e-ISSN 2708-9754; ISSN 2307-1699
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ, 2026, Вип. 52
AGRICULTURAL MACHINES, 2026, Vol. 52

# INVESTIGATION OF OILSEED FLAX STEM FRACTURE TO INFORM THE DESIGN OF WORKING SURFACES FOR A DECORTICATION UNIT

**V. Didukh, R. Khlopetskyi***

*Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine*

AGRICULTURAL MACHINES
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

***Key words:***
oilseed flax,
stems,
retted straw,
decortication,
profiled surfaces,
compression,
fracture.

***Article history:***
Received 15.09.2026
Reviewed 27.09.2026
Approved 30.10.2026

**Corresponding author:***
vl80k.600@gmail.com

***ABSTRACT***

*The deformation and fracture behaviour of groups of oilseed flax stems under quasi-static loading between profiled working surfaces was investigated. Laboratory tests were conducted using an extensometer fitted with an additional attachment equipped with interchangeable surfaces of triangular, circular and trapezoidal profiles. Each test series used a group of 20 stems, whose diameters were measured in the lower, middle and upper sections. Loading was applied sequentially at the corresponding sections of the same group. Displacement mechanism readings, indicator readings and instances of audible cracking accompanied by drops in the readings were recorded. Yellow stems and grey stems (retted straw) were tested separately using the circular profile. In all groups, the mean diameter decreased from the lower to the upper section. The loading records included intervals of increasing indicator readings, local drops followed by renewed increases, and intervals with little change in the readings. The results are presented in the original units of the readout devices, without conversion to force or actual displacement of the working surfaces. Comparisons between test series are descriptive and account for differences in geometric characteristics and material condition. The recorded relationships characterise the behaviour of the tested groups and provide a basis for refining the programme of further research into the working surfaces of a decortication unit.*

**DOI:** 10.36910/acm.vi52.2340

*To cite this article:*
Didukh, V., & Khlopetskyi, R. (2026). Investigation of oilseed flax stem fracture to inform the design of working surfaces for a decortication unit *Agricultural Machines*, *52*, 141-150. https://doi.org/10.36910/acm.vi52.2340

e-ISSN 2708-9754; ISSN 2307-1699
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ, 2026, Вип. 52
AGRICULTURAL MACHINES, 2026, Vol. 52

УДК 631.3

# ДОСЛІДЖЕННЯ РУЙНУВАННЯ СТЕБЕЛ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕКОРТИКАЦІЙНОГО ВУЗЛА

**В.Ф. Дідух, Р.А. Хлопецький***

*Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна*

AGRICULTURAL MACHINES
АСМ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

***Ключові слова:***
льон олійний,
стебла,
треста,
декортикація,
профільовані поверхні,
стискання,
руйнування

***Історія публікації:***
Отримано 15.09.2026
Прорецензовано 27.09.2026
Затверджено до друку 30.10.2026

**Автор для листування:***
vl80k.600@gmail.com

***АНОТАЦІЯ***

*Досліджено характер деформування та руйнування груп стебел льону олійного під час квазістатичного навантаження між профільованими робочими поверхнями. Лабораторні випробування виконано на екстензометрі з додатковим пристосуванням, оснащеним змінними поверхнями трикутного, круглого та трапецієподібного профілів. У кожній серії використовували групу з 20 стебел, діаметри яких вимірювали в нижній, середній та верхній ділянках. Навантаження здійснювали послідовно у відповідних ділянках тієї самої групи. Реєстрували відліки механізму переміщення, покази індикатора та випадки чутного хрускоту, що супроводжувалися спадом показів. Для круглого профілю окремо досліджували жовті стебла та сірі стебла – тресту. У всіх групах середній діаметр зменшувався від нижньої до верхньої ділянки. Записи навантаження містили ділянки зростання показів індикатора, локальні спади з подальшим повторним зростанням та ділянки незначної зміни показів. Результати представлено у вихідних одиницях відлікових пристроїв без перерахунку в силу та фактичне переміщення робочих поверхонь. Порівняння серій має описовий характер з урахуванням відмінностей геометричних характеристик і стану матеріалу. Отримані залежності характеризують поведінку випробуваних груп та слугують основою для уточнення програми подальших досліджень робочих поверхонь декортикаційного вузла.*

**DOI:** 10.36910/acm.vi52.2340

*Цитувати цю статтю:*
Дідух, В. Ф., & Хлопецький, Р. А. (2026). Дослідження руйнування стебел льону олійного для обґрунтування робочих поверхонь декортикаційного вузла. *Сільськогосподарські машини*, *52*, 141-150. https://doi.org/10.36910/acm.vi52.2340

## СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Перетворення стебел луб'яних культур у тресту надзвичайно складний процес, що підтверджується широким спектром досліджень і запропонованих на їх основі відповідних технологій *(Шейченко В.О, Хайліс Г.А. , 2014; Ягелюк С.В., Дідух В.Ф., 2021, Головенко Т.М та ін, 2024)*.. У більшості випадків, для прискорення процесу, стебла луб'яних культур руйнують шляхом плющення гладкими вальцями *(Вировець В.Г., 2018 та ін., Юхимчук С.Ф. та ін.,2023)*. Руйнування стебел створює умови проникнення навколишньої вологи для розвитку пектинових речовин, які зв'язують волокнисті пучки з деревиною та покривними тканинами стебла. Стебла льону олійного, вирощені в умовах Західного Полісся мають типову анатомічну будову дводольної трав'янистої рослини. Але, для них є характерним збільшення загальної довжини та діаметрів за рахунок розвитку деревини(ксилеми) при поділі клітин камбію. Стебла стають більш жорсткими а, за недостатньої вологості затягується процес їх перетворення у тресту *(Головенко Т.М та ін, 2025, Dudarev, I., & Say, V., 2020, Фурса О. та ін., 2024)*. Тому, у процесі збирання льону олійного з використанням стеблової частини врожаю, важливо передбачити процеси руйнування стебел. При цьому, одночасне руйнування товстого шару таких стебел, найкраще піддається шляхом декортикації *(Дідух В.Ф. та ін, 2023,)*.

Загалом, принцип декортикації луб'яних культур полягає у механічному руйнуванні деревини стебел з метою отримання сировини у вигляді зеленого волокна безпосередньо із сухих стебел *(Коропченко С.П. та ін, 2024,)*. Відповідно, основними операціями є зминання, стискання та зсув. Для їх виконання використовують рифлені вали. При виділенні волокна при декортикації використовують додаткові операції: тіпання та оббивання а також сепарацію суміші волокна і костриці повітрям. Таким чином, щоб отримати волокнисто-стеблову масу для подальшого її перетворення у тресту в процесі збирання льону олійного, у технічному засобі, достатньо передбачити вузол декортикації з відповідними рифленими валами.

До декортикаторів відносять машини, які забезпечують відділення волокна на різних етапах збирання сільськогосподарських культур ***(Jinke Xu**. 2010)*. Так як будова стебел сільськогосподарських культур різна, то за призначенням такі машини поділяють на три групи для: льону (обробка тонкостеблових культур), коноплі (обробка товстостеблових культур) і екзотичних луб'яних культур (кенаф, джут, рамі). Якщо машина призначена для роботи у полі, то вона як правило пересувна та комплектується з енергетичним засобом. Класифікація декортикаторів за призначенням, вказує на необхідність ретельного підходу до вибору робочих органів, які безпосередньо взаємодіють із стеблами та складають вузол декортикації. Для підготовки стебел льону олійного до перетворення у тресту необхідно обґрунтувати конструкцію та умови роботи декортикаційного вузла з урахуванням його застосування в технології збирання насіння і стеблової частини врожаю. Так, при вирощуванні льону олійного, основні зусилля спрямовуються на максимальне збереження врожаю насіння. Водночас, стеблову частину врожаю, як правило, утилізовують шляхом подрібнення.

Серед значної кількості конструкцій вузлів для декортикації, вальцьові найкраще забезпечують руйнування стебел у поперечному перерізі з утворенням поздовжніх тріщин дерев'янистої складової, що важливо для створення умов перетворення стебел у тресту. Вальцеві вузли декортикації включають пари рифлених або гладких валів *(Головенко Т.М та ін, 2024)*. Відомі дослідження роботи таких вузлів декортикації вказують, що їх ефективна робота залежить від товщини шару, який подається на руйнування. При цьому, у теоретичних дослідженнях при розгляді процесу руйнування стебел луб'яних культур, у більшій мірі, беруть до уваги шар товщиною в одне стебло. Для обґрунтування форми робочих поверхонь декортикаційного вузла необхідно дослідити характер деформування та руйнування групи стебел за їх одночасного навантаження.

**Мета дослідження**: дослідити характер деформування та руйнування групи стебел льону олійного під час квазістатичного навантаження між профільованими робочими поверхнями та уточнити методику їх експериментального порівняння.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Для прискорення процесу мацерації у стеблах льону-довгунця пропонується їх плющення. Широко відомі дослідження впливу декортикаційних вузлів на виділення волокна з льонотрести і потоншення волокна, не дозволяють зробити висновок щодо впливу процесу руйнування стебел на

інтенсифікацію отримання трести. За польовими спостереженнями, за періодичного випадання опадів та піднімання й розпушування валків утворення трести зі стебел, зрізаних на висоті 30–50 мм, спостерігали протягом 25 днів вилежування (рис. 1).




