

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БОДАК МАКСИМ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 631.358:633.521(043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПІДБИРАЧА-РОЗПУШУВАЧА
ВАЛКІВ ДЛЯ РОЗДІЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ ЛЬОНУ
ОЛІЙНОГО

133 Галузеве машинобудування
13 Механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктор філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ М.В. Бодак

Науковий керівник: Дідух Володимир Федорович
д.т.н., професор,
Заслужений діяч науки і техніки України

Луцьк – 2025

АНОТАЦІЯ

Бодак М.В. Обґрунтування параметрів підбирача-розпушувача валків для роздільної технології збирання льону. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Дисертаційна робота присвячена обґрунтуванню параметрів підбирача-розпушувача валків з стебел льону, вирощеного в умовах Західного Полісся України, для реалізації роздільної технології збирання. У роботі враховано природно-кліматичні чинники, які впливають на формування стеблостою льону та зумовлюють застосування роздільної технології його збирання. Встановлено, що у цих умовах, волокно (коротке у льону олійного та довге у льону-довгунця) формується за всією довжиною стебел. Відтак, технологія збирання льону, особливо олійного органічного, повинна бути адаптованою на момент збирання до стану як насінневої, так і стеблової частини врожаю. Польові дослідження з різними сортами льону, зокрема з рекомендованим для зони Західного Полісся України показали, що висота його стеблостою може сягати до 1,0 м і більше. За такої висоти, врожайність соломи перевищує значення 45 ц/га, що ускладнює утилізацію стеблової частини врожаю. Ця проблема стала поштовхом до розгляду можливості застосування роздільної технології збирання льону з низьким зрізом стеблостою, що передбачає збереження солومистої маси шляхом перетворення її у тресту. Дана технологія виключає операцію десикації посівів і передбачає зрізання стеблостою на висоті 30-50 мм роторними косарками у фазі ранньої-жовтої стиглості, при побурінні 70 % насінневих коробочок. Через 8-10 діб завершується дозрівання насінневих коробочок у валках, що дозволяє відокремити насіння та створити умови для перетворення стебел соломи у тресту. Перевагою застосування роторних косарок з шириною захоплення від 1,35 м є утворення валків з вкладених стебел вздовж осі руху агрегата. При цьому відхилення окремих стебел від центральної осі валка не перевищує 17⁰. Для

збереження всього біологічного врожаю льону запропоновано підбирач-розпушувач валків. Доведено, що на якість формування валка роторною косаркою впливає висота зрізання стеблостою, а визначальним показником у роботі різального апарата є зусилля різання стебел. Отримані залежності зусилля різання стебел льону у межах 9,18-21,98 Н від кута різання в окоренковій частині стебел вказують, що у фазі ранньо-жовтої стиглості льону він має бути у межах 30-35°. При цьому зусилля різання відрізняється за висотою різання окоренкової частини стебла, що вказує на різний вміст волокна.

У процесі перетворення стебел у тресту через 8-10 діб валки ущільнюються і прирастають іншими рослинами. Відповідно змінюється профіль валка у поперечному перерізі, відбувається зниження вологості стебел з 50-55% до 12-15%. Тому валки необхідно відривати від поверхні поля та зменшувати їх ущільнення. Кількість доцільних механічних дій на валок у період вилежування залежить від погодних умов. При цьому, за відсутності нічної роси, низький зріз дозволяє стеблам зволожуватися від ґрунту. Результати досліджень прогину і згину валків, зусилля їх розтягу, максимальне значення якого дорівнювало 382 Н, вказують на міцне з'єднання між стеблами за наявності суцвіття, що враховано при розробці експериментального підбирача-розпушувача валків.

Дослідження, проведені на польових ділянках Луцького національного технічного університету, Волинській ДСГДС ІСГ Карпатського регіону НААН (с. Рокині) та виробничих полях агрофірм «Лугове», «Старий Порицьк» протягом 2020-2024рр., вказують на неможливість застосування єдиної технології збирання врожаю льону через суттєву різницю погодних умов у період вегетації рослин і на момент збирання льону. Відповідно, запропонована удосконалена роздільна технологія збирання льону олійного, враховує як фази стиглості, так і врожайність льону на момент збирання.

