Зростання рівня життя населення зумовлює збільшення потреб у товарах широкого вжитку, зокрема у такій целюлозовмісній продукції, як папір, картон, мікрокристалічна целюлоза, пелети. Для їх виробництва основною лігноцелюлозною сировиною залишається деревина, обсяги використання якої з року в рік збільшуються. Процес вирощування лісу характеризується великою тривалістю виробничого циклу. Технологічної зрілості березові, осикові та грабові насадження досягають через 40–50 років; соснові, ялинкові та ялицеві – через 70–90 років, а дубові й букові – через 100–120 років [1]. Загальний запас деревостанів в Україні в 2011 р. становив близько 2,1 млрд м³ при обсязі заготівлі ліквідної деревини усіх видів рубань близько 15 млн м³ та імпорту близько 7,0 млн м³ для покриття дефіциту деревини. При цьому близько 50 % вітчизняних лісів має режим обмеженого користування, а 14,3 % площі лісів займають заповідні ліси [2]. Для країн, що не мають великих запасів вільної деревини, зокрема для України, актуальною проблемою залишається пошук альтернативних джерел лігноцелюлозної сировини, до яких належать стебла щорічно поновлюваної недеревної рослинної сировини (НДРС). Щорічні запаси НДРС у світі становлять більше 2,5 млрд т, зокрема 2,1 млрд т соломи злакових культур і 0,3 млрд т стебел технічних культур [3]. До злакових рослин, що останнім часом почали культивуватися в Україні, належить міскантус, зокрема форми гігантеус, який щорічно дає один із найбільших приростів маси з 1 га – до 30 т [4].

Міскантус гігантеус (лат. *Miscanthus sinensis* форми *Giganteus*) – багаторічна трав'яниста рослина сімейства злакових, яку використовують в основному як корм для великої рогатої худоби. Міскантус гігантеус має глибоку кореневу систему (до 2,5 м), завдяки чому легко вбирає поживні речовини і воду. Тому його можна вирощувати на малородючих деградованих землях, на яких вирощування продовольчих культур обмежене або які зазнали радіаційного забруднення. До того ж для його вирощування потребується вносити менше добрив, ніж для інших багаторічних та однорічних рослин [5].

Для одержання целюлози у світовій целюлозно-паперовій промисловості найбільш поширеними є сульфатний і сульфітний способи, які залишаються екологічно небезпечними внаслідок викидів шкідливих меркаптанів, діоксанів, фуранів. Більш безпечними способами делігніфікації рослинної сировини вважаються методи з використанням органічних розчинників, так звані органосольвентні способи делігніфікації. Вони характеризуються меншою енергоємністю і більшою вибірковою дією на лігнін, що дає можливість одержувати волокнисті напівфабрикати (ВНФ) з більшим виходом полісахаридів і можливістю використовувати більш прості схеми регенерації хімікатів, з меншим екологічним навантаженням на довкілля [6]. Серед органосольвентних способів одним із найбільш ефективних є лужно-сульфітно-спиртовий спосіб одержання волокнистих напівфабрикатів із рослинної сировини.

Вітчизняними хіміко-фармацевтичними підприємствами щорічно використовуються десят-

ки тонн імпортової мікрокристалічної целюлози (МКЦ), що збільшує собівартість кінцевої лікарської продукції. Існуючі промислові способи одержання МКЦ характеризуються багатостадійністю, енергоємністю та екологічним навантаженням на довкілля. Як лігноцелюлозну сировину для одержання МКЦ в основному використовують хвойну деревину і бавовну. Сировинну базу для виробництва МКЦ можна істотно розширити і зробити дешевшою завдяки розробленню ефективних методів одержання МКЦ із щорічно поновлювальної НДРС [7].