**Рис. 1 –** Взірці трести за роздільної технології збирання: 1 і 4 – сорти льону олійного Антант і Лірина; 2 і 3 сорти льону-довгунця Оберіг і Міандр

Глобальне потепління суттєво вплинуло на формування висоти стеблостою льону олійного. Незважаючи на добре розвинуту кореневу систему, льон олійний потребує значної кількості води від посіву і до фази цвітіння. Під впливом кліматичних умов, в останні роки, висота стеблостою на дослідних ділянках коливається від 45 до 100 см. Найбільш типовою висотою у межах 75 см виявився стеблостій льону олійного сорту Лірина врожаю 2025 року **(рис. 2)**.



**Рис. 2** – Збирання льону олійного на дослідній ділянці у фазі ранньої жовтої стиглості за роздільною технологією у 2025 р.

З даного врожаю, для проведення досліджень руйнування стебел, відбирались зразки як цілих стебел з валків зрізаних роторною косаркою, так і частково зруйнованих молотильним апаратом зернозбирального комбайна **(рис. 3)**.



**Рис. 3 –** Обмолочування валків зернозбиральним комбайном

Для цього за довжиною гону відбирався матеріал масою 1,0–1,5 кг у трьох рівновіддалених точках та відступом від країв поля по 4 м за схемою від середини ділянки, через п’ять валків, на дві сторони. Відібрані зразки за двома варіантами (цілі стебла та стеблово-волокниста маса) у поліетиленових упаковках переміщали у закрите приміщення. Як показала практика, відсутність опадів і низький зріз стеблостою, не забезпечив умови перетворення стебел у тресту протягом місячного терміну *(Дідух В.Ф., Щур Т.Г., 2025)*. Лише, після випадання значних опадів, стеблово-волокниста маса (рис. 3) через три дні змінила свій колір із жовтого на сірий, що дозволяє стверджувати про процес перетворення стебел у тресту. Відповідно, такий матеріал також був взятий для проведення досліджень.

Лабораторні випробування проводили на екстензометрі, оснащеному додатковим пристосуванням зі змінними профільованими робочими поверхнями (рис. 4). Пристосування забезпечувало розміщення групи стебел між протилежними поверхнями та їх послідовне навантаження. Покази індикатора реєстрували за відповідними відліками механізму переміщення.

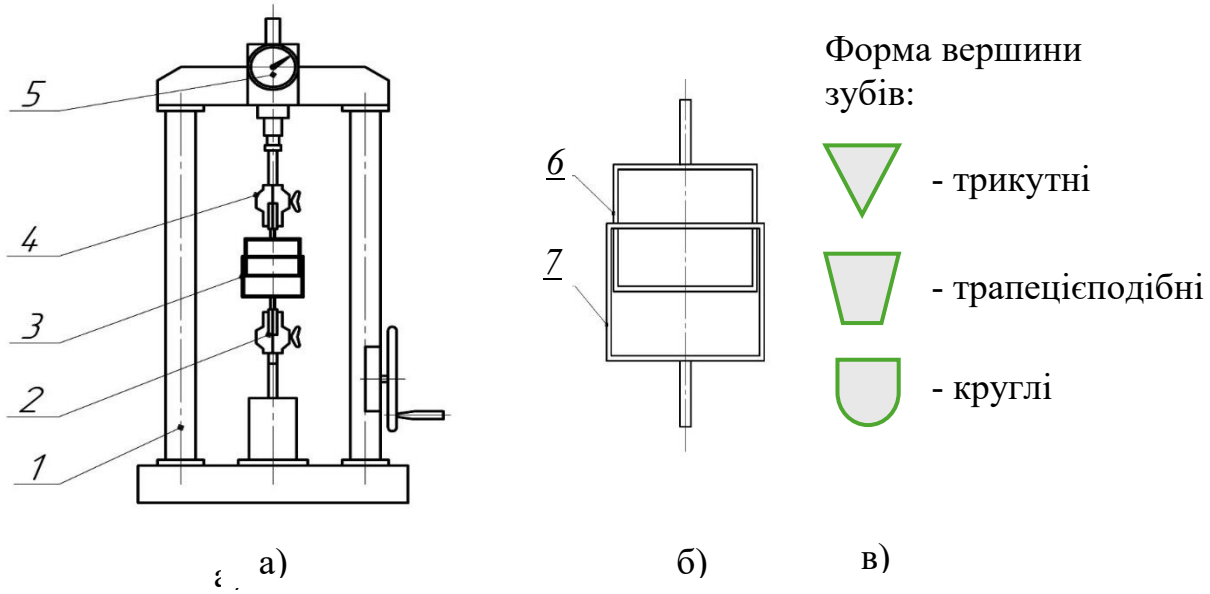



**Рис. 4** - Екстензометр з пристосуванням для дослідження розплющування стебел льону: а) – екстензометр: 1 – рама; 2, 4 – затискачі, 3 - додаткове пристосування, 5 – індикатор; б) – пристрій для зламу групи стебел: 6, 7 – притискні рамки; в – змінні зуби.