Проведено теоретичні розрахунки робочих органів підбирального вузла підбирача-розпушувача валків. Встановлено, що ефективність відриву валка від поверхні поля із збереженням його нерозривності при переміщенні до наступних механізмів машин залежить від форми окремих робочих органів підбирального вузла і його приводу. Для узгодження швидкості руху МТА (машинно-

тракторного агрегату) та тягової стрічки підбирального вузла, його привод забезпечують опорно-приводні колеса. Обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри підбирального вузла: діаметр веденого барабана, що обумовлює умови захоплення валка; висоту (50 мм) зубів, розміщених на тяговій стрічці; відстань між зубовими планками (не більше 400 мм). Ширина тягової стрічки залежить від ширини захвату роторної косарки. При ширині захвату роторної косарки 1,65 м перед першим підбиранням валок у поперечному перерізі може мати вигляд сегмента з шириною 100 мм і висотою по краях 50-75 мм. При цьому висота валка по центральній осі коливається у межах 150-200 мм, що впливає на умови захоплення стебел і інтенсивність їх перетворення у тресту.

Для отримання обґрунтування параметрів підбирача-розпушувача валків було проведено багатофакторні експерименти з використанням розробленої експериментальної установки. При встановленні ефективності роботи підбирального вузла були враховані наступні фактори: швидкість руху агрегата, кут нахилу тягової стрічки відносно поверхні поля, відстань між зубовими планками та кількість зубів, розміщених на одній планці. Зменшення щільності валків досліджували залежно від впливу таких факторів, як: частота обертання бітерів розпушувального вузла, висота розміщення обмежуючої решітки відносно вершин бітерних кулачків, вологість стебел на момент розпушення валка. Оброблення даних результатів багатофакторних експериментів дозволила отримати рівняння регресії та оцінити конструктивно-технологічні параметри підбирача-розпушувача валків.

Напрацьовані рекомендації щодо підбирача-розпушувача валків та застосування його у роздільній технології збирання льону з низьким зрізом стеблостою, вирощеного в умовах Західного Полісся України. Показано, що треста з стебел льону є перспективною високоякісною сировиною для багатьох галузей.

Вперше встановлені закономірності впливу конструктивно-кінематичних параметрів запропонованого підбирача-розпушувача валків на якість виконання технологічних процесів підбирання і зниження ущільнення валків.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробленні нової конструювальної схеми підбирача-розпушувача валків для роздільної технології збирання льону, зокрема органічного, що забезпечує збереження всього біологічного врожаю льону.

Запропоновані методики проведення експериментальних досліджень з визначення зміни параметрів валків при вилежуванні у польових умовах, впливу регульованих параметрів підбирача-розпушувача валків та його робочих органів на ефективність виконання процесу збирання льону з використанням стандартного та розробленого обладнання.

Технічна новизна виконаних розробок захищена 4 деклараційними патентами України на корисні моделі.

Отримані наукові та практичні результати, методики й рекомендації щодо застосування підбирача-розпушувача валків у роздільній технології збирання льону з низьким зрізом стеблостою переданні у ТОВ «Старий Порицьк» (Волинська обл.) і Волинській ДСГДС ІСГ Карпатського регіону НААН (с. Рокині), ТОВ «КОМПАНІЯ АЛТЕКС».

Окремі результати роботи впроваджено в навчальний процес з підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня магістр за спеціальністю 208 «Агроінженерія» для викладання дисципліни «Проектування інноваційних технологій та обладнання АПВ» та з підготовки фахівців освітньо-наукового рівня доктор філософії за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» для викладання освітньої компоненти «Сучасні напрями розвитку техніки та технологій АПК» в Луцькому національному технічному університеті.

Ключові слова: збирання, підбирач-розпушувач, вузол, зуби, бітер, кулачок, льон, насіння, стебло, валок, прогин, згин, зусилля, тертя, сила.

Статті в наукових фахових виданнях України

1. Дідух В. Ф., Буснюк В. В., Бодак М. В. Обґрунтування обладнання для збирання льону олійного зернозбиральним комбайном. *Збірник наукових праць «Центральноукраїнський науковий» вісник. Технічні науки.* 2022. № 5 (36). С. 226–235.

