УДК 677.11-037.1.004.14
А.В. Островська, С.В. Бобирь, Т.І. Тернова, Т.О. Кузьміна
Херсонський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВ ЗАСТОСУВАННЯ ВОЛОКНА ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ДЛЯ ОТРИМАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті розглянуто проблему розширення спектру застосування волокна льону олійного для армування композиційних матеріалів. Розроблено рекомендації щодо застосування волокна льону олійного.

Ключові слова: *льон олійний, волокно, композиційні матеріали, армування, фізико-механічні показники.*

Постановка проблеми. Проблема забезпечення широкого промислового використання волокнистих матеріалів, які можуть скласти альтернативу бавовні, надзвичайно важлива. Тим часом, Україна має свою природну целюлозовмісну сировину, яка щорічно поновлюється, це льон, який має кращі медико-біологічні та захисні властивості порівняно з бавовною. Зважаючи на такий унікальний комплекс властивостей льону як гігієнічність, висока міцність, низький електричний опір, комфортність, природна бактерицидність, зростає попит на продукцію побутового призначення з льону. Зазначимо, що вихід целюлози з волокна льону олійного складає більше ніж 60% залежно від способу обробки.

В останні роки в усьому світі і, зокрема, в Україні значно збільшилися посіви льону олійного у зв'язку зі значним розширенням спектру його застосування. Волокно льону олійного може бути високоякісною сировиною для одержання целюлози та целюлозних напівфабрикатів, паперу, пряжі, а також текстильних матеріалів. Крім того, сьогодні лляне волокно широко застосовується для армування композиційних матеріалів.

Композиційні матеріали є багатокомпонентними системами, що складаються з пластичної основи (матриці), армованої наповнювачами, які надають композитам міцності та еластичності. Поєднання різнорідних речовин призводить до створення нового матеріалу, властивості якого кардинально відрізняються від властивостей кожного з його складових. Змінюючи склад матриці і наповнювача та їх співвідношення, орієнтацію наповнювача, отримують широкий спектр матеріалів з необхідними властивостями.

Бавовняне волокно в якості композиційного матеріалу застосовується для виготовлення різноманітної продукції широкого вжитку. Проведені експериментальні дослідження направлені на заміну бавовняного волокна на волокно льону олійного з огляду на високу вартість бавовни в даний час.

Лубоволокнистий матеріал використовується в композиційних полімерних матеріалах не у вигляді сформованого нетканого матеріалу, а у вигляді суміші з нагрітим полімером (рис. 1). Виріб, до складу якого входять луб'яні волокна, а не скловолокно, є легшим і менш ламким. Тому композиційні матеріали, армовані рослинними волокнами, широко застосовуються в автомобільній промисловості. У результаті, крім зниження ваги деталей і всього екіпажу, скорочення витрат на паливо, необхідно відзначити значне поліпшення споживчих властивостей машини, зниження шуму, вібрації та покращення теплоізоляції [1]. Армування пластиків натуральними волокнами, зокрема льоном, дає можливість суттєво спростити, на відміну від армування скловолокном, повторне використання деталей, що відпрацювали свій строк.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні за кордоном активно розробляються технології переробки волокна і костриці льону олійного у композиційні матеріали та плити.

На даний час льон олійний або взагалі не переробляють і солому спалюють, за що льоносіючі господарства обкладаються штрафними санкціями, або переробляють за технологією обробки короткого волокна льону-довгунця. А існуючі на сьогодні в Україні ефективні технології переробки стебел льону олійного потребують значних витрат, тому з метою підвищення економічності процесу переробки льону олійного необхідно удосконалювати даний технологічний процес та використовувати додаткове обладнання.

© *А.В. Островська, С.В. Бобирь, Т.І. Тернова, Т.О. Кузьміна*

Рис. 1. Композитні матеріали з лляного волокна

Також існує наступна важлива технологічна та маркетингова перепона для промислового використання льону олійного – брак відомостей про технологічні властивості волокон льону олійного.