Лабораторні випробування проводили шляхом послідовного навантаження груп стебел між змінними профільованими робочими поверхнями пристосування, встановленого на екстензометрі. Для

кожної серії формували групу з 20 стебел. У всіх наведених випробуваннях стебла розташовували стрічково (рис. 5, а); хаотичне розташування, показане на рисунку 5, б, у цих дослідах не застосовували. Діаметр кожного стебла вимірювали в нижній, середній та верхній ділянках. Навантаження здійснювали послідовно у відповідних ділянках тієї самої групи. Таким чином, випробування різних ділянок характеризували поведінку одного набору стебел і не розглядалися як незалежні повторення.

Під час навантаження записували відлік механізму переміщення та відповідний показ індикатора. Окремими позначками фіксували чутний хрускіт, який супроводжувався спадом показу індикатора. Для зіставлення записів використовували приріст відліку механізму відносно початкового положення кожного випробування. На цьому етапі результати аналізували у вихідних одиницях відлікових пристроїв, без перерахунку в силу та фактичне переміщення робочих поверхонь.

Для навантаження груп стебел застосовували змінні робочі поверхні трикутного, круглого та трапецієподібного профілів. Випробовували нижню, середню та верхню ділянки стебел у місцях попереднього вимірювання діаметрів. Для круглого профілю окремо досліджували жовті стебла та сірі стебла – тресту.

Для подальших досліджень процесу декортикації передбачено використання експериментальної установки з трьома парами вальців (рис. 6). Робочі поверхні вальців мають трикутний, трапецієподібний та круглий профілі. Лабораторні випробування груп стебел між змінними профільованими поверхнями є попереднім етапом дослідження їх взаємодії з робочими органами вальцьового вузла.

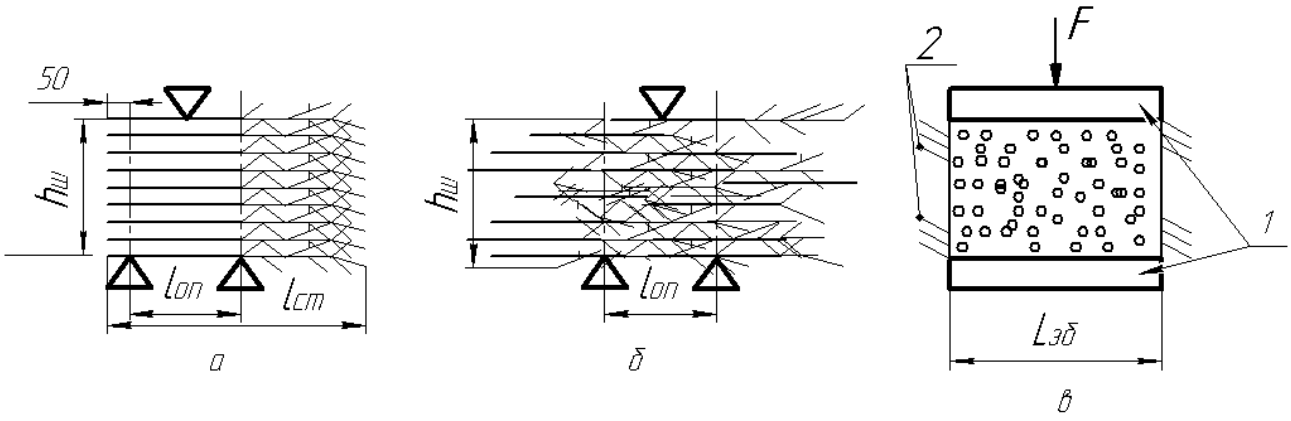



**Рис. 5** – Схеми розташування стебел у пристрої: а – стрічкове; б – хаотичне; в – поперечний переріз: 1 – вершина зуба; 2 – стінки рамки