2. Альбота Д. С., Бодак М. В., Дідух В. Ф. Обґрунтування конструкції підбирача валків льону олійного для роздільної технології. *Сільськогосподарські машини*. 2022. №48. С. 30–37. DOI:<https://doi.org/10.36910/acm.vi48.780>.

3. Дідух В. Ф., Альбота Д. С., Бодак М. В. Дослідження процесу руйнування стебел льону олійного вальцями з трапецеподібними зубами. *Сільськогосподарські машини*. 2023. №49. С. 31–38. DOI:<https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1016>.

4. Бодак М. В., Дідух В. Ф. Експериментальні дослідження процесу підбирання валків з стебел льону. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. № 46. С. 212–219.

Стаття у періодичному виданні, проіндексована у базах даних Web of Science Core Collection and Scopus

5. Didukh V., Yaheliuk S., Bodak V., Bodak M. & Yaheliuk O. Pulling device for harvesting of Oleaginous Flax. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2024. Vol. 30, No 3. P. 539–546.

Тези наукових доповідей

6. Бодак М. В., Дідух В. Ф. Аналіз технологій збирання льону олійного в умовах Полісся. *Науковий збірник «Студентський науковий вісник»*. Вип. 44. ч.2 (м. Луцьк, грудня 2021 р.). Луцьк, 2021. С. 68–73.

7. Дідух В. Ф., Бодак М. В. Вибір способу збирання льону олійного для збереження волокна. *The 4th International scientific and practical conference “Eurasian scientific discussions”*. 2022. С.11–17.

8. Бодак М. В., Дідух В. Ф. Перспективи використання волокна льону олійного у текстильній галузі. *Якість та безпечність товарів : зб. матеріалів VI Міжнар. наук.-практ. конф., (м. Луцьк, 13 травня 2022 р.)*. Луцьк, 2022. С. 98–100.

9. Бодак М. В. Механізація збирання льону олійного. *Інноваційні технології в АПК: зб. тез доп. IX Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Луцьк, 7-8 червня 2023 р.)*. Луцьк, 2023. С. 14–15.

10. Бодак М.В., Дідух В.Ф. Роздільна технологія збирання льону з низьким зрізом стеблостою як спосіб збереження волокна. *Сучасні проблеми землеробської механіки*: зб. тез доп. XXV Міжнар. наук конф. (м. Київ, 17-19 жовтня 2024 р.). Київ, 2024. С. 166–168.

11. М. Бодак. Технологія отримання трести льону для виробництва порошу. *Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні* : тези IV студ. наук.-техн. конф. (м. Луцьк, 15 листопада 2024р.). Луцьк, 2024. С. 65–67.

12. Бодак В. І., Дідух В. Ф. Підбирач-розпушувач для інтенсифікації перетворення соломи льону у тресту. *Інноваційні технології в АПК*: зб. тез доп. X Міжнар. наук.-прак. конф. Луцьк, 2025. С. 13–16.

13. М. Бодак, В Дідух. Підбирач валків льону олійного. *«Крамаровські читання»*: XII Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Київ, 20-21 лютого 2025р.). Київ, 2025. С. 284–286.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

14. Бральний апарат для збирання льону олійного: пат. 129695 Україна: МПК А01D 45/06, А01F 11/02(2006.01). заявл. 25.04.2018; опубл. 12.11.2018, Бюл. № 21. 3 с.

15. Спосіб збирання льону олійного: пат. 153643 Україна: МПК А01D 91/04, А01D 45/06 (2006.01) заявл. 06.02.2023; опубл. 02.08.2023, Бюл. № 31. 3 с.

16. Машина для підбирання валків льону олійного: пат. 147778, МПК А01D 45/06, А01D 82/00, (2006.01). заявл. 15.02.2021; опубл. 09.06.2021 Бюл. 23. 4 с.

17. Машина для підбирання валків льону олійного: пат. 155841, МПК А01D 45/06, А01D 82/00, (2006.01). заявл. 13.02.2023; опубл. 17.04.2024 Бюл. 16. 4 с.

