

УДК 677.11.021

## МАТЕМАТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ СЛАНКОГО ЛЛЯНОГО ВОЛОКНА

Євтушенко В.В., к.т.н.

*Херсонський національний технічний університет*

Тел/факс +38(0552)517172

**Анотація** – робота присвячена дослідженню факторів, які найбільше впливають на міцність лляного волокна, одержаного шляхом росяного мочіння. Використання математичного апарату регресійного аналізу дозволяє прогнозувати властивості вихідного продукту.

**Ключові слова** – плющення, хімічні композиційні препарати, розривне навантаження.

**Постановка проблеми.** Для одержання лляного волокна з високими показниками якості необхідно всебічно вдосконалити його первинну переробку. Первинна переробка льону включає сукупність процесів і операцій, спрямованих на видалення волокна або лубу з його стебел. Щоб видалити волокно із стебел льону, спочатку необхідно одержати тресту. Останнім часом в Україні застосовують досить простий механізований спосіб одержання трести шляхом росяного мочіння.

Але відомо, що цей процес має ряд недоліків. Основним недоліком є велика залежність тривалості процесу і якості волокна від погодних умов. У результаті одержується неоднорідне за фізико-механічними властивостями волокно, що має низьку якість.

Залишаються не розглянутими багато питань щодо вирівнювання фізико-механічних властивостей лляного волокна в процесі розстилу. Зазвичай волокно з досить високою гнучкістю і відокремлюваністю під час обробки за існуючими технологіями втрачає свою природну міцність. Недосконалість існуючих технологій післязбиральної обробки льону призводить до значних втрат уже виробленої продукції і зниження її якості.

Все це свідчить про доцільність проведення досліджень, спрямованих на ефективне вирішення проблем одержання лляного волокна з високими показниками якості, які б забезпечували його подальше використання в різних галузях народного господарства України.

**Аналіз останніх досліджень.** Проблема одержання якісного лляного волокна шляхом росяного мочіння займає значне місце у

наукових працях вчених України та інших країн [1-4]. Існують різні підходи до вирішення питань підвищення якості лляного волокна, тому вивчення найбільш ефективних прийомів удосконалення процесу розстилу залишається досить актуальним. Для обробки соломи застосовують різноманітні хімічні препарати, активовану воду, грибкові закваски тощо.

Для того, щоб отримати якісне лляне волокно, необхідно під час росяного мочіння застосувати комплексну хімічну і механічну обробку, яка збільшувала б однорідність морфологічних параметрів за всією довжиною стебел лляної соломи. Попередніми дослідженнями встановлено позитивний вплив плющення стебел лляної соломи та її обробки розчинами хімічних композиційних препаратів на якість лляного волокна [5]. Математичний опис даного процесу дозволить одержати модель, що об'єднує вхідні характеристики процесу та характеристики готового волокна.

**Формулювання цілей статті.** Використовуючи математичну модель процесу або об'єкта, можна прогнозувати властивості вихідного продукту, оцінити ступінь впливу вхідних факторів з метою розробки схеми контролю і стабілізації факторів, що мають найбільший вплив, а також здійснити оптимізацію процесу. Отже, завданням даної роботи є дослідження факторів, які мають найбільший вплив на міцність сланкого волокна за допомогою математичних розрахунків.

**Основна частина.** Якість лляного волокна значною мірою залежить від його міцності, яка характеризується розривним навантаженням. Від значення цього показника залежить стабільність процесів подальшої переробки лляного волокна. Міцне волокно краще перероблюється, з нього можна отримати якісну пряжу і тканину. Тіпаний льон із сланкої трести відрізняється від льону, отриманого іншими способами, більш темним кольором, кращою подільністю, однак має меншу міцність і більшу неоднорідність за міцністю і кольором [3].

Тому під час планування експерименту вихідною характеристикою якості лляного волокна вибрано його розривне навантаження. Недоліком однофакторних методів дослідження є та обставина, що залишаються невиявленими ефекти взаємодії факторів, які характеризують їх спільний вплив. Проведення досліджень із застосуванням рототабельного планування і аналізу експерименту дозволяє уникнути більшості труднощів, що притаманні однофакторним методам дослідження [7].