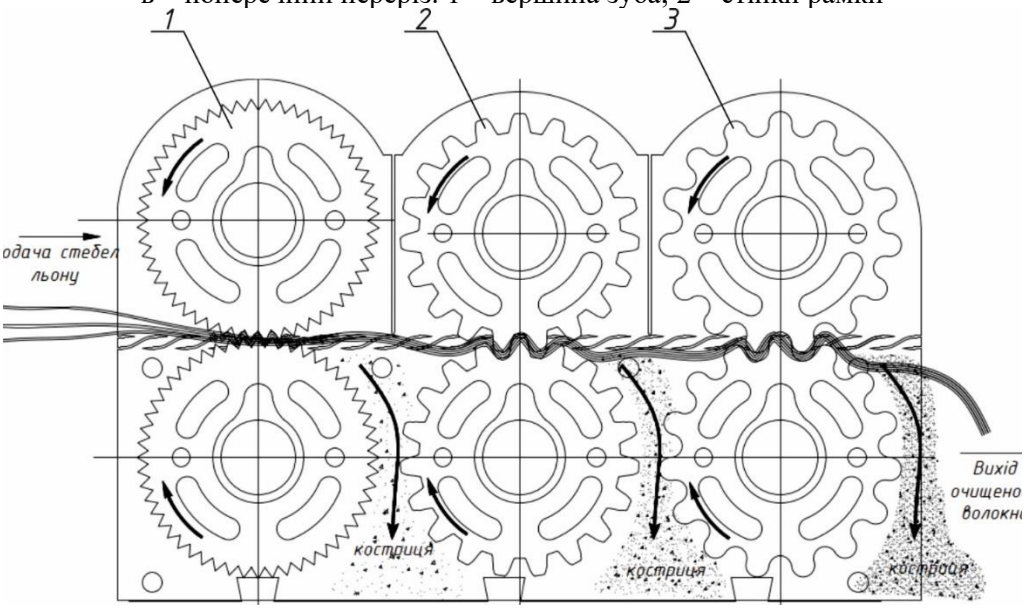



**Рис. 6** – Загальний вигляд вузла декортикації стебел льону з парами вальців: 1 – трикутні ; 2 – трапецієподібні; 3 – круглі

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Результати лабораторних випробувань представлено послідовностями показів індикатора залежно від приросту відліку механізму навантаження. Для кожної серії окремо розглядали нижню, середню та верхню ділянки групи стебел. Виміряні діаметри використано для характеристики геометричних відмінностей цих ділянок.

Під час навантаження спостерігали зростання показів індикатора та окремі їх спади, які супроводжувалися чутним хрускотом. Такі події фіксували як ознаки локального руйнування стебел у групі. Оскільки покази реєстрували дискретно, наступний після хрускоту запис не обов'язково відповідав значенню безпосередньо після руйнування.

Геометричні характеристики досліджених груп стебел наведено в таблиці 1. Для кожної ділянки визначено середній діаметр і вибіркове стандартне відхилення за вимірюваннями 20 стебел.

**Таблиця 1 – Діаметри стебел у досліджених групах**

| Профіль робочої поверхні | Матеріал | Нижня ділянка, мм | Середня ділянка, мм | Верхня ділянка, мм |
|---|---|---|---|---|
| Трикутний | Жовті стебла | 1,550 ± 0,426 | 1,350 ± 0,328 | 1,075 ± 0,373 |
| Круглий | Сірі стебла (треста) | 2,090 ± 0,288 | 1,845 ± 0,221 | 1,575 ± 0,220 |
| Круглий | Жовті стебла | 2,295 ± 0,324 | 1,970 ± 0,262 | 1,685 ± 0,237 |
| Трапецієподібний | Стан матеріалу не встановлено | 1,915 ± 0,221 | 1,675 ± 0,186 | 1,465 ± 0,218 |

Примітка. Наведено середнє значення ± вибіркове стандартне відхилення; у кожній групі виміряно 20 стебел у трьох ділянках. Стандартне відхилення характеризує розкид діаметрів між стеблами, а не повторюваність випробувань на навантаження.

У всіх досліджених групах середній діаметр зменшувався від нижньої до верхньої ділянки стебел. Групи також відрізнялися за діаметрами між собою. Тому відмінності записів навантаження між серіями не можна пояснювати лише формою робочої поверхні без урахування геометричних характеристик і стану матеріалу.

На рисунку 7 наведено залежності показів індикатора від приросту відліку механізму навантаження під час стискання груп жовтих і сірих стебел між робочими поверхнями круглого профілю. Початковий відлік кожного випробування прийнято за початок відповідної горизонтальної координати. Точки відповідають записаним показам, а лінії між ними слугують для відображення послідовності навантаження.