ANOTATION

Bodak M. V. Justification of the parameters of the windrow picker-biter for the separate technology of oil flax harvesting – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Dissertation for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences (PhD) in specialty 133 " Industrial engineering " (13 – Mechanical engineering). – Lutsk National Technical University, Lutsk, 2025/

The dissertation work is devoted to the justification of the parameters of the picker-looser of rolls from flax stalks grown in the conditions of Western Polissya of Ukraine, for the implementation of separate harvesting technology. The work takes into account natural and climatic factors that affect the formation of flax stalks and determine the use of separate harvesting technology. It was established that under these conditions, fiber (short in oil flax and long in long-stem flax) is formed along the entire length of the stems. Therefore, the technology of harvesting flax, especially organic oil flax, must be adapted at the time of harvesting to the condition of both the seed and stem parts of the crop. Field studies with different varieties of flax, in particular with the one recommended for the Western Polissya zone of Ukraine, have shown that the height of its stalk can reach 1.0 m or more. At this height, the straw yield exceeds 45 c/ha, which complicates the utilization of the stem part of the crop. This problem prompted consideration of the possibility of using a separate technology for harvesting flax with a low stem cut, which involves preserving the straw mass by converting it into straw. This technology eliminates the technological operation of crop desiccation and involves cutting the stalk at a height of 30-50 mm with rotary mowers in the early yellow ripeness phase, when 70 % of the seed pods have turned brown. After 8-10 days, the ripening of the seed pods in the rolls is completed, which allows you to separate the seeds and create conditions for converting the straw stems into straw. The advantage of using rotary mowers with a gripping width of 1.35 m or more is the formation of rolls from the nested stems along the axis of movement of the unit. At the same time, the deviation of individual stems from the central axis of the swath does not exceed 17⁰. To preserve the entire biological yield of flax, a swath picker-loosener is proposed. It has been proven that the quality of swath formation by a rotary mower is affected by the height of cutting the stalk, and the determining indicator in the operation of the cutting device is the cutting force of the stems. The obtained dependences of the cutting force of flax stems within 9.18-21.98 N on the cutting angle in the root part of the stems indicate that in the phase of early yellow ripeness of flax it should be within

30-35⁰. At the same time, the cutting force differs in the height of cutting the root part of the stem, which indicates a different fiber content.

In the process of transforming the stems into a trust, the swaths are compacted and overgrown with other plants after 8-10 days. Accordingly, the profile of the swath in the cross section changes, the moisture content of the stems decreases from 50-55% to 12-15 %. Therefore, the swaths must be torn off the field surface and their compaction reduced. The number of appropriate mechanical actions on the swath during the aging period depends on weather conditions. At the same time, in the absence of night dew, a low cut allows the stems to be moistened from the soil. The results of studies of the deflection and bending of the swaths, their tensile force, the maximum value of which was 382 N, indicate a strong connection between the stems in the presence of inflorescences, which was taken into account when developing an experimental swath picker-loosener

Research conducted in the field areas of Lutsk National Technical University, Volyn DSGDS ISG of the Carpathian region of the NAAS (village Rokyny) and production fields of agricultural firms "Lugovoe", "Stary Porytsk" during 2020-2024, indicate the impossibility of using a single technology for harvesting flax due to the significant difference in weather conditions during the vegetation period of plants and at the time of harvesting flax. Accordingly, an improved separate technology for harvesting oil flax has been proposed, taking into account both the phases of ripeness and the yield of flax at the time of harvesting. Theoretical calculations of the working bodies of the picking unit of the windrow picker-loosener have been carried out. It has been established that the efficiency of separating the windrow from the field surface while maintaining its integrity when moving to subsequent machine mechanisms depends on the shape of the individual working bodies of the picking unit and its drive. To coordinate the speed of the MTA (machine-tractor unit) and the traction belt of the pick-up unit, its drive is provided by the support and drive wheels. The design and technological parameters of the pick-up unit are substantiated: the diameter of the driven drum, which determines the conditions for capturing the swath; the height (50 mm) of the teeth placed on the traction belt; the distance between the tooth bars (no more than 400 mm). The width of the traction belt depends on the width of the rotary

mower's grip. With a width of the rotary mower's grip of 1.65 mm before the first pick-up, the swath in cross section can have the form of a segment with a width of 100 mm and a height at the edges of 50-75 mm. At the same time, the height of the swath along the central axis varies within 150-200 mm, which affects the conditions for capturing the stems and the intensity of their transformation into straw.

