

MATHEMATICAL ANALYSIS OF QUALITY INDICATORS FOR BAST RAW MATERIAL FROM OILSEED FLAX

T. Holovenko^{1*}, O. Nalobina², O. Herasymchuk¹, O. Tkachuk¹,
O. Shovkomud¹

¹Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

²National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine



ABSTRACT

Flax fiber is used to make textiles, paper and other products. These products are environmentally friendly, so these products are very popular among consumers. In Ukraine, there is no regulatory framework governing the quality of oilseed flax. The article scientifically substantiates the influence of qualitative parameters of oilseed flax straw, namely: average length of stems, diameter and weight of stems on the yield of bast, as well as parameters of oilseed flax retted straw – average length of stems, diameter and weight of stems on fiber yield, which are important in expediency of industrial processing of this bast material. This was done using correlation analysis, a method of three-factor mathematical planning of an experiment using the software product MathCAD 14. The obtained correlation coefficients and three-factor analysis confirmed the importance the yield of bast and the yield of fiber and their direct relationship with the length, diameter and weight of stems. Mathematical modeling and calculations of the influence of oilseed flax straw and retted straw obtained experimentally, on the yield of bast and yield of fiber confirmed the theoretically substantiated hypothesis, which is as follows: the main quality characteristics of oilseed flax straw and retted straw as industrial raw material, littering, straw color group (fiber color group), as well as separability – for retted straw. Secondary importance for straw and retted straw of oilseed flax are technical and total length, diameter, technical part in the total length of the stem, because they are reflected in the values of yield bast and yield fiber.

Key words:

oilseed flax,
bast yield,
fiber yield,
straw quality indicator,
quality of flax straw

Article history:

Received 21.02.2021

Accepted 05.05.2021

*Corresponding author:

t.holovenko@lutsk-
ntu.com.ua

<https://doi.org/10.36910/acm.vi46.498>

УДК 677.11.021

МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛУБ'ЯНОЇ СИРОВИНИ ІЗ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО**Т.М. Головенко^{1*}, О.О. Налобіна², О.П. Герасимчук¹, О.Л. Ткачук¹, О.В. Шовкомуд¹**¹Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна²Національний університет водного господарства та природо-користування, Рівне, Україна**Ключові слова:**

льон олійний,
вихід лубу,
вихід волокна,
показник якості трести,
якість трести льону

Історія публікації:

Отримано 21.02.2021

Затверджено 05.05.2021

*** Автор для****листування:**

t.holovenko@lutsk-
ntu.com.ua

АНОТАЦІЯ

У роботі науково обґрунтовано вплив якісних параметрів соломи льону олійного (середня довжина стебел, діаметр і маса стебел) на вихід лубу, а також параметрів трести льону олійного (середня довжина стебел, діаметр та маса стебел) на вихід волокна, що є важливими у визначенні доцільності промислового перероблення цієї луб'яної культури. Дослідження проведені із використанням кореляційного аналізу, методу трифакторного математичного планування експерименту із застосуванням програмного продукту MathCAD 14. Отримані коефіцієнти кореляції та виконаний трифакторний аналіз підтвердили значущість виходу лубу та виходу волокна і їх безпосередній зв'язок із довжиною, діаметром та масою стебел. Математичне моделювання і розрахунки впливу показників соломи та трести льону олійного, що отримані дослідним шляхом, на вихід лубу та вихід волокна підтвердили теоретично обґрунтовану гіпотезу, яка полягала у тому, що основними характеристиками якості соломи та трести льону олійного, як промислової сировини, є вологість, вихід лубу (вихід волокна), група кольору соломи (група кольору волокна), засміченість, а також відокремлюваність (для трести). Другорядне значення для соломи та трести мають технічна та загальна довжина, діаметр і технічна частина в загальній довжині стебла, оскільки відображаються у значеннях виходу лубу та виходу волокна.

<https://doi.org/10.36910/acm.vi46.498>

Стан питання та постановка проблеми

Перероблення стебел льону олійного на підприємствах України з метою виготовлення на їх основі текстильних, целюлозно-паперових та інших товарів широкого вжитку – це крок у майбутнє, що відіграє стратегічну роль у формуванні вітчизняного ринку екопродукції [1, 2]. Проте ґрунтовний аналіз загальних методик оцінки якості волокон льону олійного свідчить про повну відсутність нормативної бази не тільки в Україні, а й у світі в цілому [3], яка б регламентувала рівень якості волокна цієї культури.