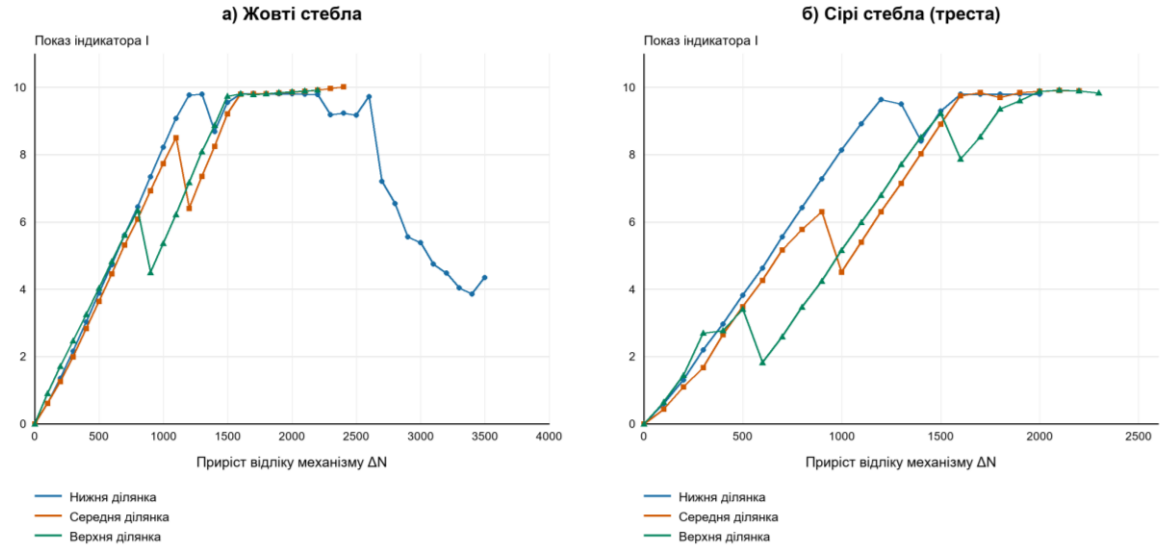



**Рис. 7 –** Зміна показів індикатора під час навантаження груп стебел між робочими поверхнями круглого профілю: а – жовті стебла; б – сірі стебла (треста). ΔN – приріст відліку механізму від початку відповідного випробування.

Записи характеризуються ділянками зростання показів індикатора, локальними спадами та подальшим повторним зростанням. Зафіксовані під час випробувань хрускіт і спади показів свідчать про окремі події руйнування в групі стебел. Подібна загальна послідовність спостерігається для обох станів матеріалу, проте розташування та вираженість спадів відрізняються між дослідженими ділянками.

На окремих ділянках кривих подальше збільшення відліку механізму супроводжувалося незначною зміною показів індикатора. Такі ділянки розглядали як особливість зареєстрованої залежності, не ототожнюючи їх із завершенням руйнування всіх стебел у групі. За дискретними записами неможливо встановити кількість зруйнованих стебел або ступінь відокремлення волокна від деревини.

Порівняння жовтих стебел і трести за круглого профілю має описовий характер. Окрім стану матеріалу, досліджені групи відрізнялися діаметрами стебел (табл. 1). Тому спостережувані відмінності кривих не можна приписувати виключно стану матеріалу. Отримані записи характеризують послідовність деформування досліджених груп і можуть бути використані для уточнення програми подальших випробувань.

Для трапецієподібного профілю записані залежності для нижньої, середньої та верхньої ділянок стебел мали подібний характер (рис. 8). Початкове зростання показів індикатора змінювалося ділянкою їх незначної зміни за подальшого збільшення відліку механізму. На цій ділянці покази становили приблизно 10,0–10,4.