На даний час в нашій державі льонопереробні підприємства внаслідок нової хвилі світової економічної кризи, через відсутність фінансування, не встигають здійснити переробку льоносировини протягом сезону. Тому виникає необхідність розробки технології зберігання соломи та трести льону олійного протягом тривалого часу з метою отримання високоякісного волокна без псування. Забезпечення вітчизняних підприємств легкої промисловості лляною сировиною є важливим фактором стабілізації їх роботи та економічного розвитку.

Аналіз останніх досліджень свідчить, що солома льону олійного протягом зберігання повільно перетворюється в тресту [2]. Льоносировина, яка підлягала зберіганню, являє собою сильно сплутану дезорієнтовану масу цілих та пошкоджених стебел різної довжини. Задля розробки рекомендацій щодо прогнозування сфери застосування волокна льону олійного, а також підтвердження наведених вище даних виникла потреба детальної оцінки технологічних властивостей та показників якості волокна льону олійного, отриманого з сировини тривалого зберігання.

Мета дослідження. Основною метою даної роботи є дослідження якісних характеристик лляного волокна, отриманого з соломи тривалого зберігання, порівняння динаміки зміни розподілу волокон за довжиною в процесі зберігання соломи та визначення придатності лляного волокна для переробки в різних галузях промисловості згідно вимог науково-технічної документації.

Результати дослідження. Для досліджень було використано волокно, одержане з соломи льону олійного сорту “Південна ніч”, яка зберігалася за рулонною технологією протягом одного та двох років на Державному підприємстві Дослідне господарство “Асканійське” НААН України (с. Тавричанка Херсонської області) [3]. Досліди проводилися у лабораторії кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету. Лляне волокно отримувалося із стебел соломи на м’яльній секції м’яльно-тіпального агрегату МТА-1Л. Для визначення якісних властивостей лляного волокна було виконано детальне розсортування волокон за групами довжини. Фізико-механічні показники волокна оцінювали за методикою діючого стандарту ДСТУ 5015:2008 [4] за вмістом волокна та за середньою масодовжиною, а також лінійною щільністю за технічними умовами [7, 8]. Результати експериментальних досліджень представлено у таблиці 1 та таблиці 2.

На підставі даних таблиць 1 та 2 побудовано штапельні діаграми розподілу волокон за довжиною, які математично оброблено за допомогою програмних пакетів: Mathcad 13, CurvExpert 1.3 та наведено на рис. 2-3.

Найважливішим параметром при моделюванні є поняття адекватності моделі, тобто відповідність моделі об’єкту або процесу. Модель вважається адекватною, якщо правильно відбиває систематичні компоненти ряду значень аргументу (1):

$$\xi_i = y_i - \widehat{y}_i, \tag{1}$$

де y_i – значення, отримані експериментальним шляхом; $\widehat{y}_i$ – значення, отримані за допомогою математичної моделі; i = 1, 2, ... , n – номер випробування; n – кількість випробувань.

© А.В. Островська, С.В. Бобирь, Т.І. Тернова, Т.О. Кузьміна

Таблиця 1

Результати розсортування волокон, отриманих з соломи 1-го року зберігання, за довжиною

Група волокон	Діапазон довжини волокон у групах, мм	Середня довжина волокон у кожній групі *L*, мм	Маса волокон кожної групи *m*, г	Масова частка волокон у кожній групі *m*, %
1	2	3	4	5
1	0-5	2,5	0,045	0,93
2	5-10	7,5	0,066	1,37
3	10-15	12,5	0,150	3,08
4	15-20	17,5	0,253	5,18
5	20-25	22,5	0,401	8,21
6	25-30	27,5	0,619	12,66
7	30-35	32,5	0,724	14,57
8	35-40	37,5	0,663	13,56
9	40-45	42,5	0,546	11,18
10	45-50	47,5	0,392	8,03
11	50-55	52,5	0,251	5,15
12	55-60	57,5	0,159	3,27
13	60-65	62,5	0,108	2,22
14	65-70	67,5	0,069	1,42
15	70-75	72,5	0,055	1,13
16	75-80	77,5	0,047	0,97
17	80-85	82,5	0,041	0,84
18	85-90	87,5	0,039	0,80
19	90-95	92,5	0,036	0,75
20	95-100	97,5	0,038	0,79
21	100-105	102,5	0,054	1,12
22	105-110	107,5	0,050	1,04
23	110-115	112,5	0,046	0,95
24	115-120	117,5	0,038	0,78
Всього			4,890	100