З метою створення науково-обґрунтованої методології контролю якості соломи та трести льону олійного необхідно визначити їхні якісні характеристики та граничні значення, що будуть вказувати на рівень якості як промислової лубоволокнистої сировини.

Мета дослідження – дослідити вплив якісних характеристик соломи льону олійного (середня довжина стебел, діаметр та маса стебел) на вихід лубу, а також трести (середня довжина стебел, діаметр та маса стебел) на вихід волокна, що є важливими у визначенні доцільності промислового використання цієї культури.

Матеріали і методи

З метою визначення впливу параметрів соломи і трести льону олійного на вихід лубу та вихід волокна було використано метод математичного планування експерименту. Згідно із методикою було проведено розрахунки із застосуванням програмного продукту MathCAD 14 та побудовано матриці математичного планування експерименту, поверхні відгуку, а також отримано регресійні рівняння досліджуваних показників для кожного із сортів льону олійного й визначено критерії Стюдента та Кохрена.

Результати дослідження та обговорення

Під час експериментальних досліджень фізико-механічних характеристик стебел соломи та трести льону олійного сортів Айсберг, Дебют і Лірина, які зібрані у різний спосіб (способом ручного брання рослин та після збирання зернозбиральним комбайнового), було визначено і узагальнено технологічні показники за середніми та граничними значеннями [4]. Результати досліджень представлені на рис. 1–2. Аналіз отриманих результатів показує, що для стеблової маси льону олійного, яка одержана після збирання зерновим комбайном, характерний високий показник виходу лубу із соломи порівняно із стеблами, які зібрані ручним бранням. У стебловій масі переважна більшість стебел містить лише продуктивну частину стебла без верхівкової та прикореневої частин стебла.

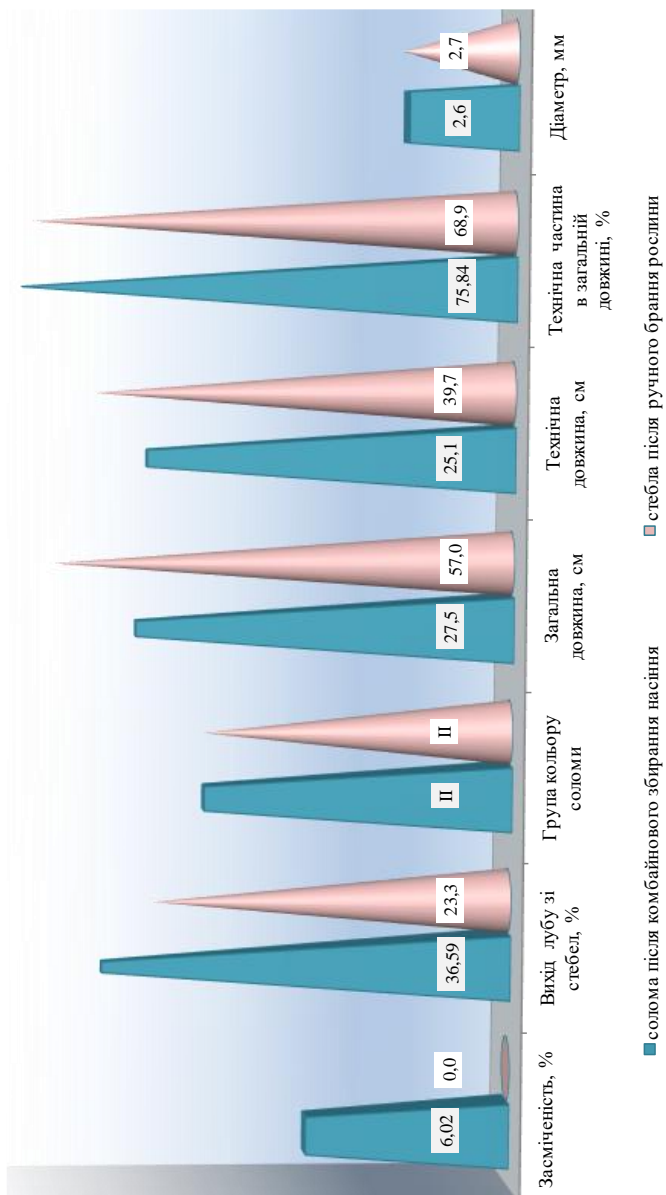


Рис. 1 – Діаграма середніх значень показників якості проб соломи льону олійного досліджуваних сортів, які зібрані у різний спосіб

