

УДК 658.51/677.11.021

Т.І. ТЕРНОВА, С.С. БАБІЧ, В.П. БАЗИК
Херсонський національний технічний університет**ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ЛУБУ ЛЬОНУ
ОЛІЙНОГО ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ**

У даній роботі наведені математичні моделі технологічного процесу механічного очищення лубу льону олійного, використання яких дає можливість отримувати лляну сировину визначеної якості.

З метою одержання волокна, придатного до виготовлення наповнювачів для армування композиційних матеріалів, було запропоновано здійснювати додаткове очищення лубу на чесальній машині ЧМД-5 після механічної обробки стебел соломи на модернізованому куделеприготувальному агрегаті. За рахунок математичного моделювання технологічного процесу було визначено оптимальні параметри та режими обробки лубоволокнистої сировини, застосування яких дозволяє отримувати луб з високими показниками якості – достатнім ступенем розволокнення й низьким вмістом костриці та сміттєвих домішок.

Ключові слова: математичне моделювання, луб, очищення, штапельна масодовжина, лінійна щільність, вміст костриці та сміттєвих домішок.

Т.И. ТЕРНОВАЯ, С.С. БАБИЧ, В.П. БАЗЫК
Херсонский национальный технический университет**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ЛУБА ЛЬНА
МАСЛИЧНОГО С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

В данной работе приведены математические модели технологического процесса механической очистки луба льна масличного, использование которых дает возможность получать льяную сырье определенного качества.

С целью получения волокна, пригодного к изготовлению наполнителей для армирования композиционных материалов, было предложено осуществлять дополнительную очистку луба на чесальной машине ЧМД-5 после механической обработки стеблей соломы на модернизированном куделеприготовительном агрегате. За счет математического моделирования технологического процесса были определены оптимальные параметры и режимы обработки лубоволокнистого сырья, применение которого позволяет получать луб с высокими показателями качества – достаточной степенью разволокнения и низким содержанием костры и мусорных примесей.

Ключевые слова: математическое моделирование, луб, очистка, штапельная массодлина, линейная плотность, содержание костры и мусорных примесей.

T. TERNOVA, S. BABICH, V. BAZYK
Kherson National Technical University**OPTIMIZATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF CLEANING OF LUBRICATED LYON
LUBE BY METHODS OF MATHEMATICAL MODELING**

In this paper, mathematical models of the technological process of mechanical purification of a flaxen oilseed are given, the use of which gives the opportunity to obtain flax raw material of a certain quality.

In order to obtain fiber suitable for the production of fillers for reinforcement of composite materials, it was proposed to carry out an additional purification of the barn on a CMD-5 hedge machine after mechanical straightening of stalk stems on a modernized cornice preparation unit. Due to the mathematical modeling of the technological process, optimal parameters and regimes for the processing of fibrous raw materials were determined, the application of which allows to obtain a beam with high quality indices - a sufficient degree of flaking and a low content of bonfires and garbage impurities.

Keywords: mathematical modeling, lobe, purification, stack mass length, linear density, boning content and garbage impurities.

Постановка проблеми

Дана робота присвячена одержанню поліноміальної регресійної багатофакторної моделі другого порядку процесу очищення лубу льону олійного з метою одержання волокна, придатного для виготовлення композиційних матеріалів, за результатами ротатабельного центрального композиційного експерименту.

Знаючи математичну модель процесу або об'єкта, можливо прогнозувати властивості продукту, який буде отримано в результаті певного технологічного процесу, оцінити ступінь впливу вхідних факторів з метою розробки схеми контролю та стабілізації найбільш впливових факторів, а також здійснити оптимізацію процесу.

Таким чином, отримання математичних моделей технологічного процесу очищення лубу льону олійного дасть можливість прогнозувати якість отриманого волокна, що є важливим і актуальним питанням для використання його як наповнювача в композиційних матеріалах

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На даний час питання прогнозування основних властивостей волокна, отриманого з лубу льону олійного, є актуальними для фахівців льонопереробної галузі. Проблеми пошуку взаємозв'язку між якістю волокнистої сировини з льону олійного, параметрами технологічного процесу й основними властивостями готового продукту присвятили свої наукові праці багато закордонних і вітчизняних вчених: Федосова Н.М., Пашин Є.Л., Тіхосова Г.А, Головенко Т.М., Круглий Д.Г., Меньяло-Басиста І.О. та багато інших [1-5].