Останніми роками населення і підприємства країни гостро відчувають проблему із забезпеченням паливно-енергетичними ресурсами, що призводить до зростання цін на всі товари і послуги. Вирішенню енергетичної проблеми сприятиме розроблення і впровадження технології перероблення відходів рослинної сировини на паливні брикети і пелети, якими можна частково замінити традиційне паливо для опалювання приватних будинків, залізничних вагонів, теплиць тощо [8].

Тому розроблення ресурсозберігальних технологій перероблення стебел міскантуса гігантеуса на целюлозовмісну продукцію і товари широкого вжитку є важливою науково-технічною задачею для целюлозно-паперової, фармацевтичної та деревопереробної промисловостей.

Постановка задачі

Метою роботи є дослідження технологічних процесів одержання із стебел міскантуса гігантеуса ВНФ для виробництва картонно-паперової продукції, лікарських препаратів і паливних пелет.

Для досягнення вказаної мети були поставлені такі задачі: визначити хімічний склад стебел міскантуса гігантеуса; дослідити вплив основних технологічних параметрів (температури і тривалості варіння) на показники якості лужно-сульфітно-спиртових волокнистих напів-

фабрикатів із стебел міскантуса гігантеуса; вивчити паперотвірні властивості одержаних волокнистих напівфабрикатів та дослідити можливість їх використання в композиції картонно-паперової продукції; дослідити вплив параметрів процесу одержання мікрокристалічної целюлози на показники її якості; визначити характеристики паливних пелет із стебел міскантуса.

Методи досліджень

У роботі використовували стебла міскантуса гігантеуса із Житомирської області. В лабораторних умовах повітряно-сухі стебла подрібнювали до розмірів 20 ± 5 мм. Січка рослини зберігалася в ексикаторі для підтримання постійних вологості та хімічного складу. Хімічний аналіз стебел міскантуса гігантеуса було виконано відповідно до стандартних методик [9]. У табл. 1 хімічний склад цієї рослини порівняно з найбільш поширеними представниками злакових культур, листяних і хвойних порід деревини [9].

Із даних табл. 1 видно, що міскантус гігантеус за хімічним складом близький до соломи інших злакових культур, зокрема пшениці, і порівняно з листяною деревиною (березою) містить більше полісахаридів (целюлози і пентозанів), що свідчить про можливість його використання для одержання ВНФ для виробництва паперу і картону. При цьому в дослідженій рослині, як і в пшеничній соломі, порівняно з деревиною міститься більше пентозанів, мінеральних речовин (зольність) і розчинних у NaOH компонентів (крохмалю, пектинів, неорганічних солей, циклічних спиртів, барвників, танідів, геміцелюлоз і низькомолекулярних фракцій целюлози), що апріорі за однакових умов делігніфікації буде приводити до одержання ВНФ з меншим виходом, ніж із деревини.

Одержання волокнистих напівфабрикатів із міскантуса в лабораторних умовах проводили водно-спиртовим розчином сульфату натрію і

Таблиця 1. Хімічний склад рослинної сировини, %

Сировина	Розчинність		Смоли, жири, воски	Лігнін	Пентозани	Целюлоза	Холоцелюлоза	Зольність
	у воді	у NaOH						
Міскантус гігантеус	6,2	24,4	2,2	24,4	23,4	42,9	62,6	2,7
Пшенична солома	10,1	38,4	5,2	18,6	26,4	46,2	67,7	4,2
Береза	2,2	11,2	1,8	21,0	10,7	41,0	64,7	0,5
Сосна	6,7	19,4	3,4	27,5	10,4	47,0	63,2	0,2

гідроксиду натрію за співвідношення 80:20 %, з їх витратами 25 % від маси абсолютно сухої сировини (а.с.с.), за об'ємного співвідношення етилового спирту до води 35:65 %, за витрат антрахінону 0,1 % від маси а.с.с. за температури варіння 130–170 °С упродовж 90–180 хв. Гідромодуль варіння становив 5:1. Після закінчення процесу делігніфікації одержаний ВНФ промивали проточною водою на сітці № 40 до нейтральної реакції промивних вод і сушили до повітряно-сухого стану. Такі умови органосольвентного варіння ВНФ визначені як оптимальні для багатьох представників недеревної рослинної сировини [10]. Визначення показників якості одержаних ВНФ (виходу, вмісту залишкового лігніну) проводили згідно з прийнятими методиками [11]. Для визначення фізико-механічних характеристик ВНФ спочатку їх розмелювали в центробіжному розмелювальному апараті до ступеня млива 60 ± 2 ШР, а потім на апараті ЛА виготовляли відливки масою 75 г/м².