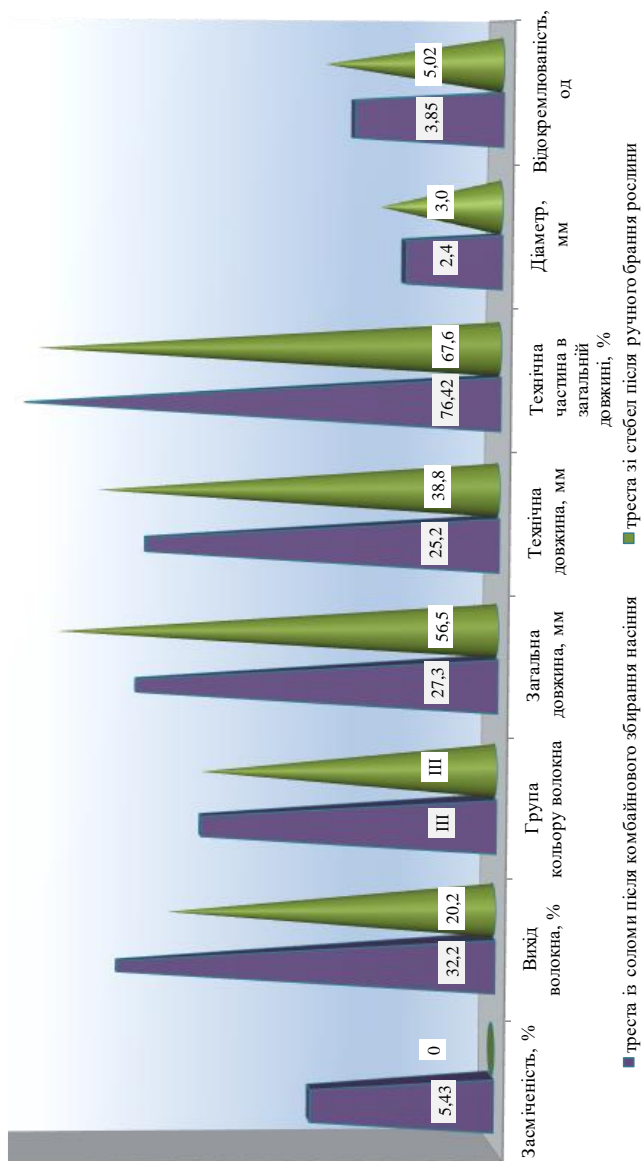


Рис. 2 – Діаграма середніх значень показників проб трести із стебел льону олійного досліджуваних сортів, які зібрані у різний спосіб

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що загальний рівень якості стебел льону олійного, як промислової сировини, характеризується, переважно, певними якісними показниками соломи та трести (рис. 3).

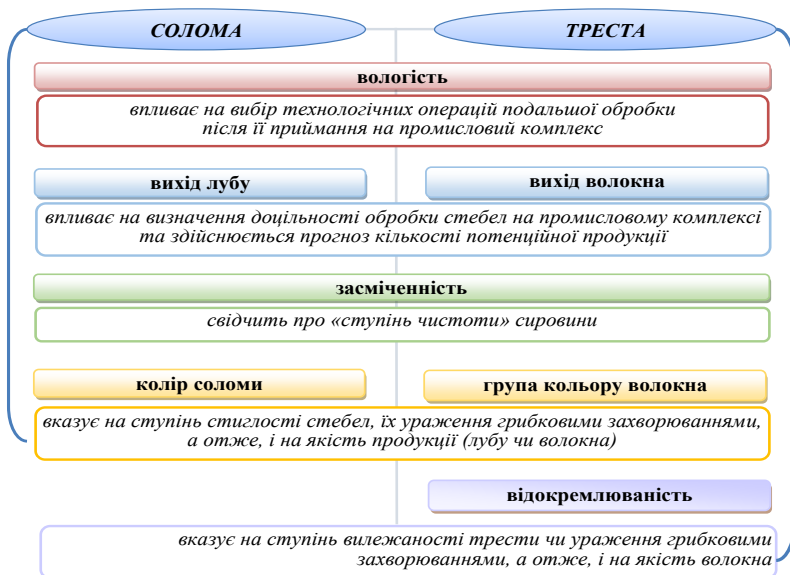


Рис. 3 – Якісні показники соломи та трести льону олійного, як промислової сировини