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є пошук кількісних залежностей між основними показниками лубу льону олійного та параметрами налагодження машин для його очищення, що дасть виробникам можливість прогнозувати проведення процесу очищення лубу льону олійного та одержувати продукцію із заданими показниками якості.

Викладення основного матеріалу дослідження

Аналіз отриманих експериментальних даних свідчить, що луб, одержаний зі стебел соломи льону олійного, має високу закоричненість 27,2-30,6 % і низьке значення міцності 3,9-5,0 даН. Вихід лубу при цьому достатньо високий: при середніх значеннях довжини стебел 32,0-36,0 см, вихід лубу дорівнює 32,4-39,4 %. Однак така сировина, як показує аналіз вихідних характеристик непридатна до одержання технічного текстилю для армування композиційних матеріалів. Для видалення костриці потрібне додаткове очищення лубу за допомогою чесальних машин. Тому, під час подальших досліджень луб додатково очищувався від костриці за допомогою операції тонкого чесання на машинах ЧМД-5. Даний технологічний процес повинен здійснюватися за оптимізованими режимами.

Для цього за допомогою ротатабельного планування другого порядку було досліджено залежності штапельної масодовжини лубу, масової частки костриці та сміттєвих домішок, лінійної густини лубу льону олійного від частоти обертання головного барабана та величини розведення між головним барабаном і сміттєвідбійним ножом машини ЧМД-5.

Враховуючи вищевикладене, за фактори варіювання при кожному прочісуванні було обрано частоту обертання головного барабана n_1 (n_2) та величину розведення l_1 (l_2) між головним барабаном і сміттєвідбійним ножом машини ЧМД-5. Вихідними параметрами при першому та другому прочісуваннях відповідно були y_1 (y_4) – штапельна масодовжина лубу, y_2 (y_5) – масова частка костриці та сміттєвих домішок, y_3 (y_6) – лінійна щільність лубу льону олійного. У табл. 1 і 2 наведено матриці ротатабельного планування експериментів для першого та другого прочісування.

У загальному випадку математична модель має вигляд:

$$y_u = b_0 + b_1x_i + b_2x_j + b_{12}x_ix_j + b_{11}x_i^2 + b_{22}x_j^2, \quad (1)$$

де $u = \overline{1, 6}$; $i = 1, 3$; $j = 2, 4$.

Таблиця 1

Матриця планування експерименту при I прочісуванні

№	Рівні факторів		Найменовані змінні		Вихідні параметри		
	x_1	x_2	$n_1, \text{хв}^{-1}$	$l_1, \text{мм}$	$y_1, \text{мм}$	$y_2, \%$	$y_3, \text{текс}$
1	+1	+1	770	4.5	28.00	2.90	1.00
2	-1	+1	670	4.5	27.10	3.20	1.30
3	+1	-1	770	3.5	28.30	2.45	1.05
4	-1	-1	670	3.5	26.70	2.35	1.33
5	$-\sqrt{2}$	0	650	4.0	23.80	3.15	1.0
6	$\sqrt{2}$	0	790	4.0	26.50	2.70	1.08
7	0	$-\sqrt{2}$	720	3.3	27.40	2.75	1.22
8	0	$\sqrt{2}$	720	4.7	24.90	3.05	1.01
9	0	0	720	4.0	26.60	2.55	1.08
10	0	0	720	4.0	27.60	2.75	1.18
11	0	0	720	4.0	27.25	3.00	1.15
12	0	0	720	4.0	26.35	3.10	1.13
13	0	0	720	4.0	28.00	3.25	1.16
Σ					348.5	37,2	14.69

У матриці планування експерименту при першому прочісуванні було вибрано межі зміни частоти обертання головного барабана (n_1) від 650 хв^{-1} до 790 хв^{-1} , а величина розведення між головним барабаном і сміттєвідбійним ножом (l_1) – від 3,3 мм до 4,7 мм. Найменше значення частоти обертання головного барабана дорівнює 650 хв^{-1} , що відповідає рівню факторів $x_1 = -\sqrt{2}$, $x_2 = 0$, а найбільше значення цього показника становить 790 хв^{-1} , що відповідає рівню факторів $x_1 = \sqrt{2}$, $x_2 = 0$.