Найбільш коректним є проведення експерименту за допомогою апріорного ранжування факторів, що ґрунтується на ранговій кореляції, для вивчення зміни властивостей волокна в динаміці перетворення лляної соломи в тресту.

Визначення і обґрунтування основних факторів, що впливають на міцність волокна, необхідно для розробки технології його первинної переробки.

Під час вивчення властивостей волокна було проаналізовано накопичені на цей час результати досліджень та статистичну інформацію за даною проблемою [1-6]. Досліджувались 8 вхідних факторів ( $k = 8$ ), які підлягали ранжуванню з урахуванням ступеня їх впливу на міцність волокна, одержаного шляхом розстилу лляної соломи, а саме:  $X_1$  – концентрація зволожуючого агента;  $X_2$  – вологість сировини;  $X_3$  – відокремлюваність лляного волокна від деревини;  $X_4$  – гнучкість лляного волокна;  $X_5$  – температура;  $X_6$  – вміст костриці;  $X_7$  – довжина волокна;  $X_8$  – розщеплюваність лляного волокна.

Матрицю рангів наведено в табл. 1.

Таблиця 1 - Матриця апріорного ранжування

m	Фактори (k = 8)								$T = \sum(t_i^3 - t_j)$
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	
1	1,0	5,0	3,5	2,0	6,0	7,0	3,5	8,0	6,0
2	1,0	7,0	5,0	2,5	4,0	2,5	6,0	8,0	6,0
3	4,5	3,0	1,5	4,5	6,5	6,5	1,5	8,0	2,0
4	1,0	5,0	3,5	2,0	6,5	8,0	3,5	6,5	4,0
$\sum_{i=1}^m a_{ij}$	7,5	209,0	13,5	11,0	23,0	24,0	14,5	30,5	$\sum T_j = 18$
$\Delta_i$	-10,5	2,0	-4,5	-7,0	5,0	6,0	-3,5	12,5	-
$(\Delta_i)^2$	110,3	4,0	20,3	49,0	25,0	36,0	12,3	156,3	$S = 413$

Згідно з наведеними даними обчислено коефіцієнт конкордації:

$$\omega = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (k^3 + k) - m \sum_{j=1}^m T_j} = \frac{12 \cdot 413}{16 \cdot (512 - 8) - 4 \cdot 8} = 0,62 \quad (1)$$

Оскільки величина коефіцієнта конкордації відмінна від нуля, можна вважати, що між окремими факторами існує істотний зв'язок. Крім того, різними дослідниками фактори ранжуються неоднаково ( $\omega$  істотно відрізняється від одиниці). Значимість коефіцієнта конкордації перевіряли за  $\chi^2$ -критерієм:

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot S}{m \cdot k \cdot (k+1) - \frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^m T_j} = \frac{12 \cdot 413}{4 \cdot 8 \cdot (8+1) - \frac{1}{8-1} \cdot 18} = 17,36 \quad (2)$$

За табличними даними знаходимо, що для 5%-го рівня значимості при числі ступенів свободи  $f = 8 - 1 = 7$   $\chi^2_{\text{табл.}} = 14,067$  [7].

У зв'язку з тим, що табличне значення  $\chi^2$ -критерію менше, ніж розрахункове, можна з 92%-ою довірчою ймовірністю стверджувати,

що думки дослідників стосовно ступеня впливу факторів узгоджуються у відповідності з коефіцієнтом конкордації  $\omega = 0,62$ . Це дозволяє побудувати середню апіорну діаграму рангів для факторів, що розглядаються (рис. 1).

За результатами проведеного повного факторного експерименту було відібрано п'ять найбільш значимих факторів, що займають на діаграмі п'ять перших місць: концентрація зволожуючого агента; вологість сировини; відокремлюваність лляного волокна від деревини; гнучкість лляного волокна; температура.