Для одержання мікрокристалічної целюози із стебел міскантуса гігантеуса на першій стадії проводили передгідроліз рослинної сировини. Обробку здійснювали водно-спиртовим розчином за співвідношення етилового спирту до води 1:3, за температури 180 °С, протягом 10–120 хв. Гідромодуль попереднього гідролізу становив 5:1. Варіння прогідролізованої сировини проводилося в термостійких скляних колбах ємністю 0,5 дм³, занурених у водяну баню і з'єднаних зі зворотними холодильниками. Приготування варильного розчину проводило-

ся змішуванням розчинів 30 % оцтової кислоти і 35 % пероксиду водню за співвідношення 1:1, з додаванням 2 % вольфрамату натрію від маси а.с.с. як каталізатора. Температура варіння становила 105 °С, тривалість – 180 хв, гідромодуль – 10:1. Заключною стадією одержання МКЦ було кислотування, яке проводили соляною кислотою з витратами 0,5 % від маси а.с.с. за температури 80 °С, тривалість – 60 хв. Визначення показників якості одержаної МКЦ (вмісту залишкового лігніну, зольності та ступеня полімеризації) проводили згідно з прийнятими методиками [11].

Для одержання паливних пелет із стебел міскантуса гігантеуса рослинна сировина подрібнювалась на лабораторному роторному подрібнювачі ПН-2 до розміру частинок 1–3 мм і зберігалась в ексікаторі для підтримання постійної вологості. Подрібнені частинки стебел міскантуса завантажувалися в прес-гранулятор, у якому методом шнекового пресування отримували пелети діаметром 5 мм.

Аналіз отриманих результатів

З метою дослідження впливу температури і тривалості варіння на показники якості ВНФ, одержаних лужно-сульфітно-спиртовим способом делігніфікації стебел міскантуса, проведено серію варінь, результати яких наведено в табл. 2.

Як видно із наведених у табл. 2 даних, зі збільшенням температури і тривалості лужно-сульфітно-спиртової делігніфікації стебел міс-

Таблиця 2. Показники якості органосольвентних волокнистих напівфабрикатів із стебел міскантуса гігантеуса

Тривалість варіння, хв	Вихід ВНФ, % від а.с.с.	Вміст залишкового лігніну, % від а.с.с.	Розривна довжина, м	Опір продавлюванню, кПа	Опір роздиранню, мН	Міцність на злам під час багаторазових перегинів, кількість подвійних перегинів
Температура варіння 130 °С						
90	68,5	10,8	6050	223,3	331,6	200
120	65,8	10,2	6890	314,2	431,6	230
150	64,1	7,3	8230	348,3	500,3	400
180	62,1	5,3	8730	365,4	647,4	480
Температура варіння 150 °С						
60	62,1	10,5	6100	257,3	313,9	190
90	59,1	8,9	6680	329,6	366,2	215
120	55,9	5,4	6950	363,5	523,2	230
Температура варіння 170 °С						
60	57,8	4,4	8480	325,2	353,2	220
90	55,3	2,1	7430	365,4	457,8	260
120	53,7	1,4	4940	353,8	421,8	185

кантуса вихід волокнистих напівфабрикатів і вміст залишкового лігніну зменшуються, що пов'язано з інтенсифікацією процесів розщеплення α - і β -етерних алкіларильних зв'язків макромолекул лігніну і переважним переведенням продуктів деструкції лігніну, а також екстрактивних і мінеральних речовин рослинної сировини у варильний розчин.