Таблиця 2

Матриця планування експерименту при II прочісуванні

№	Рівні факторів		Найменовані змінні		Вихідні параметри		
	x_3	x_4	$n_2, \text{хв}^{-1}$	$l_2, \text{мм}$	$y_4, \text{мм}$	$y_5, \%$	$y_6, \text{текс}$
1	+1	+1	600	2.0	17.50	0.06	0.40
2	-1	+1	510	2.0	17.75	0.04	0.38
3	+1	-1	600	1.0	18.00	0.02	0.40
4	-1	-1	510	1.0	18.95	0.03	0.35
5	$-\sqrt{2}$	0	492	1.5	17.70	0.05	0.36
6	$\sqrt{2}$	0	618	1.5	17.60	0.02	0.40
7	0	$-\sqrt{2}$	555	0.8	19.00	0.05	0.43
8	0	$\sqrt{2}$	555	2.2	18.20	0.06	0.36
9	0	0	555	1.5	18.05	0.02	0.39
10	0	0	555	1.5	17.80	0.02	0.36
11	0	0	555	1.5	18.10	0.01	0.35
12	0	0	555	1.5	18.65	0.04	0.31
13	0	0	555	1.5	18.00	0.04	0.35
Σ					235.3	0,46	4.84

У матриці планування експерименту при другому прочісуванні зміна частоти обертання головного барабана (n_2) знаходиться в межах від 492 хв^{-1} , що відповідає рівню факторів $x_3 = -\sqrt{2}$, $x_4 = 0$, до 618 хв^{-1} , що відповідає рівню факторів $x_3 = \sqrt{2}$, $x_4 = 0$. Значення величини розведення між головним барабаном і сміттєвідбійним ножом становить 0,8-2,2 мм при тих самих рівнях факторів x_3 і x_4 .

Використовуючи відомі співвідношення для визначення коефіцієнтів рівняння (1) при ротатабельному плануванні експерименту, знаходять коефіцієнти всіх шести залежностей та абсолютні похибки обчислення їх значень (табл. 3) [6-8].

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів залежностей та величини їх абсолютних похибок

i	y ₁		y ₂		y ₃		y ₄		y ₅		y ₆	
	b _i	Δb _i	b _i	Δb _i	b _i	Δb _i	b _i	Δb _i	b _i	Δb _i	b _i	Δb _i
0	27.16	0.613	2.93	0.25	1.14	0.034	18.12	0.284	0.026	0.012	0.352	0.026
1	0.79	0.484	-0.105	0.101	-0.058	0.027	-0.168	0.224	-0.004	0.0035	0.016	0.015
2	-0.429	0.421	0.216	0.198	-0.047	0.027	-0.354	0.224	0.008	0.0075	-0.009	0.02
12	-0.175	0.685	-0.10	0.098	-0.005	0.038	0.175	0.317	0.0075	0.013	-0.008	0.029
11	-0.558	0.52	-0.052	0.212	-0.028	0.027	-0.268	0.241	0.0026	0.01	0.012	0.022
22	0.058	0.52	-0.064	0.212	0.0097	0.029	0.207	0.241	0.013	0.01	0.02	0.019

Для визначення адекватності отриманих моделей застосовують критерій Фішера. Для 95-відсоткової довірчої ймовірності, числа ступенів свободи більшої дисперсії – 3 та меншої – 4 критичне значення критерію Фішера становить $F_{кр.} = 6,59$. Значення критерію Фішера, що спостерігаються при дослідженні кожної з побудованих моделей, наведено в табл. 4. Очевидно, що всі $F_{сп.} < F_{кр.}$, тому немає підстав заперечувати адекватність побудованих моделей.