Таблиця 2

Результати розсортування волокон, отриманих з соломи 2-го року зберігання, за довжиною

Група волокон	Діапазон довжини волокон у групах, мм	Середня довжина волокон у кожній групі *L*, мм	Маса волокон кожної групи *m*, г	Масова частка волокон у кожній групі *m*, %
1	2	3	4	5
1	0-5	2,5	0,120	2,49
2	5-10	7,5	0,182	3,78
3	10-15	12,5	0,437	9,10
4	15-20	17,5	0,542	11,24
5	20-25	22,5	0,663	13,75
6	25-30	27,5	0,733	15,20
7	30-35	32,5	0,596	12,36
8	35-40	37,5	0,442	9,18
9	40-45	42,5	0,264	5,47
10	45-50	47,5	0,195	4,05
11	50-55	52,5	0,121	2,52
12	55-60	57,5	0,108	2,25

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
13	60-65	62,5	0,102	2,11
14	65-70	67,5	0,051	1,06
15	70-75	72,5	0,040	0,81
16	75-80	77,5	0,036	0,74
17	80-85	82,5	0,032	0,67
18	85-90	87,5	0,030	0,61
19	90-95	92,5	0,024	0,50
20	95-100	97,5	0,021	0,43
21	100-105	102,5	0,015	0,32
22	105-110	107,5	0,014	0,29
23	110-115	112,5	0,020	0,41
24	115-120	117,5	0,032	0,66
Всього			4,820	100

Ця вимога еквівалентна вимозі, де залишковий компонент задовольняє властивості залишкового компонента ряду, а саме: випадковості коливань рівнів залишковій послідовності, відповідності розподілу випадкового компонента нормальному закону розподілу, рівності математичного очікування випадкового компонента нулю, незалежності значень випадкового компонента, тобто відсутність істотної автокореляції. Перевірка адекватності математичних трендових моделей заснована на перевірці відповідності в залишковій послідовності зазначених чотирьох властивостей. Якщо не виконується хоча б одне з них, модель не визнається адекватною.

Перевірку випадковості коливань рівнів залишкової послідовності для обраних моделей здійснювали за допомогою критеріїв піків (поворотних точок). Перевірку відповідності розподілу випадкового компонента нормальному закону розподілу проведено за допомогою *RS*-критерію. Перевірку рівності математичного очікування випадкового компонента нулю здійснювали за допомогою *t*-критерію Стьюдента. Останню перевірку відсутності істотної автокореляції здійснювали за допомогою *d*-критерію Дарбина-Уотсона.

Результати перевірки розглянутих чотирьох властивостей для математичних моделей розподілу волокон за довжиною, виділених із стебел соломи 1-го та 2-х років зберігання, наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Властивості теоретичних моделей розподілу волокон, за довжиною

Моделі	Загальне число поворотних точок	Значення *RS*-критерію	Математичне очікування	*d*-критерій Дарбіна-Уотсона
Gaussian Model $Y(x)=\frac{1}{0{,}028\cdot\sqrt{2\cdot\pi}}\cdot e^{\frac{-(x_{l.v.}-26{,}15)^2}{330{,}25}}$	6	3,612	0,038	2,216
Harris Model $Y(x)=\frac{1}{0{,}0284\cdot\sqrt{2\cdot\pi}}\cdot e^{\frac{-(x_{l.v.}-34{,}7196)^2}{325{,}615}}$	8	3,514	0,068	1,412

Аналіз отриманих результатів свідчить, що отримані моделі адекватні. На основі одержаних даних було проведено математичні розрахунки для вибору найкращої функції, яка є найбільш адекватною експериментальним даним.