Зростання температури і тривалості процесу делігніфікації стебел міскантуса за температур 130 і 150 °С призводить до зменшення виходу ВНФ і вмісту в ньому залишкового лігніну, а також до підвищення його фізико-механічних показників. Збільшення температури варіння до 170 °С і тривалості процесу делігніфікації міскантуса лужно-сульфітно-спиртовим методом до 120 хв призводить до зниження фізико-механічних показників органосольвентних волокнистих напівфабрикатів, що є наслідком часткової деструкції вуглеводної частини рослинної сировини за таких температурно-часових умов. Але в цілому одержані зі стебел міскантуса гігантеуса органосольвентні волокнисті напівфабрикати мають високі показники якості і можуть використовуватися для виробництва різних видів паперу та картону.

Для дослідження паперотвірних властивостей органосольвентних волокнистих напівфабрикатів, одержаних із міскантуса, було виготовлено лабораторні зразки тарного картону і писального паперу. Для вивчення впливу вмісту недеревних волокнистих напівфабрикатів на показники якості тарного картону виготовлено лабораторні зразки масою 200 г/м² різного композиційного складу. Для цього використовували органосольвентні ВНФ із міскантуса,

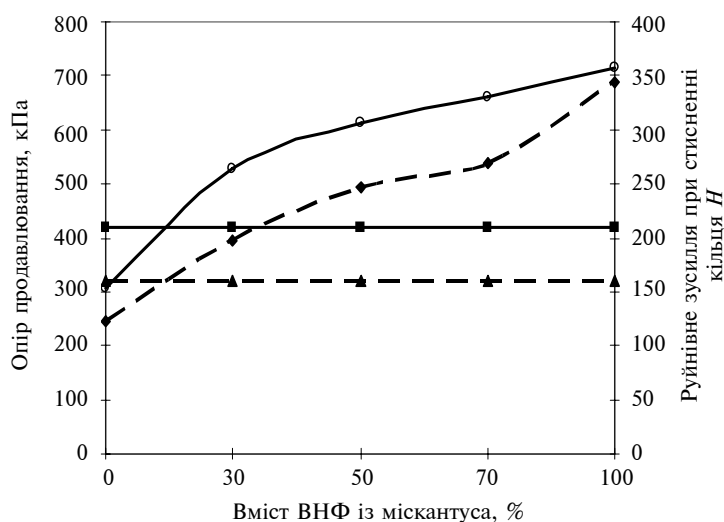


Рис. 1. Залежність опору продавлювання (о) і руйнівного зусилля (♦) тарного картону від вмісту органосольвентного ВНФ із міскантуса: ■ – значення показника опору продавлюванню для марки КТ-50 [11]; ▲ – значення показника руйнівного зусилля при стисненні кільця для марки КТ-50 [11]

одержані лужно-сульфітно-спиртовим методом за температури варіння 130 °С упродовж 180 хв, і макулатуру марки МС-5Б [12]. Ступінь млива волокнистих напівфабрикатів і макулатури становив 35 ± 2 °ШР. При виготовленні лабораторних зразків тарного картону застосовували внутрішньомасне проклеювання з витратами білого каніфольного клею 1,5 % від маси а.с.с. Основні фізико-механічні показники одержаних лабораторних зразків тарного картону наведено на рис. 1.