Значимість коефіцієнтів кожної моделі оцінимо за величиною їх похибок, значення яких наведено в табл. 4. Як відомо, якщо абсолютна величина коефіцієнта менша за величину його абсолютної похибки, то такий коефіцієнт визнається незначущим і може бути виключений з рівняння залежності.

Таблиця 4

Спостережні значення критерію Фішера $F_{спостеріг}$ для залежностей $y_1 - y_6$

y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	y ₆
6.333	0.810	6,480	0.657	1.142	0,876

Згідно з експериментальними даними, остаточно отримуємо такі аналітичні залежності (2-7):

$$y_1 = 27,16 - 0,79x_1 - 0,429x_2 - 0,558x_1^2, \quad (2)$$

$$y_2 = 2,93 - 0,105x_1 + 0,216x_2 - 0,1x_1x_2, \quad (3)$$

$$y_3 = 1,14 - 0,058x_1 - 0,047x_2 - 0,028x_1^2, \quad (4)$$

$$y_4 = 18,12 - 0,354x_4 - 0,265x_3^2, \quad (5)$$

$$y_5 = 0,026 - 0,004x_3 + 0,0008x_4 + 0,013x_4^2, \quad (6)$$

$$y_6 = 0,352 + 0,016x_3 + 0,02x_4^2. \quad (7)$$

В найменованих змінних залежності (2-7) набувають вигляду (8-13). Графічне зображення цих залежностей подано на рис. 1-6.

$$y_1 = -96,491 + 0,3372n_1 - 0,858l_1 - 0,000223n_1^2, \quad (8)$$

$$y_2 = -8,808 + 0,0139n_1 + 3,312l_1 - 0,004n_1l_1, \quad (9)$$

$$y_3 = 0.5592 - 0.00116n_1 + 0,802l_1 - 0,112l_1^2, \quad (10)$$

$$y_4 = -21.584 + 0,147n_2 - 0.708l_2 + 0,000132n_2^2, \quad (11)$$

$$y_5 = 0.402 - 0,0001n_2 - 0,14l_2 + 0.052l_2^2, \quad (12)$$

$$y_6 = 0,172 + 0,016n_2 - 0,24l_2 + 0,08l_2^2. \quad (13)$$

Слід зазначити, що в усіх залежностях наявний лінійний вплив вхідних параметрів на відповідний вихідний параметр.

У1

Перше прочісування

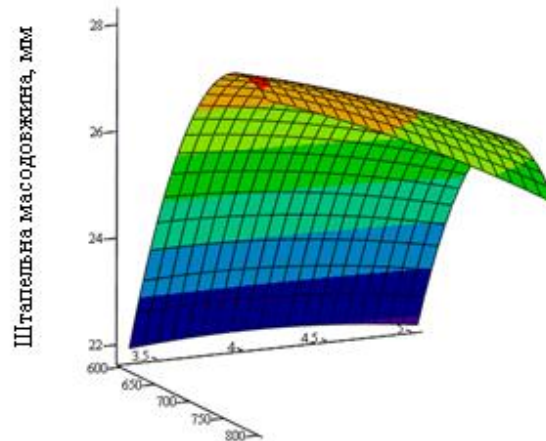


Рис. 1. Залежність штапельної масодовжини лубу від вхідних параметрів при першому прочісуванні

У2

Перше прочісування

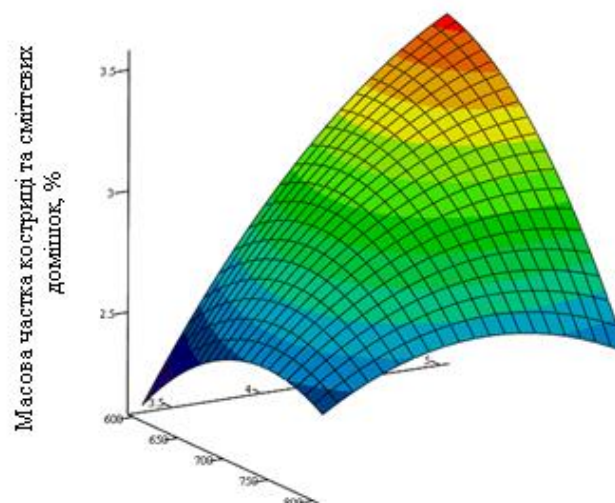


Рис. 2. Залежність масової частки костриці та сміттєвих домішок у лубі від вхідних параметрів при першому прочісуванні