To obtain a justification for the parameters of the windrow picker-looser, multifactorial experiments were conducted using the developed experimental setup. When establishing the efficiency of the picking unit, the following factors were taken into account: the speed of the unit, the angle of inclination of the traction belt relative to the field surface, the distance between the tooth bars and the number of teeth placed on one bar. The decrease in the density of the rolls was studied depending on the influence of such factors as: the frequency of rotation of the beaters of the loosening unit, the height of the limiting grid relative to the tops of the beater cams, the moisture content of the stems at the time of loosening the roll. Processing the data from the results of multifactorial experiments allowed us to obtain a regression equation and evaluate the design and technological parameters of the windrow picker-looser.

Recommendations were developed for the windrow picker-looser and its application in the separate technology of harvesting flax with a low stalk cut, grown in the conditions of Western Polissya of Ukraine. It has been shown that flax stalk pulp is a promising high-quality raw material for many industries.

For the first time, the patterns of influence of the structural and kinematic parameters of the proposed roller picker-looser on the quality of the technological processes of picking up and reducing roller compaction have been established.

The practical significance of the results obtained lies in the development of a new layout scheme of the roller picker-looser for the separate technology of harvesting flax, in particular organic, which ensures the preservation of the entire biological harvest of flax.

Methods for conducting experimental studies to determine the change in roller parameters during aging in field conditions, the influence of the adjustable parameters of the roller picker-looser and its working bodies on the efficiency of the flax harvesting process using standard and developed equipment are proposed.

The technical novelty of the performed developments is protected by 4 declarative patents of Ukraine for utility models.

Scientific and practical results, methods and recommendations on the use of a windrow picker-loosener in the separate technology of flax harvesting with a low-cut stalk transfer were obtained at LLC "Staryy Porytsk" (Volyn region) and the Volyn DSGDS ISG of the Carpathian region of the NAAS (village Rokyny), LLC «KOMPANIA ALTEKS».

Some results of the work were implemented in the educational process for training specialists of the educational and qualification level of Master in specialty 208 "Agroengineering" for teaching the discipline "Design of innovative technologies and equipment of agricultural machinery" and for training specialists of the educational and scientific level of Doctor of Philosophy in specialty 133 "Industrial mechanical engineering" for teaching the educational component "Modern directions of development of agricultural machinery and technologies" at Lutsk National Technical University.

Keywords: harvesting, picker-ripeners, knot, teeth, beater, cam, flax, seed, stem, swath, deflection, bend, effort, friction, force.

LIST OF THE EXTERNAL PhD STUDENTS PUBLICATIONS

Scientific works, in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Didukh V. F., Busnyuk V. V., Bodak M. V. Justification of equipment for harvesting oilseed flax with a combine harvester. *Collection of scientific papers "Central Ukrainian Scientific Bulletin". Technical Sciences.* 2022. No. 5 (36). Pp. 226–235.

2. Albota D. S., Bodak M. V., Didukh V. F. Substantiation of the design of a picker of oil flax rolls for separation technology. *Agricultural machinery.* 2022. No. 48. P. 30–37. DOI: <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.780>.

3. Didukh V. F., Albota D. S., Bodak M. V. Investigation of the process of destruction of oil flax stalks by rollers with trapezoidal teeth. *Agricultural Machinery.* 2023. No. 49. P. 31–38. DOI: <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1016>.

4. 4. Bodak M. V., Didukh V. F. Experimental studies of the process of picking up rolls from flax stalks. *Podolskyi visnyk: agriculture, technology, economics*. 2025. No. 46. pp. 212–219.

5. Didukh V., Yaheliuk S., Bodak V., Bodak M. & Yaheliuk O. Pulling device for harvesting of Oleaginous Flax. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2024. Vol. 30, No 3. P. 539–546.