Отримані під час аналізу результатів експериментальних досліджень висновки щодо впливу загальної та технічної довжини, діаметра та маси стебел на значення виходу лубу та виходу волокна потребують наукового обґрунтування на основі застосування методів математично-статистичного оброблення експериментальних даних.

Для перевірки зв'язку деяких зазначених показників соломи і трести із показниками виходу лубу та виходу волокна, що є важливими для промислового використання льону олійного, проведено низку досліджень. Зокрема, було проведено дослідження впливу показників соломи на вихід лубу. Для вирішення поставленого завдання використано експериментальні дані дослідження технологічних показників соломи льону олійного сортів Айсберг, Дебют та Лірина, яка одержана після комбайнового збирання цієї культури [4]. На основі отриманих даних проведено кореляційний

аналіз якісних показників соломи льону олійного трьох сортів, під час якого встановлено зв'язок між довжиною стебел (середня довжина стебел), діаметром стебел і виходом лубу. Результати кореляційного аналізу узагальнені до середніх значень і представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати кореляційного аналізу якісних характеристик соломи льону олійного

№ з/п	Сорт	Якісний показник соломи	Середні значення коефіцієнта кореляції	
			середня довжина стебел, мм	діаметр стебел, мм
1	Айсберг	Вихід лубу від загальної маси стебел, %	0,80	0,72
2	Дебют		0,81	0,72
3	Лірина		0,81	0,73

Отримані середні значення коефіцієнта кореляції (таблиця 1) вказують на безпосередній зв'язок між технологічними характеристиками соломи (довжина стебел, діаметр стебел та вихід лубу).

Для встановлення впливу середньої довжини стебел, діаметра та маси стебел на вихід лубу виконані дослідження за методом математичного планування експерименту [5–7]. Згідно із методикою для кожного сорту льону олійного було проведено розрахунки із використанням програмного продукту MathCAD 14, побудовані матриці планування експерименту, поверхні відгуку, а також складені регресійні рівняння й визначені критерії Стюдента та Кохрена. Під час математичного моделювання отримані регресійні математичні моделі $y = f(x_1, x_2, x_3)$, що характеризують вплив якісних показників соломи льону олійного на вихід лубу (де y – вихід лубу; x_1 – середня довжина стебел; x_2 – середній діаметр стебел; x_3 – маса стебел). Рівняння регресії для соломи льону олійного сортів Айсберг, Дебют та Лірина мають вигляд:

$$y = 0,0003x_1 + 0,0685x_2 + 0,047x_3 + 0,0002x_1x_2 + 0,0008x_1x_3 + 0,0364x_2x_3 - 0,0002x_1x_2x_3 + 0,0485; \quad (1)$$

$$y = 0,0004x_1 + 0,0525x_2 + 0,2279x_3 + 0,0002x_1x_2 - 0,0001x_1x_3 - 0,015x_2x_3 + 0,0001x_1x_2x_3 + 0,0284; \quad (2)$$

$$y = 0,0001x_1 + 0,1211x_2 + 0,1608x_3 + 0,0003x_1x_2 + 0,0003x_1x_3 + 0,0303x_2x_3 - 0,0001x_1x_2x_3 - 0,093. \quad (3)$$

За рівняннями (1)–(3) побудовані поверхні відгуку з натуральними значеннями факторів рис. 4–6.