УЗ

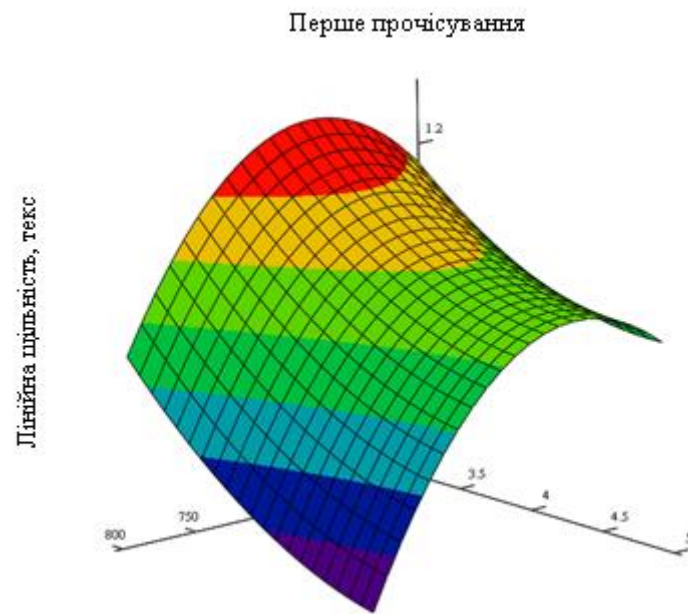


Рис. 3. Залежність лінійної щільності лубу від вхідних параметрів при першому прочісуванні

У4

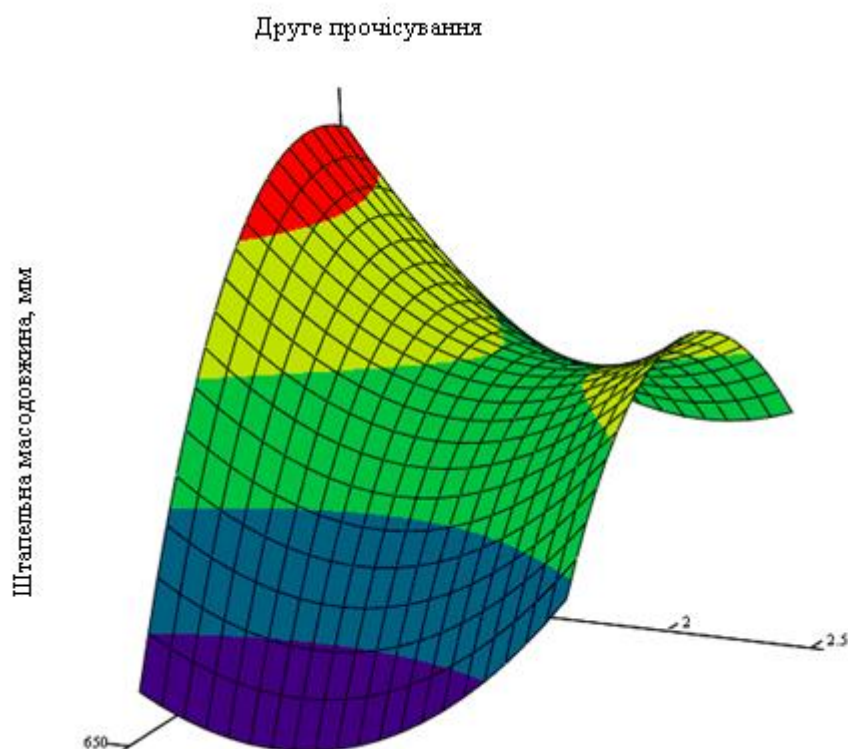


Рис. 4. Залежність штапельної масодовжини лубу від вхідних параметрів при другому прочісуванні