Як видно із даних рис. 1, використання органосольвентних ВНФ у композиції з макулатурою покращує фізико-механічні показники тарного картону. Фізико-механічні показники зразків тарного картону, отриманого з використанням в його композиції волокнистих напівфабрикатів із міскантуса у кількості 50 %, свід-

Таблиця 3. Вплив вмісту лужно-сульфітно-спиртової вибіленої целюлози із міскантуса гігантеуса в композиції волокнистої маси на фізико-механічні показники писального паперу

Композиція ВЦМ*/Са**, %	Маса м ² , г	Розривна довжина, м	Ступінь проклеювання, мм	Білість, %
100/0	81	4540	1,2	80
70/30	80	4400	1,2	80
50/50	81	4180	1,2	81
30/70	79	4000	1,2	81
0/100	80	3670	1,2	82
Вимоги стандарту до паперу № 1 марки А [15]	80 ± 2	Не менше 2700	1,2–1,6	Не менше 80

* ВЦМ – вибілена целюлоза із міскантуса гігантеуса;

** Са – сульфатна вибілена хвойна целюлоза.

чать про те, що зразки тарного картону задовольняють усі вимоги стандарту для картону тарного макулатурного марки КТ-50 [13]. Подальше збільшення частки органосольвентних ВНФ із міскантуса в композиції картону істотно перевищує значення показників стандарту.

Для вивчення можливості використання ВНФ із міскантуса гігантеуса в композиції писального паперу використовували вибілену розчином пероксиду водню целюлозу із міскантуса білістю 80 % і сульфатну хвойну вибілену целюлозу білістю 86 % [14].

Виготовляли лабораторні зразки писального паперу масою 80 г/м² різного композиційного складу із попередньо розмелених до 35±2 °ШР целюлоз із введенням у волокнисту масу 2,0 % каолінової суспензії, 3 % білого каніфольного клею та 4,5 % сульфатнокислого алюмінію від маси а.с.с. Фізико-механічні показники одержаних зразків писального паперу наведено в табл. 3.

Як видно із даних табл. 3, використання вибіленої целюлози із міскантуса в композиції писального паперу № 1 марки А дає можливість замінити повністю сульфатну хвойну целюлозу і тим самим значно знизити собівартість готової продукції, що широко використовується населенням.

Для дослідження можливості одержання МКЦ із стебел міскантуса проводили передгідроліз подрібненої сировини водно-спиртовим розчином з подальшою делігніфікацією ВНФ розчином пероксиду водню й оцтової кислоти з додаванням як каталізатора вольфрамату натрію (тривалість варіння 180 хв за температури 105 °С). Вплив тривалості стадії передгідролізу на значення показників якості одержаних зразків мікрокристалічної целюлози із міскантуса наведено на рис. 2.

Як видно із даних, наведених на рис. 2, проведення двогодинного передгідролізу рослинної сировини з подальшим окисно-органосольвентним варінням протягом трьох годин дає змогу отримати мікрокристалічну целюлозу з показником зольності від 0,81 до 0,012 % і ступенем полімеризації (СП) в межах від 200 до 400 од. Для часткового зниження СП здійснювали додаткове кислотування целюлози соляною кислотою з її витратами 0,5 % від маси а.с.с. Така обробка зменшила СП в середньому ще на 20 % і дала можливість досягти середнього

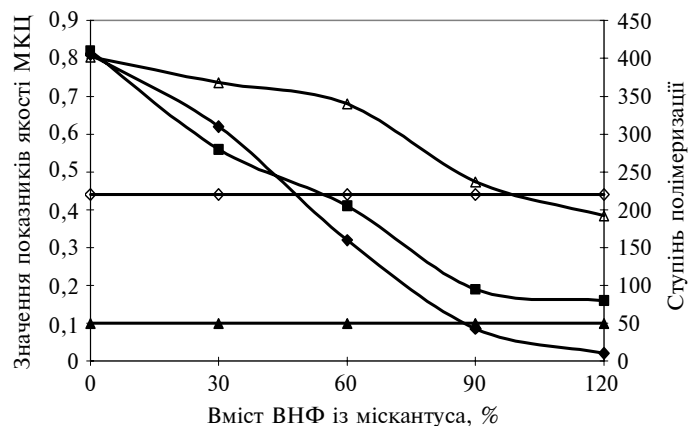


Рис. 2. Залежність показників якості мікрокристалічної целюлози з міскантуса від тривалості передгідролізу: ■ – вміст лігніну, %; ◆ – зольність, %; Δ – ступінь полімеризації; ▲ – значення зольності відповідно до стандарту [12]; ◇ – значення ступеня полімеризації відповідно до стандарту [12]

значення СП МКЦ із міскантуса у межах 140–300 од., що відповідає вимогам стандарту [16].