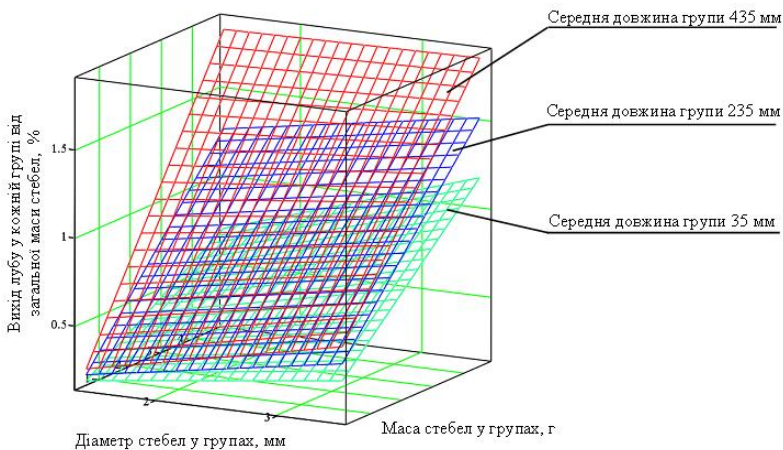


Рис. 4 – Вплив якісних показників соломи льону олійного сорту Айсберг на вихід лубу

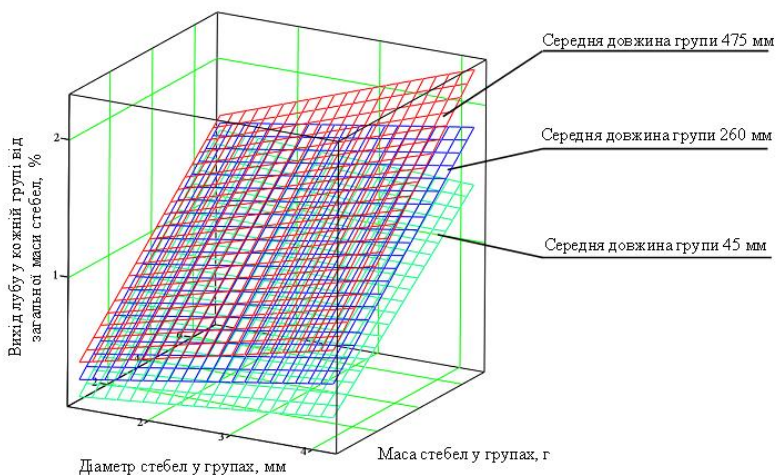


Рис. 5 – Вплив якісних показників соломи льону олійного сорту Дебют на вихід лубу

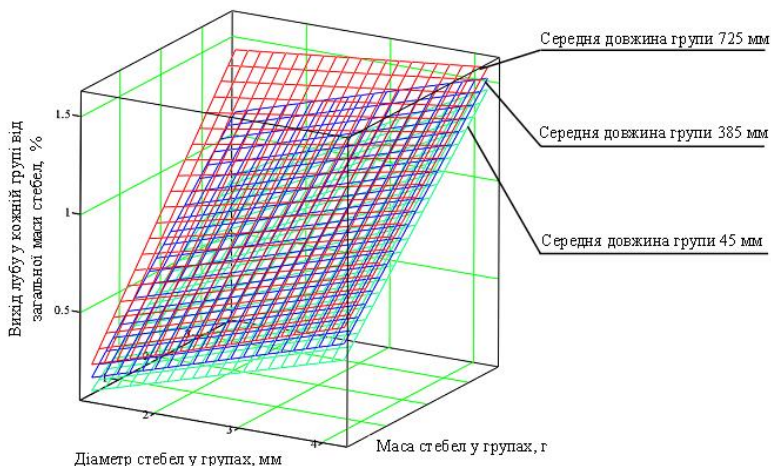


Рис. 6 – Вплив якісних показників соломи льону олійного сорту Лірина на вихід лубу

Аналіз одержаних результатів досліджень показує, що найбільш вагомими факторами, які функціонально характеризують вихід лубу, є діаметр і маса стебел. Із отриманих регресійних рівнянь (1)–(3) очевидно, що показник виходу лубу збільшується із збільшенням середньої довжини стебел. Це зростання проявляється більш суттєво у разі збільшення маси стебла.

Також було проведено дослідження впливу параметрів трести на вихід волокна. Для вирішення поставленого завдання використано експериментальні дані досліджень технологічних показників трести льону олійного сортів Айсберг, Дебют та Лірина, стебла яких відібрані після комбайнового збирання льону [4]. Кореляційний аналіз якісних показників трести льону олійного трьох сортів дозволив встановити зв'язок між довжиною стебел, діаметром стебел і виходом волокна. Результати кореляційного аналізу були узагальнені до середніх значень та представлені у таблиці 2. Отримані середні значення коефіцієнта кореляції (таблиця 2) вказують на безпосередній зв'язок між технологічними характеристиками трести (довжина стебел, діаметр стебел та вихід волокна).