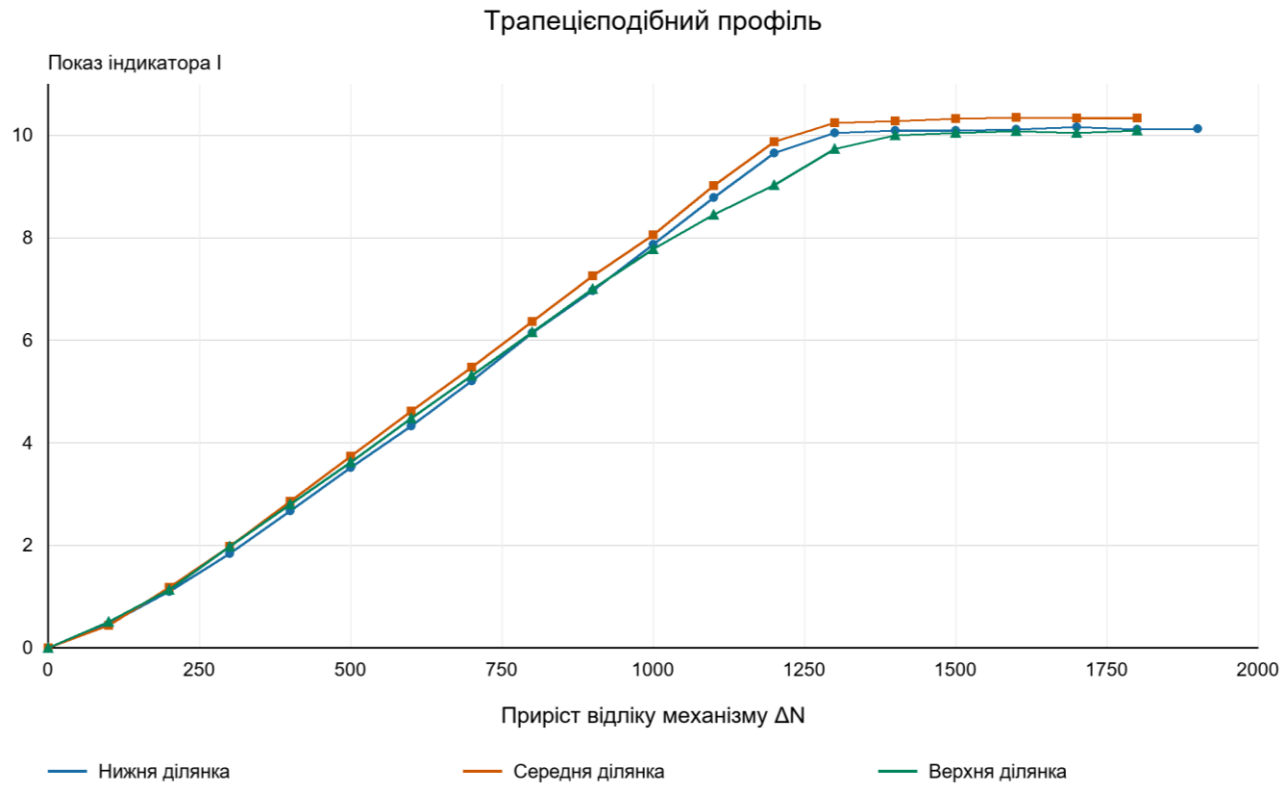



**Рис. 8 –** Зміна показів індикатора під час навантаження групи стебел між робочими поверхнями трапецієподібного профілю. ΔN – приріст відліку механізму від початку відповідного випробування.

Позначені у протоколі випадки хрускоту не завжди супроводжуються спадом між сусідніми записаними показами. Це не виключає короткочасного спаду між моментами реєстрації. Оскільки стан матеріалу цієї серії у збережених записах не встановлено, наведені залежності розглядаються окремо, без кількісного зіставлення з жовтими стеблами та трестою інших серій.

Записи навантаження жовтих стебел між робочими поверхнями трикутного профілю наведено на рисунку 9. Для нижньої ділянки зафіксовано два виражені спади показів індикатора, розділені

ділянкою повторного зростання. Для середньої ділянки також зареєстровано спад після позначеного у протоколі хрускоту. Залежності наведено в межах наявних записів; кінцеві точки не розглядаються як підтвердження завершення руйнування групи стебел.

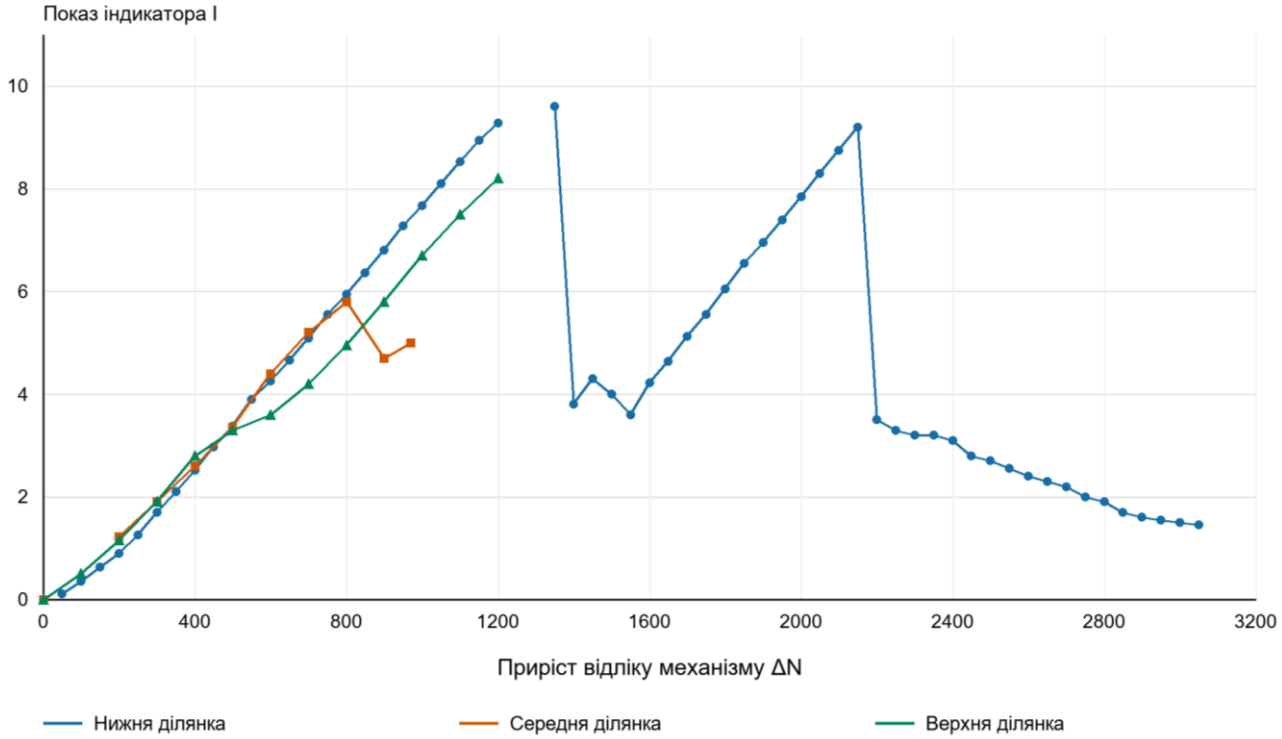



**Рис. 9 –** Зміна показів індикатора під час навантаження нижньої, середньої та верхньої ділянок групи жовтих стебел між робочими поверхнями трикутного профілю. ΔN – приріст відліку механізму від початку відповідного випробування.