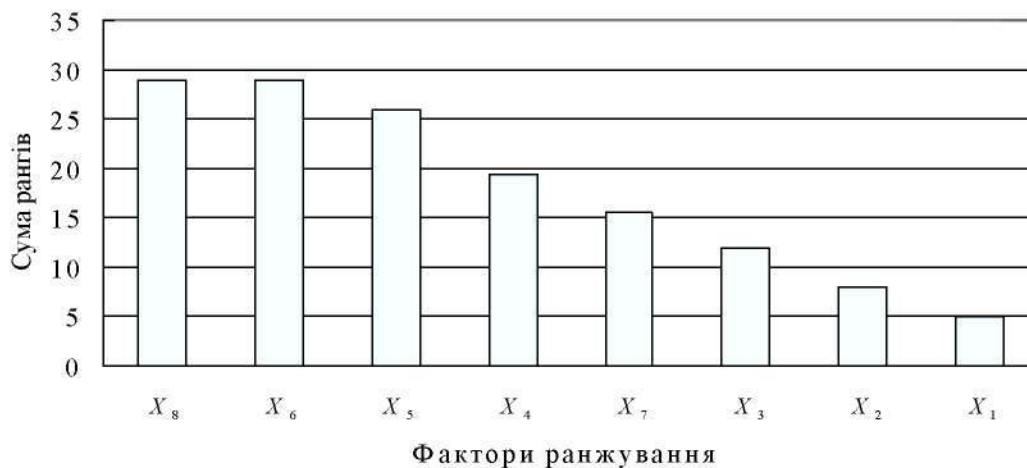


Рис. 1. Апіорна діаграма рангів

Визначення факторів і ступеня їх впливу на міцність волокна дозволило розробити стратегію теоретичного й експериментального дослідження з пошуку оптимальних умов процесу первинної переробки лляного волокна.

Проведений теоретичний аналіз дозволив визначити домінуючі змінні фактори – концентрацію зволожуючого агента і вологість сировини, що займають на діаграмі два перших місця і найбільше впливають на міцність.

Визначення залежності зміни розривного навантаження від цих двох факторів здійснено за допомогою повного факторного експерименту.

Умови проведення повного факторного експерименту (ПФЕ) типу  $2^2$  наведено в табл. 2.

У табл. 3 представлено матрицю планування ПФЕ  $2^2$ . З метою уникнення похибки від неврахованих факторів порядок проведення дослідів було рандомізовано.

Кожний дослід проводився 3 рази, що дає можливість одержання оцінки дисперсії відтворення дослідів, яка обчислюється за формулою:

$$S_{u,y}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{v=1}^m (y_{uv} - \bar{y}_u)^2, \quad (3)$$

де  $m$  – повторюваність дослідів,  $m = 3$ ;

$v$  – номер стовпця для  $y$ .

Таблиця 2 - Умови проведення експерименту

Фактори	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	-1	0	+1	
C – концентрація зволожуючого агента, $X_1$ , г/л	0,4	0,5	0,6	0,1
W – вологість сировини, $X_2$ , %	60	70	80	10

Для перевірки однорідності дисперсії застосовуємо критерій Кохрена, розрахункове значення якого визначаємо за формулою:

$$G_R = \frac{S_{u \max}^2 y}{\sum_{u=1}^N S_u^2 y} \quad (4)$$

Розрахункове значення  $G_R = 0,42$  порівнюємо з табличним значенням  $G_T$  [7], яке визначаємо в залежності від числа дослідів у матриці  $N$ , числа ступенів свободи дисперсії  $f \{S_u^2\} = m - 1$  і для прийнятої довірчої ймовірності  $P_d$ . У даному випадку  $N = 1$ ;  $f = 3 - 1 = 2$ ;  $P_d = 0,95$ . Табличне значення критерію Кохрена  $G_T = 0,680$  [98]. Оскільки  $G_R < G_T$ , то дисперсія має нормальний закон розподілення.

Розрахунок коефіцієнтів регресії повного факторного експерименту проводився згідно з співвідношенням:

$$b_o = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N Y_u; \quad b_i = \sum_{u=1}^N X_{iu} Y_u / N; \quad b_{ij} = \sum_{u=1}^N X_{iu} X_{ju} Y_u / N \quad (5)$$

У результаті ПФЕ одержано рівняння регресії, яке в кодованому вигляді можна записати таким чином:

$$Y = 14,68 - 0,93X_1 + 0,43X_2 + 0,13X_1X_2 \quad (6)$$

Для визначення статистичної значимості використаємо співвідношення:

$$S_{bi}^2 = S_y^2 / N \cdot m, \quad (7)$$

де  $m$  – число дослідів, що повторюються.

$$S_y = \frac{k \sum_{i=1}^4 R_i}{4} = \frac{0,52(0,5 + 0,4 + 0,2 + 0,6)}{4} = 0,22, \quad S_y^2 = 0,05$$

де  $k$  – коефіцієнт, що визначається з урахуванням числа спостережень;

$R_i$  – різниця між мінімальним і максимальним значенням результатів у  $i$ -ому досліді.