Найкращою за показниками середньоквадратичного відхилення і коефіцієнта кореляції є модель розподілу волокон за довжиною, виділених із стебел соломи 1-го року зберігання, що від-

повідає розподілу Гауса, де середньоквадратичне відхилення становить 0,7628, а коефіцієнт кореляції 0,98:

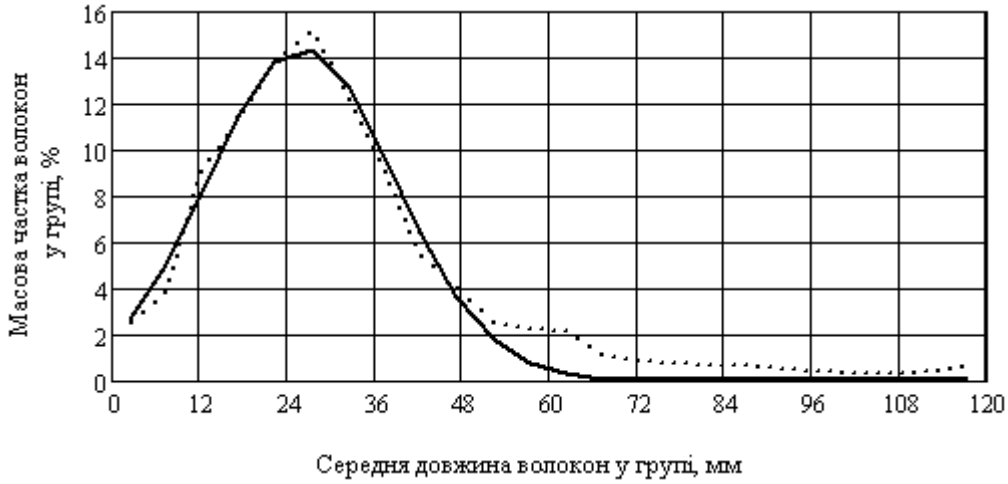
$$Y(x) = \frac{1}{0{,}0284 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{\frac{-(x_{l.v.} - 34{,}7196)^2}{325{,}615}} . \qquad (2)$$

····· – масова частка волокон у групі, %; ——— – апроксимуюча крива (*y*).

Рис. 2. Динаміка розподілу волокон, виділених із стебел соломи 1-го року зберігання, за довжиною

Для стебел соломи 2-х років зберігання найкращою з отриманих моделей за показниками середньоквадратичного відхилення і коефіцієнта кореляції є модель розподілу волокон за довжиною, що відповідає розподілу Гауса, де середньоквадратичне відхилення становить: 0,8512, а коефіцієнт кореляції 0,98:

$$Y(x) = \frac{1}{0{,}0278 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{\frac{-(x_{l.v.} - 26{,}1556)^2}{330{,}25}} . \qquad (2)$$



····· – масова частка волокон у групі, %; ——— – апроксимуюча крива (*y*).

Рис. 3. Динаміка розподілу волокон, виділених із стебел соломи 2-х років зберігання, за довжиною

У результаті експериментальних досліджень було отримане волокно, характеристики якого наведено у таблиці 4.

Таблиця 4

Фізико-механічні показники волокна льону олійного сорту Південна ніч

Показники	Волокно, отримане з соломи 1-го року зберігання	Волокно, отримане з соломи 2-х років зберігання
Вміст волокна, %	16,20	17,52
Вміст костриці та сміттєвих домішок, %	13,51	11,43
Група кольору	II	II
Середня масодовжина, мм	40,65	32,11
Середнє квадратичне відхилення масодовжини, мм	21,57	20,02
Коефіцієнт варіації масодовжини, %	53,06	62,35
Лінійна щільність, текс	6,76	6,55
Середнє квадратичне відхилення лінійної щільності, текс	0,15	0,09
Коефіцієнт варіації лінійної щільності, %	2,22	1,37

Аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень свідчить про несуттєву зміну фізико-механічних показників волокна льону олійного впродовж зберігання. Проте спостерігається незначне збільшення вмісту волокна, який складає 16,20% для волокна 1-го року зберігання і 17,52 % – для волокна 2-х років зберігання, що вказує на відсутність процесу псування сировини протягом зберігання і на наявність протікання процесу перетворення соломи в тресту протягом зберігання. Досліджуване волокно має середню масодовжину 40,65 мм для волокна 1-го року зберігання і 32,11 мм, відповідно, для 2-х років зберігання. Лінійна щільність повільно зменшується і має не значну різницю, але рівномірність волокна за коефіцієнтом варіації лінійної щільності збільшується зі зростанням строку зберігання.