У досліджених серіях зареєстровано різні послідовності зміни показів індикатора: зростання зі спадами та повторним навантаженням, а також зростання з подальшою ділянкою незначної зміни показів. Це свідчить про необхідність аналізувати весь запис навантаження, а не лише найбільше зафіксоване значення. Позначки хрускоту доповнюють ці записи, проте самі по собі не визначають ступінь руйнування деревини або збереженість волокнистої складової.

Отримані результати характеризують випробувані групи стебел і є основою для подальшого порівняння профільованих робочих поверхонь. Для встановлення впливу форми профілю необхідні повторні випробування незалежних груп із зіставними діаметрами, станом і вологістю стебел та однаковими умовами навантаження. Вибір профілю для вальцьового вузла також потребує оцінювання результату оброблення – руйнування деревини, відокремлення костриці та збереження волокна.

## ВИСНОВКИ

1. Застосовано пристосування зі змінними профільованими робочими поверхнями для лабораторного дослідження деформування та руйнування груп стебел льону олійного. Послідовне навантаження нижньої, середньої та верхньої ділянок із попереднім вимірюванням діаметрів дозволило отримати записи поведінки відповідних ділянок досліджених груп.

2. В усіх досліджених групах середній діаметр стебел зменшувався від нижньої до верхньої ділянки. Групи також відрізнялися діаметрами між собою, що необхідно враховувати під час зіставлення записів навантаження.

3. Під час навантаження зафіксовано ділянки зростання показів індикатора, окремі спади та подальше повторне зростання. Хрускіт, що супроводжувався спадом показів, розглядали як ознаку локального руйнування стебел у групі. Зареєстровані залежності не визначають кількісно ступінь відокремлення костриці та збереженість волокна.

4. Отримані результати є основою для уточнення програми подальших випробувань профільованих робочих поверхонь. Встановлення раціональної форми профілю потребує незалежних повторень за зіставних характеристик матеріалу, перерахунку показів за калібрувальними залежностями та оцінювання якості обробленої стеблової маси.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Шейченко В.О., Хайліс Г.А. Теорія і розрахунок апаратів для підбирання і обертання: [монографія]/ - Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2014. – 240с.

Ягелюк С.В., Дідух В.Ф. Формування якості льняної продукції : монографія. Луцьк: ЛНТУ, 2021. 140 с.

Головенко Т. М., Налобіна О. О., Пахолюк О. В., Шовкомуд О. В., Березовський Ю. В. Новітні комплексні системи оцінювання якості та обробки льоновмісних матеріалів : монографія. – Луцьк : ЛНТУ, 2024. – 476 с.

Вировець В.Г., Лайко І.М., Мигаль М.Д., Коропченко С.П. Коноплярство: наукові здобутки і перспективи: монографія / за ред. І.О. Маринченка, Guo Chunjing. Суми : ФОП Щербина І.В., 2018. 158 с.

Юхимчук, С. М., Юхимчук, С. Ф., Толстушко, М. М., & Дацюк, Л. М.(2023). Розрахунок брального секції дисковопасового льонобрального апарата. Сільськогосподарські машини, 49, 81-89. https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1023.

Наукові основи застосування льону олійного у легкій промисловості: монографія / Т.М. Головенко, Г.А. Бойко, О.В. Пахолюк, Л.Г. Бартків, О.В. Шовкомуд – Луцьк: ЛНТУ; Хмельницький: ХНТУ, 2025. – 218 с.

Дідух, В. Ф., Альбота, Д. С., & Бодак, М. В. (2023). Дослідження процесу руйнування стебел льону олійного вальцями з трапецієподібними зубцями. Сільськогосподарські машини, 49, 31-38. https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1016.

Dudarev, I., & Say, V. (2020). Development of resource-saving technology of linseed harvesting. Journal of Natural Fibers, 17(9), 1307-1316. https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1558161.

Фурса О., Архип А., Євтушенко В. Придатність соломи олійного для переробки на волокно. Вісник Хмельницького національного університету, №1, 2024 (331). DOI10.31891/2307-5732-2024-331-52 .

Коропченко С.П., Мохер Ю.В., Жуплатова Л.М., Примаков О.А. Промислові коноплі. Збирання та первинна переробка : монографія. Харків: ФОП Бровін О.В., 2024. 92 с. ISBN 978-617-8238-47-6.

Jinke Xu . Analysis and Design of Hemp Fibre Decorticators. Department of Biosystems Engineering University of Manitoba Winnipeg. 2010. s.109.

Дідух, В.Ф., & Щур, Т.Г. (2025). Теплотехнічні процеси перетворення стебел льону олійного у тресту. Сільськогосподарські машини, 51, 73-82. https://doi.org/10.36910/acm.vi51.1885