У лабораторних умовах методом шнекового пресування в прес-грануляторі подрібнених частинок стебел міскантуса одержано паливні пелети, основні характеристики яких наведено в табл. 4. Роль зв'язуючого в пелетах виконують компоненти рослинної сировини, зокрема лігнін, який під дією тиску і температури розм'якшує структуру частинок міскантуса і сприяє з'єднанню та зміцненню частинок рослинної сировини в кінцевому продукті – пелеті.

Таблиця 4. Характеристики паливних пелет

Характеристики	Показники лабораторних зразків із міскантуса гігантеуса	Вимоги європейських стандартів [17] до деревних	
		паливних пелет	паливних брикетів
Вологість, %	10	Не більше 10	Не більше 12
Зольність, % від а.с.с.	4,88	Не більше 3,0	Не більше 1,5
Щільність, кг/дм ³	1,26	1,0–1,4	1,3–1,8
Теплота згорання, кДж/кг	18,9	Не менше 16,0	Не менше 18,6

Із наведених у табл. 4 даних видно, що одержані лабораторні зразки паливних пелет задовольняють вимоги стандартів, але мають дещо вищу зольність. Підвищена зольність паливних пелет із міскантуса пояснюється значно

більшим, ніж у деревині, вмістом мінеральних речовин, що характерно для всіх представників недеревної рослинної сировини. При цьому зольність паливних пелет із міскантуса нижча, ніж екологічно небезпечного шлаку із кам'яного вугілля (зольність до 20 %) або бурого вугілля (зольність до 40 %). До того ж зола із стебел НДРС є калійним добривом. Важливими характеристиками паливних пелет є також екологічна чистота та енергобезпечність, пожежонебезпечність при зберіганні, мінімальна кількість викидів окису вуглецю в атмосферу при спалюванні та відсутність неприємного запаху. Вони не виділяють диму, копоті, чадного газу та інших шкідливих речовин, на відміну від дров або вугілля. Тому можна стверджувати, що паливні пелети із міскантуса можуть розглядатися як альтернатива традиційним видам палива для опалювання приватних будинків, залізничних вагонів, теплиць, котлів усіх типів з можливістю автоматизації процесів доставки і подачі в топку. В умовах безперервного зростання вартості природного газу лісопильні та деревообробні підприємства, агрофірми і фермерські господарства мають можливість не тільки задовольняти свої потреби в паливі, але й отримувати додатковий прибуток.

Висновки

Показана можливість одержання волокнистих напівфабрикатів із міскантуса лужно-сульфідно-спиртовим способом делігніфікації. Встановлено, що при збільшенні температури і тривалості варіння відбувається прискорення процесу делігніфікації рослинної сировини, що

сприяє більш інтенсивному переходу у варильний розчин лігніну, смол, жирів і восків, геміцелюлоз та екстрактивних речовин зі стебел міскантуса, а також приводить до зменшення виходу та вмісту залишкового лігніну в органосольвентних ВНФ і до підвищення фізико-механічних показників отриманих волокнистих напівфабрикатів.

Експериментально підтверджена практична придатність одержаних ВНФ для виробництва картону тарного марки КТ-50 і писального паперу № 1 марки А.

Запропоновано технологічний процес одержання мікрокристалічної целюлози із стебел міскантуса, який включає водно-спиртовий передгідроліз, окисно-органосольвентне варіння і кислотування, що дає можливість одержати мікрокристалічну целюлозу з показником зольності до 0,01 % і ступенем полімеризації в межах від 140 до 300.