З метою узагальнення отриманих результатів досліджень, на рис. 4 наведено діаграму розподілу волокна за групами довжини.

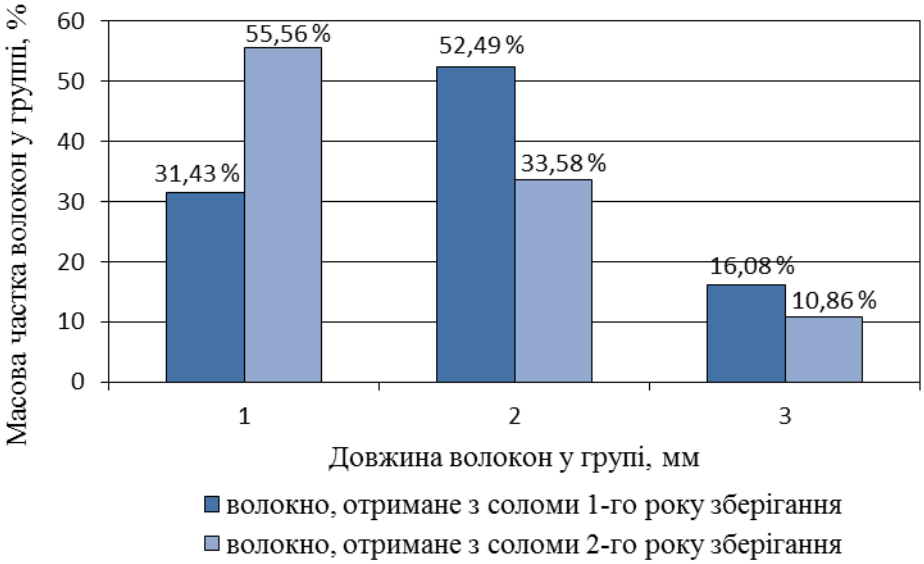


Рис. 4. Відсоткове співвідношення розподілу волокон за довжиною, виділених із стебел соломи льону олійного 1-го та 2-х років зберігання: 1 – група волокон завдовжки 5-29 мм; 2 – група волокон завдовжки 30-54 мм; 3 – група волокон завдовжки 55-120 мм.

Аналіз діаграми показує, що масова частка волокон завдовжки 5-30 мм, отриманих з соломи 2-х років зберігання, на 26,39 % більше масової частки волокон, отриманих з соломи 1-го року

зберігання. Проте масова частка волокон завдовжки 30-50 мм та 55-120 мм, отриманих з соломи 1-го року зберігання, на 14,56 % і 11,83 % більше масової частки волокон, отриманих з соломи 2-х років зберігання. Волокна з довжиною в межах 5-30 мм придатні для переробки в целюлозно-паперовому виробництві, як наповнювачі для композитних матеріалів, для виробництва санітарно-гігієнічних виробів. Волокна з довжиною в межах 30-50 мм після додаткових технологічних операцій придатні для переробки в умовах текстильного виробництва у суміші з бавовною. Волокна з довжиною в межах 55-90 мм придатні для переробки з вовною, в льонопрядінні, для виробництва кручених виробів і нетканих матеріалів після необхідного для кожної сфери використання очищення та розволокнення [6]. Порівнюючи відсоткове співвідношення розподілу волокон льону олійного за довжиною обох років зберігання можна зробити висновок, що волокно отримане з соломи 1-го року зберігання більш придатне для виробництва текстильних матеріалів, а отримане з соломи 2-х років – для виробництва целюлозовмісних матеріалів та санітарно-гігієнічних виробів.