Визначення впливу середньої довжини стебел, діаметра та маси стебел на вихід волокна відбувалося за методом математичного планування експерименту [5–7]. Згідно із методом та використовуючи програму MathCAD 14 для кожного сорту льону олійного були

проведені розрахунки, побудовані матриці планування експерименту, поверхні відгуку та складені регресійні рівняння й визначені критерії Стюдента і Кохрена.

Таблиця 2 – Результати кореляційного аналізу якісних характеристик трести льону олійного

№ з/п	Сорт	Якісний показник трести	Середні значення коефіцієнта кореляції	
			середня довжина стебел, мм	діаметр стебел, мм
1	Айсберг	Вихід волокна від загальної маси стебел, %	0,86	0,76
2	Дебют		0,86	0,78
3	Лірина		0,84	0,76

Під час математичного моделювання впливу якісних показників трести льону олійного на вихід волокна були отримані математичні моделі $y = f(x_1, x_2, x_3)$, що характеризують вплив якісних показників трести льону олійного на вихід волокна (де y – вихід волокна; x_1 – середня довжина стебел; x_2 – середній діаметр стебел; x_3 – маса стебел). Рівняння регресії для трести льону олійного сортів Айсберг, Дебют та Лірина мають вигляд:

$$y = 0,0011x_1 + 0,2093x_2 + 0,2242x_3 - 0,0003x_1x_2 - 0,0003x_1x_3 - 0,045x_2x_3 + 0,0002x_1x_2x_3 - 0,1861; \quad (4)$$

$$y = 0,0006x_1 + 0,1288x_2 + 0,1304x_3 - 0,0001x_1x_2 + 0,0002x_1x_3 - 0,015x_2x_3 + 0,0001x_1x_2x_3 - 0,0468; \quad (5)$$

$$y = 0,0004x_1 + 0,1642x_2 + 0,181x_3 - 0,0001x_1x_2 + 0,0001x_1x_3 - 0,0141x_2x_3 - 0,1842. \quad (6)$$

За рівняннями (4)–(6) побудовані поверхні відгуку з натуральними значеннями факторів (рис. 7–9).

Аналіз одержаних результатів вказує на те, що найбільш вагомими факторами, які характеризують вихід волокна, є діаметр та маса стебел. Із рівнянь (4)–(6) очевидно, що показник виходу волокна збільшується із зростанням середньої довжини стебел, причому це зростання більш суттєве за умови збільшення маси.

Отримані коефіцієнти кореляції та проведений аналіз результатів дослідження підтверджують попередні висновки теоретичного аналізу технологічних параметрів соломи та трести льону олійного щодо залежності виходу лубу та волокна від довжини, діаметра та маси стебел льону.

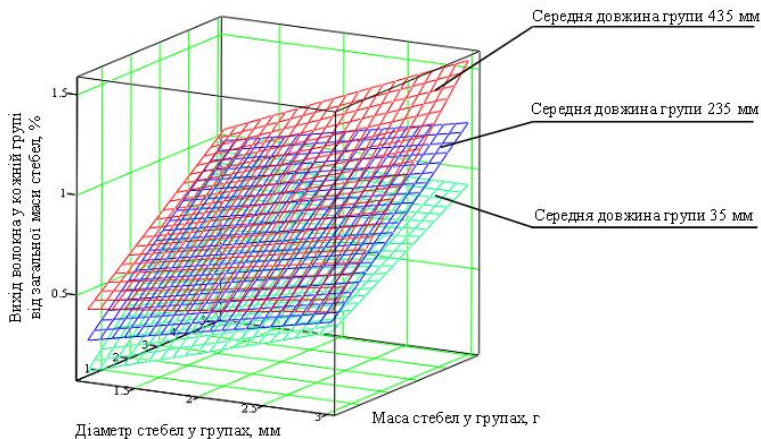


Рис. 7 – Вплив якісних показників трести льону олійного сорту Айсберг на вихід волокна