Publised works certifying the testing of materials of the dissertation:

6. Bodak M. V., Didukh V. F. Analysis of technologies for harvesting oil flax in the conditions of Polissya. *Student Scientific Bulletin: Scientific Collection*. Issue 44. Part 2 (series - natural and technical sciences), (Lutsk, December 2021). Lutsk, 2021. P.68–73.

7. Didukh V. F., Bodak M. V. Choosing a method for harvesting oil flax to preserve fiber. *The 4th International scientific and practical conference “Eurasian scientific discussions”*. 2022. P.11–17.

8. Bodak M. V., Didukh V. F. Prospects for using oil flax fiber in the textile industry. *Quality and safety of goods: collection of materials VI International Scientific and Practical Conference*, (Lutsk, May 13, 2022). Lutsk, 2022. P. 98–100.

9. Bodak M. V. Mechanization of oilseed flax harvesting. *Innovative technologies in agro-industrial complex: collection of abstracts of the IX International Scientific and Practical Conference* (Lutsk, June 7-8, 2023). Lutsk, 2023. P. 14–15.

10. Bodak M. V., Didukh V. F. Separate technology for harvesting flax with low stalk cutting as a way to preserve fiber. *Modern problems of agricultural mechanics: Collection of abstracts of the XXV International Scientific Conference* (Kyiv, October 17-19, 2024). Kyiv, 2024. P. 166–168.

11. M. Bodak. Technology for obtaining flax straw for gunpowder production. *Modern technologies in agricultural production and environmental management: Theses of the IV stud. NTK* (Lutsk, November 15, 2024). Lutsk, 2024. P.65–67.

12. Bodak V. I., Didukh V. F. Picker-ripenener for intensification of flax straw transformation into straw. *Innovative technologies in agro-industrial complex: collection of abstracts of the 10th International Scientific and Practical Conference*. Lutsk, 2025. pp. 13–16.

13. M. Bodak, V. Didukh. Picker of oil flax rolls. "*Kramarov's readings*": XII International Scientific and Technical Conference (Kyiv, February 20-21, 2025). Kyiv, 2025. P. 284–286.

Publications that further reflect scientific results of the dissertation

14. Oil flax harvesting device: pat. 129695 Ukraine: MPK A01D 45/06, A01F 11/02 (2006.01). appl. 25.04.2018; publ. 12.11.2018, Bull. No. 21. 3 p.

15. Oil flax harvesting method: pat. 153643 Ukraine: MPK A01D 91/04, A01D 45/06 (2006.01) appl. 06.02.2023; publ. 02.08.2023, Bull. No. 31. 3 p.

16. Oil flax harvesting machine: pat. 147778, MPK A01D 45/06, A01D 82/00, (2006.01). appl. 15.02.2021; publ. 09.06.2021, Bull. 23. 4 p.

17. Machine for picking up rolls of oil flax: pat. 155841, MPK A01D 45/06, A01D 82/00, (2006.01). appl. 13.02.2023; publ. 17.04.2024, Bull. 16. 4 p.

ВСТУП

Сьогодні світовий ринок потребує збільшення обсягів постачання продукції льонарства у вигляді насіння і натурального волокна, які є сировиною для виробництва товарів різного функціонального призначення. На особливу увагу заслуговує лляна сировина органічного походження. Основною продуктивною частиною льону олійного вважається насіння, з якого отримують олію. Її широко використовують в медицині, миловарінні, парфумерії, лакофарбовій, автомобільній та авіаційній промисловості. Насіння органічного походження є незамінним складником багатьох харчових продуктів. Не менш важливою складовою льону олійного є його стеблова частина врожаю, з вмістом до 25% короткого волокна. Коротке волокно і кострицю можна використовувати при виготовленні паперу, меблевих плит, внутрішніх панелей автомобілів, для зміцнення дорожніх укосів, для збереження цілісності саджанців в сільському господарстві [4, 107]. Енергетичний потенціал стебел льону олійного близький до енергетичного потенціалу твердих порід дерев і становить 18 МДж/кг [71]. Не менш важливим є перероблення волокна на целюлозу [61]. Проте, використанню стеблової частини врожаю льону олійного приділяється недостатня увага. При вирощуванні льону олійного стеблову масу подрібнюють і приорюють чи спалюють.