У5

Друге прочісування

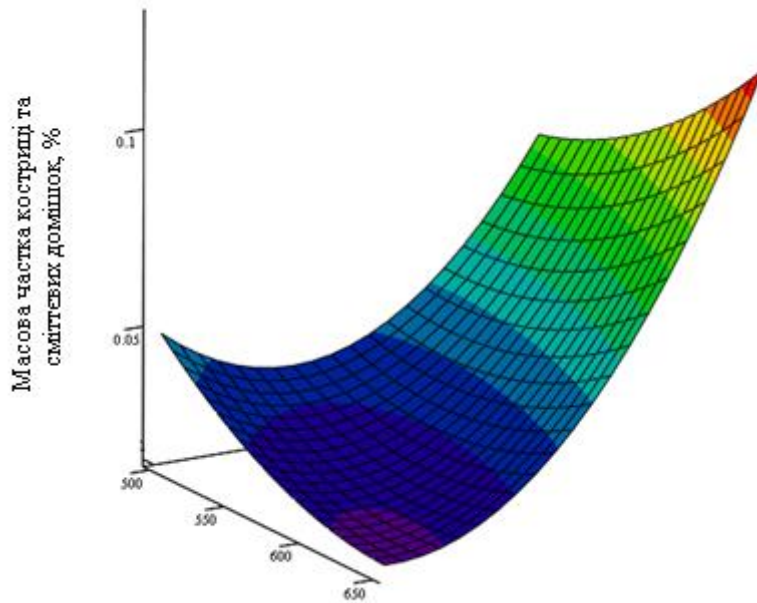


Рис. 5. Залежність масової частки костриці та сміттєвих домішок у лубі від вхідних параметрів при другому прочісуванні

У6

Друге прочісування

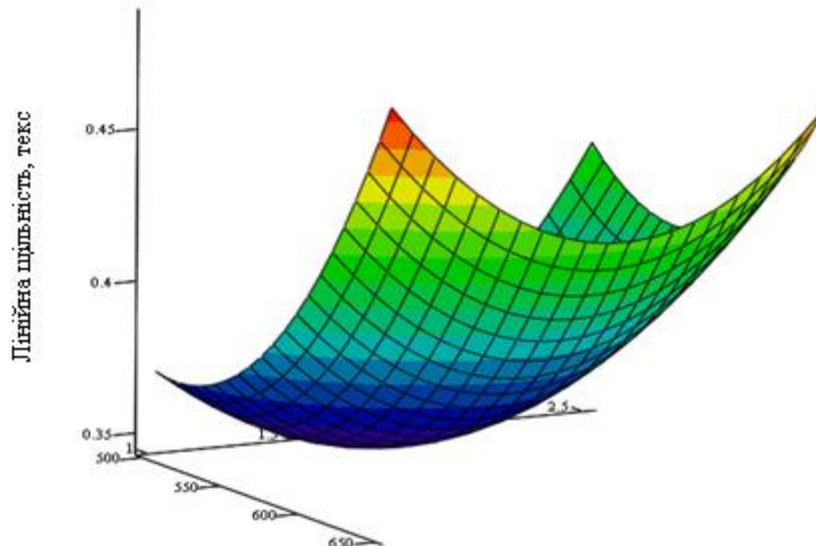


Рис. 6. Залежність лінійної щільності лубу від вхідних параметрів при другому прочісуванні

У залежностях (9, 11-13) спостерігаються ефекти взаємодії впливу вхідних параметрів, що видно з наявності в цих залежностях сумісних добутоків змінних, які відповідають вхідним параметрам. У

більшості рівнянь наявна квадратична залежність вихідного параметра від одного або обох вхідних, що дозволяє надалі будувати математичні залежності іншої, набагато складнішої структури, яка б більшою мірою відповідала існуючим закономірностям перебігу технологічного процесу та враховувала вплив інших вхідних факторів.

Аналізуючи матриці планування експерименту та отримані аналітичні залежності, були визначені оптимальні значення вхідних параметрів, при яких одержують луб льону олійного з найкращими показниками.

Під час першого прочісування при частоті обертання головного барабана 650 хв^{-1} та розведенні $4,0 \text{ мм}$ між ним і сміттєвідбійним ножом одержують луб з найгіршими фізико-механічними характеристиками:

- штапельна масодовжина	–	23,80 мм;
- масова частка костриці та сміттєвих домішок	–	3,15 %;
- лінійна щільність	–	1,00 текс.