Виходячи з цього  $S_{bi}^2 = 0,05 / 4 \cdot 3 = 0,004$ .

Довірчий інтервал для коефіцієнтів рівняння регресії визначаємо за допомогою співвідношення:

$$\Delta b_i = \pm t^c \cdot \sqrt{S_{b_i}^2}, \quad (8)$$

де  $t^c$  – критерій Стюдента.

Для дослідів першого порядку довірчий інтервал коефіцієнтів регресії  $\Delta b_i$  однаковий для всіх коефіцієнтів. Відповідно для рівня значимості 0,05 значення критерію Стюдента  $t^c = 4,30$ , а  $\Delta b_i = 0,27$ .

Абсолютна величина коефіцієнта  $X_1X_2$  рівняння регресії менша від довірчого інтервалу. Отже, цей коефіцієнт є незначимим, тому його можна не враховувати. Тоді рівняння регресії буде мати вигляд:

$$Y = 14,68 - 0,93X_1 + 0,43X_2 \quad (9)$$

Для перевірки адекватності рівняння використовуємо критерій Фішера і визначаємо значення вихідного розрахункового показника  $y_p$  по моделі.

Дисперсію неадекватності  $S_{ад}^2$ , яка є кількісним показником адекватності рівняння, визначаємо із залежності:

$$S_{ад}^2 = \sum_{u=1}^N (y_p - y_u)^2 / (N - k - 1), \quad (10)$$

де  $y_p$  – розрахункове значення;

$y_u$  – значення по матриці планування;

$k$  – число значимих коефіцієнтів регресії, які включено до скорегованої математичної моделі.

Розрахункове значення критерію Фішера

становить:  $F_{роз} = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} = \frac{0,062}{0,048} = 1,31$ .

При довірчій ймовірності 0,95 –  $F_{табл} = 9,28$ .

Розрахункове значення критерію менше, ніж табличне, тому гіпотеза про адекватність одержаного рівняння не відхиляється.

Зв'язок іменованих і кодованих величин виражається формулою:

$$X_i = \frac{c_i - c_{oi}}{\varepsilon}, \quad (11)$$

де  $X_i$  – кодоване значення фактору;

$c_i$  і  $c_{oi}$  – натуральні значення фактору (поточне значення і значення на нульовому рівні);

$\varepsilon$  – натуральне значення інтервалу варіювання фактору ( $\Delta c$ ).

Для полегшення практичних розрахунків виконаємо перетворення рівняння регресії, враховуючи формули переходу до іменованих величин:

$$X_1 = \frac{c - 0,5}{0,1}; \quad X_2 = \frac{w - 70}{10} \quad (12)$$

В іменованих величинах рівняння буде мати вигляд:

$$P_p = 16,32 - 9,30c + 0,04w \quad (13)$$

Розрахункові значення збігаються з експериментальними. Так, наприклад, при вологості  $w = 80\%$  і концентрації зволожуючого агента  $c = 0,6$  г/л, згідно з рівнянням 13 розривне навантаження  $P_p = 14,18$  даН, а під час експерименту одержана величина 14,30 даН.

Графічно вплив концентрації зволожуючого агента і вологості сировини на розривне навантаження лляного волокна представлено на рис. 4.