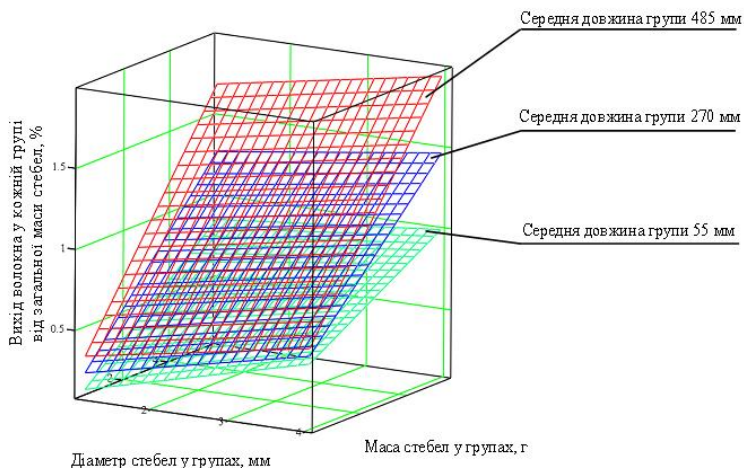


Рис. 8 – Вплив якісних показників трести льону олійного сорту Дебют на вихід волокна

Науково обґрунтовані теоретичні дані та експериментальні значення показників якості стебел соломи льону олійного усіх сортів, достовірність яких доведена математично-статистичним обробленням, були узагальнені до середніх значень. Це дозволяє не урахувувати сорт

льону олійного, оскільки на переробний комплекс може надходити сировина різного складу, тобто, в партії може бути згруповано декілька сортів цієї культури. Отримані технологічні характеристики соломи та трести льону олійного були розділені на основні та другорядні, а також було встановлено діапазон зміни їх значень від мінімального до максимального. Результати узагальнення теоретичних та експериментальних даних представлені в таблицях 3–4.

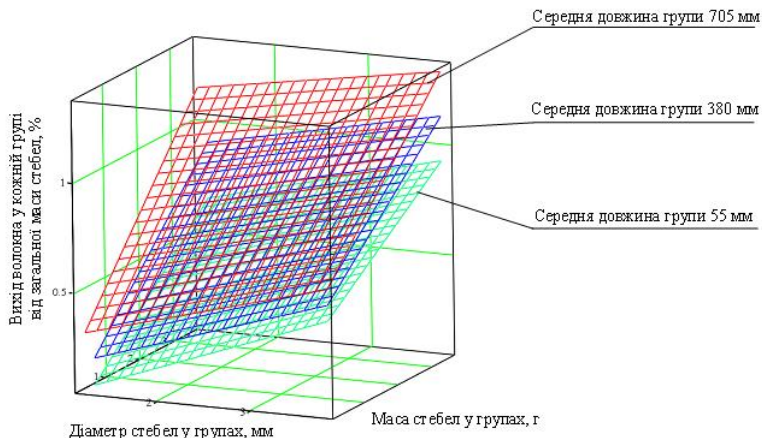


Рис. 9 – Вплив якісних показників трести льону олійного сорту Лірина на вихід волокна

Таблиця 3 – Якісні технологічні характеристики соломи льону олійного

№ з/п	Найменування характеристик	Числові значення характеристик		
		теоретичні	експериментальні	узагальнені
1	2	3	4	5
Основні технологічні характеристики				
1	Вологість технологічна, %	6,0–8,0	6,0–8,0	6,0–8,0
2	Вологість нормована, %	19,0	19,0	19,0
3	Засміченість, %	5,0–20,0	5,28–6,95	5,0–20,0
4	Вихід лубу зі стебел, %	11,0–35,1	15,3–38,51	11,0–40,0
5	Група кольору соломи	I, II, III	I, II	I, II, III

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5
Другорядні технологічні характеристики				
6	Загальна довжина, см	25,0–90,0	22,0–73,0	22,0–90,0
7	Технічна довжина, см	15,0–78,0	20,0–57,0	15,0–78,0
8	Діаметр, мм	1,0–4,1	1,6–4,0	1,0–4,1
9	Технічна частина в загальній довжині, %	60,0–86,7	58,5–83,3	60,0–90,0