Якщо ж частота обертання головного барабана зростає до 790 хв^{-1} , а відстань між вище зазначеними робочими органами машини ЧМД-5 дорівнює $4,0 \text{ мм}$, одержують луб з найкращими вихідними параметрами: $y_1 = 26,50 \text{ мм}$, $y_2 = 2,70 \%$ і $y_3 = 1,08 \text{ текс}$.

У результаті другого прочісування (рис. 4-6) луб з найгіршими характеристиками – $y_4 = 17,50 \text{ мм}$; $y_5 = 0,06 \%$; $y_6 = 0,40 \text{ текс}$ – одержують при $n_2 = 600 \text{ хв}^{-1}$ і $l_2 = 2,0 \text{ мм}$.

При частоті обертання головного барабана 555 хв^{-1} та розведенні $1,5 \text{ мм}$ між ним і сміттєвідбійним ножом одержують луб льону олійного з найкращими фізико-механічними показниками:

- штапельна масодовжина	–	18,10 мм;
- масова частка костриці та сміттєвих домішок	–	0,01 %;
- лінійна щільність	–	0,35 текс.

Висновки

Таким чином, завдяки визначенню оптимальних параметрів процесу чесання на машині ЧМД-5 встановлено частоту обертання головного барабана та відстань між ним і сміттєвідбійним ножом, що дозволить одержувати волокно льону олійного, яке за своїми фізико-механічними властивостями найбільш придатне для використання в технічному текстилі для армування композиційних матеріалів.

Завдяки застосуванню чесання досягнуто високу ступінь очищення лубу від костриці, що є однією із основних стадій підготовки луб'яних волокон для застосування їх як армуючих наповнювачів в композиційних матеріалах.

Додаткове очищення лубу від сміттєвих домішок і костриці за допомогою технологічного процесу подвійного чесання на машинах ЧМД-5 сприяє зниженню вмісту костриці в лубі до $0,01 \%$, потоншення волокна до $0,35 \text{ текс}$ і зменшення його штапельної масодовжини до $18,10 \text{ мм}$.

Високий ступінь очищення лубу та його механічне розволокнення є первинною стадією підготовки лубу до використання його для виготовлення композиційних матеріалів

Список використаної літератури

1. Федосова Н.М. Исследование свойств льна-межеумка и обоснование метода прогнозирования его технологической ценности: дис. ... канд. техн. наук / Федосова Н.М. – Кострома, 2002.
2. Пашин Е.Л. Технологическое качество и переработка льна-межеумка: монография / Е.Л. Пашин, Н.М. Федосова. – Кострома, ВНИИЛК, 2003. – 85 с.
3. Тіхосова Г.А. Розвиток наукових основ технології первинної переробки стебел льону олійного: дис. ... доктора техн. наук: 05.18.01 / Тіхосова Ганна Анатоліївна. – Херсон, 2011. – 387 с.
4. Тіхосова Г.А. Розробка технологічного процесу механічної обробки трестильону олійного / Г.А. Тіхосова, Т.М. Головенко, О.В. Князев // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. Технічні науки. – 2011. – №2. – С. 111-116.
5. Головенко Т.М. Механічна технологія поглибленої переробки трести льону олійного / Т.М. Головенко, І.О. Меньяйло, Г.А. Бойко // Перспективи розвитку легкої промисловості: всеукр. наук. конф. молодих вчених, асп. і студ., 26-28 жовтня 2011 р.: доп. – Луцьк, 2011. – С. 49-54.
6. Глушаков С.В. Математическое моделирование: [учебный курс] // С.В. Глушаков, И.А. Жакин, Т.С. Хачиров. - Харьков: Фолио, 2001. – 524 с.
7. Сенкевич А.Ю. Математическое моделирование автоматизированных систем контроля и управления: [метод. указание] / А.Ю. Сенкевич. – Тамбов: Изд-во Тамб. госуд. техн. ун-та, 2004. – 44 с.
8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: [учеб. пособие для студ. ВТУЗов] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М: Издат. центр «Академия», 2003. – 464 с.