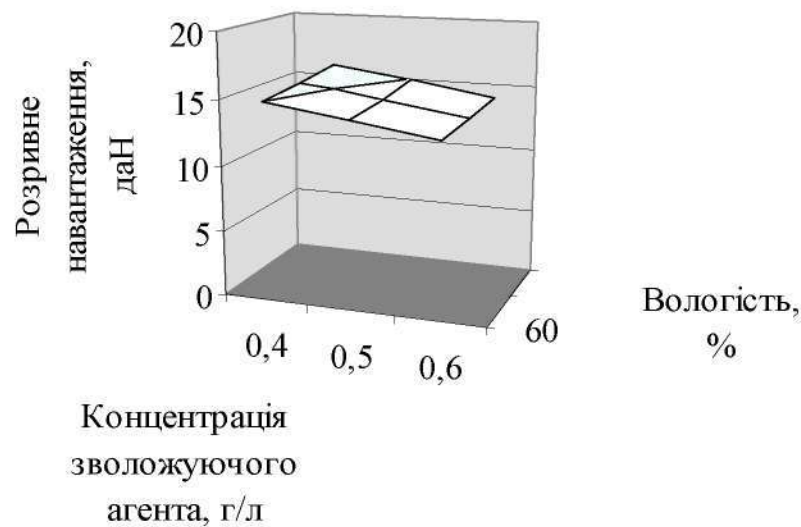


Рис. 4. Залежність розривного навантаження лляного волокна від концентрації зволожуючого агента і вологості сировини

Аналізуючи одержану діаграму, можна зробити висновок, що при концентрації зволожуючого агента 0,5 – 0,6 г/л і вологості сировини 60 – 70 % показник розривного навантаження лляного волокна має оптимальне значення.

**Висновки.** Використовуючи методи статистичного аналізу, визначено основні фактори – концентрацію зволожуючого агента, вологість сировини, відокремлюваність лляного волокна від деревини, гнучкість лляного волокна, температуру повітря, які мають суттєвий вплив на якість лляного волокна, одержаного шляхом розстилу стебел лляної соломи. Для практичного використання побудовано залежності, які дозволяють визначити вплив концентрації зволожуючого агента і вологості сировини на розривне навантаження лляного волокна та оптимізувати процес росяного мочіння.

#### Література

1. *Круглий Д.Г.* Прогнозування якісних змін лляної сировини під час розстилання / Д.Г. Круглий, Ф.Б. Рогальський, Г.А. Тіхосова // Легка промисловість. – 2000. – №3. – С. 53.

2. Семченко В.І. Встановлення залежності між фізико-механічними властивостями льняної трести та катоніном / В.І. Семченко, Л.А. Чурсіна, О.В. Павленко // Легка промисловість. – 2000. – №2. – С. 58.
3. Зубов Ф.Б. Неудожка снижает качество тресты / Ф.Б. Зубов // Лен и конопля. – 1964. – №10. – С. 16.
4. Сеньков А.М. Вихід і якість волокна залежно від різних строків, способів збирання льону-довгунця та внесення вуглеамонійних солей (ВАС) / А.М. Сеньков, П.І. Нинько, В.І. Рожко // Науковий вісник НАУ. – 1999. – №13. – С. 211 – 214.
5. Марков В.В. Первичная обработка льна и других лубяных культур: Учебник для сред. спец. учеб. Заведений / В.В. Марков. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 376 с.
6. Євтушенко В.В. Вплив плющення стебел льняної соломи на інтенсифікацію процесу розстилу / В.В. Євтушенко // Проблеми легкої і текстильної промисловості: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції (4 – 5 жовтня 2005 р.). – Херсон, Херсонський нац. тех. ун-т, 2005. – С. 264.
7. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследований механико-технологических процессов текстильной промышленности / А.Г. Севостьянов. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 392 с.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФАКТОРОВ, КОТОРЫЕ ВЛИЯЮТ НА КАЧЕСТВО СЛАНКОГО ЛЛЯНОГО ВОЛОКНА**

Євтушенко В.В.

**Аннотация – работа посвящена исследованию факторов, которые больше всего влияют на прочность лляного волокна, полученного путем того, что росистого мочит. Использование математического аппарата регрессионного анализа позволяет прогнозировать свойства исходного продукта.**

## **MATHEMATICAL GROUND OF FACTORS WHICH INFLUENCE ON DURABILITY OF SLANKOGO FIBREMA**

V. Evtushenko

### *Summary*

**Work is devoted research of factors, which most influence on durability of лляного fibre, got by dewy wet. The use of mathematical vehicle of regressive analysis allows to fo.**