Світовим лідером з вирощування льону олійного тривалий час був Казахстан, який у 2018 році виробив 719 тис. т. насіння. Згідно з офіційною інформацією від Статистичного комітету в поточному році врожай льону досяг 933,5 тис. тон, що є абсолютним рекордом. Підвищеному збору посприяло розширення посівних площ з 0,87 млн га до 1,1 млн. га, а також підвищення врожайності з 0,8 т/га до 0,87 т/га. Основними імпортерами льону за звітний період стали Бельгія (36 тис. тон) і Польща (трохи більше 13 тис. тон) [136].

В Україні льон олійний традиційно вважався сільськогосподарською культурою південної і східної частини країни. Зміна кліматичних умов через підвищення температури на 500 км на північ дозволяє отримувати високі врожаї насіння льону по всій території країни [78]. При цьому у стеблах, вирощених у північних регіонах України, формується високоякісне коротке волокно,

реалізація якого може суттєво підвищити ефективність вирощування льону олійного.

Актуальність теми. Відродження галузі льонарства на територіях, що тривалий час були базовими для отримання довгого волокна з льону-довгунця, необхідно розпочинати з вирощування льону олійного. Доведення посівних площ під льон олійний до виробничих масштабів на територіях Полісся України стримується через проблему вибору раціонального способу збирання врожаю і збереження стеблової маси. Вважається, що за умови перетворення соломи стебел льону олійного у тресту, наявне у ній коротке волокно придатне лише для виробництва кручених виробів, нетканих матеріалів, а також для текстильних виробів технічного призначення [4, 11, 48, 96, 107]. У випадку пізніх строків збирання трести і втрати якості волокна, із залишків стеблової маси можна виготовляти лише паливні матеріали [113].

Зміна кліматичних умов через підвищення температур наклала відбиток на галузь рослинництва загалом та інших сільськогосподарських культур, зокрема. При цьому негативний вплив високих температур прослідковується на різних етапах вегетаційного періоду, особливо у період збирання. Відтак, на територіях Західного Полісся України, збирання льону олійного проводять в період ранньо-жовтої стиглості, при побурінні 75% насінневих коробочок. Для завершення процесу визрівання насіння, передбачена обробка посівів десикантами [30, 68, 70, 76, 78], що є не припустимим для отримання органічної продукції. Більш пізні терміни збирання ускладнюють процеси прямого комбайнування через проблеми у роботі сегментно-пальцевого різального апарату або очісувальної жатки. Спроби застосувати технічні засоби, що проводять брання стебел, не знайшли виробничого застосування. Для збирання органічного льону, як правило, використовується роздільна технологія збирання. Така технологія передбачає зрізання стеблостою на висоті 12-15 см з подальшим вилежуванням і обмолочуванням валків [37]. При цьому врожай стеблової маси втрачається, його, як правило, подрібнюють і заорюють.

Таким чином, підвищення рентабельності вирощування льону олійного залежить від технології, що передбачає збереження якісних і кількісних

параметрів насіння та волокна. Це є актуальною задачею, яка пов'язана із вдосконаленням і розробленням технічного забезпечення для збирання льону олійного у фазі ранньої жовтої стиглості, з врахуванням агрокліматичних умов вирощування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, які є основою дисертаційної роботи, виконані у Луцькому національному технічному університеті в 2021-2025 рр. відповідно до Програми розвитку інфраструктури у Волинській області на 2019-2022 роки та Регіональної програми „Льонарство – інноваційні пропозиції щодо комплексного рішення від посіву льону-довгунця до отримання готових виробів” від 15.05.2009 №29/16 і згідно з тематичними планами науково-дослідних робіт Луцького національного технічного університету, зокрема теми «Рециклінгові технології збирання та первинної переробки біомаси олійних луб'яних культур» (№ д/р 0121U109763), що фінансувалась у 2021-2023 рр. за рахунок коштів з державного бюджету.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є підвищення якості збирання льону за роздільною технологією на основі розроблення конструкції та обґрунтування параметрів і режимів роботи підбирача-розпушувача валків льону.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати способи збирання льону, відомі конструкції підбирачів, виявити недоліки та запропонувати способи і засоби їх усунення;
- встановити вплив параметрів стеблостою льону олійного та льону-довгунця, вирощених в умовах Західного Полісся України на процес формування валків у роздільній технології збирання льону з низьким зрізом стеблостою;
- на основі аналізу відомих компоновальних та конструктивних схем підбирачів сільськогосподарських рослинних матеріалів, розробити експериментальний підбирач-розпушувач валків льону;
- обґрунтувати конструктивні і кінематичні параметри робочих органів підбирача-розпушувача валків льону;