Таблиця 4 – Якісні технологічні характеристики трести льону олійного

№ з/п	Найменування характеристик	Числові значення характеристик		
		теоретичні	експериментальні	узагальнені
Основні технологічні характеристики				
1	Вологість технологічна, %	6,0–8,0	6,0–8,0	6,0–8,0
2	Вологість нормована, %	19,0	19,0	19,0
3	Засміченість, %	5,0–20,0	4,87–6,02	5,0–20,0
4	Вихід волокна, %	11,0–31,2	11,4–35,59	11,0–40,0
5	Група кольору волокна (показник кольору волокна)	I, II, III, IV (1,0–4,0)	I, II, III, IV	I, II, III, IV (1,0–4,0)
6	Відокремлюваність, од. (ступінь вилежаності трести)	- 4,1 і більше (вилежана); - 3,1–4,0 (недолежана); - 3,0 і менше (солома)	3,0–6,7	- 4,1 і більше (вилежана); - 3,1–4,0 (недолежана); - 3,0 і менше (солома)
Другорядні технологічні характеристики				
7	Загальна довжина, см	25,0–90,0	22,0–67,4	22,0–90,0
8	Технічна довжина, см	15,0–78,0	20,0–57,0	15,0–78,0
9	Діаметр, мм	1,0–4,1	1,4–3,8	1,0–4,1
10	Технічна частина в загальній довжині, %	60,0–86,7	60,7–83,6	60,0–90,0

Представлені у таблицях 3–4 середні результати досліджень були заокруглені до цілих чисел, а для загальної довжини стебел вказано

найбільший показник, оскільки його найменші значення для соломи льону олійного після комбайнового збирання зафіксувати однозначно неможливо. Крім того, найбільше значення засміченості соломи льону олійного було до 20%, оскільки на засміченість соломи значний вплив мають агротехнічні заходи: оброблення посівів чи ґрунту хімічними препаратами від бур'янів та кліматичні умови (кількість опадів тощо).

Висновки

Моделювання впливу показників соломи та трести льону олійного, що отримані дослідним шляхом, на вихід лубу та волокна дозволило підтвердити теоретично обґрунтовану гіпотезу, яка полягала у тому, що основними характеристиками якості соломи та трести льону олійного, як промислової сировини, є вологість, вихід лубу (вихід волокна), засміченість, група кольору соломи (група кольору волокна), а також відокремлюваність (для трести). Другорядне значення для соломи та трести мають технічна й загальна довжина, діаметр та технічна частина в загальній довжині стебла. Отримані науково обґрунтовані результати досліджень були покладені в основу розроблення нормативної документації для визначення якості соломи та трести льону олійного, що дозволяє створити нові ринки вітчизняної сертифікованої сировини із луб'яних культур в Україні, а сільгоспвиробникам раціонально визначати вартість соломи чи трести під час їх реалізації на промислові об'єкти.

Список посилань

1. Alternative oilseed and fibrecrops for cool and wet regions of Europe. (1994). In: S. Hennink, L.J.M. Van Soest, K. Pithan, L. Hof (eds): Proceedings of the COST 814 Workshop. Wageningen, The Netherlands, 163–167.
2. Головенко, Т.Н., Тихосова, А.А., Богданова, О.Ф., Шовкомуд, А.В. (2018). Анализ состояния легкой промышленности Украины. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, 5, 251–254.
3. Головенко, Т.Н., Бойко, Г.А., Дягилев, А.С., Шовкомуд, А.В. (2017). Промышленное использование соломы льна масличного, как в мире, так и в Украине. Молодий вчений, 1(41), 37–40.
4. Головенко, Т.М., Бойко, Г.А., Іваненко, О.О., Шовкомуд, О.В. (2016). Загальна характеристика показників льону олійного з метою виготовлення інноваційних товарів. Молодий вчений, 5(32), 218–222.
5. Вардемен, С.Б., Джоуб, Дж.М. (2003). Статистичні методи забезпечення якості: посіб. для вищих навч. закладів. КНТЕУ, Київ, 254.
6. Тихомиров, В.Б. (1974). Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в лёгкой и текстильной промышленности). Лёгкая индустрия, Москва, 262.
7. Остапчук, М.В., Станкевич, Г.М. (2006). Математичне моделювання на ЕОМ: підручник. Друк, Одеса, 313.