Встановлено, що лабораторні зразки паливних пелет із стебел міскантуса за щільністю (1,26 г/см³) і теплою згорання (18,9 кДж/кг) відповідають вимогам європейських стандартів.

Під час проведення подальших досліджень планується більш детально дослідити процес кислотування для одержання мікрокристалічної целюлози із різних представників недеревної рослинної сировини.

Застосування розроблених ресурсозберігаючих технологій дасть можливість значно збільшити обсяг целюлозовмісної продукції за рахунок переробки стебел такої щорічно поновлюваної рослинної сировини, як міскантус гігантеус.

1. Козак Р.О., Саламбай Р.Г. Аналіз запасів злакової соломи в Україні як сировини для композиційних матеріалів // Науковий вісник НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.6. – С. 110–113.
2. Гайда С.В. Вживана деревина – додатковий ресурс сировини // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість. Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Львів: НЛТУ України, 2011. – Вип. 37.1. – С. 238–244.
3. R.W. Hunter, “Non-wood Fiber – 2010 and beyond. Prospects for non-wood paper production in Asia Pacific”, APPITA, 2010, 56 pp.
4. В харьковской области на Украине начали выращивать “слоновую” траву или мискантус // Экологические системы. – 2007. – № 8.
5. Зінченко В.О. Біогеліоенергія – наше енергетичне майбутнє // Новини агротехніки. – 2008. – № 10. – С. 21–23.
6. Примаков С.П., Барбаш В.А., Черьопкіна Р.І. Виробництво сульфідної і органосольвентної целюлози. – К.: ЕКМО, 2009. – 280 с.
7. Демчук М.Б. Сучасний стан створення, виробництва та дослідження таблетованих лікарських препаратів // Фармацевтичний часопис. – 2010. – № 1. – С. 76–80.
8. Барбаш В.А., Шабанов М.В., Грабовський О.В. Паливні брикети із відходів рослинної сировини // Екотехнології и ресурсозбережение. – 2011. – № 1. – С. 46–49.
9. Азаров В.И., Бузов А.В., Оболенская О.В. Химия древесины и синтетических полимеров. – М.: Лес. пром., 1999. – 345 с.

10. *Модифікований ASAE* спосіб делігніфікації пшеничної соломи / В.А. Барбаш, С.П. Примаков, І.В. Трембус, М.О. Кулік // Науковий вісник НТУУ "КПІ". Сер. Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2010. – № 2. – С. 92–96.
11. *Лабораторний практикум по целюлозно-бумажному производству: Учебн. пособие для вузов* / С.Ф. Примаков, В.П. Миловзоров, М.С. Кухникова, И.М. Царенко. – М.: Лес. пром., 1980. – 168 с.
12. *Макулатура паперова і картонна*. Технічні умови: ДСТУ 3500-97 на зміну ГОСТ 10700-84 [Чинні від 1998-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1998. – 10 с.
13. *Картон тарний макулатурний*. Технічні умови: ТУ 21.1-05509659-026:2005 [Чинні від 2005-01-01]. – К.: Укрметртестстандарт, 2005. – 12 с.
14. *Целлюлоза сульфатная беленная из хвойной древесины*. Технические условия: ГОСТ 9571-60 [Действительны от 1987-01-01]. – М.: Госстандарт СССР, 1987. – 4 с.
15. *Бумага писчая*. Технические условия: ГОСТ 18510-87 [Действительны от 1987-01-01]. – М.: Госстандарт СССР, 1987. – 4 с.
16. *Целлюлоза микрокристаллическая порошковая*. Технические условия: ТУ 9199-005-12043303-2003.
17. *Стандарты качества на топливные брикеты в странах Европы*. – URL: <http://brikk.info/about/86-spr.html>. – Название с экрана.

Рекомендована Радою
інженерно-хімічного факультету
НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції
8 жовтня 2012 року