Також було досліджено вміст альфа-целюлози у волокні льону олійного сорту Південна ніч, отриманого з соломи за допомогою лабораторної м'яльної машини. Середній вміст альфа-целюлози склав 76,5 %. Натомість вміст альфа-целюлози у бавовняній целюлозі складає в середньому 98 % [5]. Таким чином, з метою застосування волокна льону олійного для армування композиційних матеріалів (як заміна бавовні) його необхідно піддавати додатковій обробці для підвищення вмісту альфа-целюлози до 98%. Без додаткової обробки дане волокно льону олійного з успіхом можна рекомендувати для виготовлення волокнистих плит середньої щільності (волокнистих панелей).

Висновки

Таким чином, в результаті проведених досліджень розподілу волокон за довжиною та математичної обробки даних, вмісту альфа-целюлози у волокні та якісних характеристик волокна, виділеного з соломи льону олійного, яка зберігалася за рулонною технологією протягом 1-го та 2-х років, можна зробити висновок, що лляне волокно може мати доволі широку сферу практичного застосування в різних галузях промисловості: отримання целюлози та целюлозних напівфабрикатів (за умови додаткового подрібнення до вигляду "пуху" та очищення), санітарно-гігієнічних виробів (після очищення та розволокнення), у якості наповнювачів для композиційних матеріалів (після відповідних технологічних операцій з метою набуття сировини наступних характеристик: вмісту альфа-целюлози – 98 %, подрібнення до вигляду "пуху", змочуваності – 140 г, масова частка води – не більше 10 %, масова частка золи – не більше 0,2 %, масова частка залишку, не розчинного у сульфатній кислоті – не більше 0,3 %, масова частка волокнистого пилу – не більше 2% і т. п.), для виробництва змішаної пряжі в текстильній промисловості (після додаткового подрібнення та очищення за допомогою процесу тонкого чесання), а також для виготовлення волокнистих панелей, кручених і нетканих виробів без додаткової обробки.

1. Живетин В.В. Масличный лен и его комплексное развитие / В.В. Живетин, Л.Н. Гинзбург. – М.: ЦНИИЛКА, 2000. – 389 с.
2. Бобирь С.В. Оцінка якості льоносировини в рулонах / С.В. Бобирь, А.В. Островська, Т.О. Кузьміна // Товарознавчий вісник: Збірник наукових праць. – Випуск 5. Редкол.: відп. ред. д.т.н., професор Байдакова Л.І. – Луцьк: ЛНТУ, 2012.
3. Бобирь С.В. Зміна параметрів соломи льону олійного в процесі зберігання / С.В. Бобирь, А.В. Островська, Т.О. Кузьміна // Міжвузівський вісник "Наукові нотатки". – Луцьк: Луцький національний технічний університет, 2011. – Вип. № 34. – С. 21–23.
4. Волокно лляне коротке. Технічні умови: ДСТУ 5015:2008. – [Чинний від 2008-12-06]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 10 с. – (Національні стандарти України).
5. ГОСТ 595-73. Целлюлоза хлопковая. Технические условия.– М.: Изд-во стандартов, 2002.–13с.
6. Чурсіна Л.А. Наукові основи комплексної переробки стебел та насіння льону олійного: Монографія / Л.А. Чурсіна, Г.А. Тіхосона, О.О. Горач, Т.І. Янюк; під ред. Л.А. Чурсіної. – Херсон: Олді-плюс, 2011. – 356 с.
7. Котонізоване льоноволокно. Технічні умови: ТУ.У.05495816.005 – 2000. [Чинні від 2000-25-02]. – Старий Самбір, 2000. – 6 с.
8. Котонин из короткого льняного волокна. Технические условия: ТУ 17У 00306710.079 – 2000. [Введён в действие 2000-01-08] – Херсон, 2000. – 17 с.

© А.В. Островська, С.В. Бобирь, Т.І. Тернова, Т.О. Кузьміна