- отримати аналітичні залежності для визначення раціональних конструктивних параметрів робочих елементів конструкції підбирального вузла для забезпечення ефективного відриву валка від поверхні поля;

- встановити закономірності зміни щільності валка льону залежно від конструктивних і кінематичних параметрів розпушувального вузла;

- розробити та виготовити експериментальні установки, вдосконалити методики експериментальних досліджень підбирання валків льону з стебел, розташованих вздовж осі валка, з врахуванням фази їх стиглості;

- провести випробування експериментального підбирача-розпушувача валків, визначити якість підбирання валків та вплив зменшення щільності на ефективність перетворення стебел соломи у тресту та виробити рекомендації виробництву.

Об'єкт дослідження – робочі органи підбирача-розпушувача валків льону та валки стебел льону.

Предмет дослідження – закономірності впливу параметрів робочих органів підбирача-розпушувача валків льону та параметрів валка стебел льону на процес його підбирання.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводились з використанням основних положень аналізу технологічних процесів, використанням методів механіко-математичного моделювання, вищої математики, класичної механіки, вибору раціональних технічних рішень.

Експериментальні дослідження проводились відповідно до галузевих та за розробленими методиками на стандартизованому та спеціально спроєктованому і розробленому обладнанні й приладах. Оцінювання якості лляної соломи, трести, волокна здійснювали за загальноприйнятими методиками відповідно до ДСТУ 4511: 2006 «Льон довгунець Терміни та визначення понять», ДСТУ 4149:2003. «Треста лляна. Технічні умови» та ДСТУ 5015:2008. ДСТУ SEN ISO/TS 17892-1:2007. ДСТУ 4015-2001 Льон тіпаний. Технічні умови. Під час проведення експериментальних досліджень застосовували математичний метод планування експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів.

На основі виведених аналітичних залежностей вперше обґрунтовано раціональні конструктивні і кінематичні параметри підбирача-розпушувача валків стебел льону, розміщених вздовж осі валка.

Встановлено силові параметри взаємодії бітерних кулачків розпушувального вузла при переміщенні нерозривного потоку стеблової маси льону на поверхню поля для інтенсифікації процесу отримання трести.

Вперше розроблено математичну модель пружної взаємодії між стеблами льону, в умовах прогину-згину, при відриванні валка від поверхні поля зубами підбирального вузла і фіксації потоку стебел зубами на плоскій ділянці тягової стрічки.

В моделі, з використанням принципу Гамільтона, визначені напруження у стеблах під дією бітерних кулачків та інші біжучі параметри пружної взаємодії тіл. Особливістю моделі є встановлення змін вказаних параметрів у часі, що дозволяє моделювати процес в режимі обчислюваного експерименту. Наведено залежності зміни контактних сил у часі, а також приклади зміни кінематики масиву стебел при початкових кутових та тангенціальних швидкостях бітерних кулачків розпушувального вузла.

Вперше встановлені закономірності впливу конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів підбирача-розпушувача на якість виконання технологічного процесу.

Практичне значення отриманих результатів. Запропонована нова конструкція підбирача-розпушувача валків льону. Розроблені компоновальні схеми встановлення підбирального вузла на збиральні машини.

Розроблено та виготовлено експериментальні установки для моделювання процесу підбирання валків з врахуванням фази стиглості стебел, з метою забезпечення нерозривності потоку при переміщенні плоскою ділянкою тягової стрічки підбирального вузла підбирача-розпушувача валків льону.

Запропоновані методики проведення експериментальних досліджень з визначення впливу параметрів механізмів та їх робочих елементів на стан стебел з використанням стандартного та розробленого обладнання.

Отримані рівняння регресії, що описують ефективність роботи підбирального вузла та зміну щільності валка після проходження підбирача-розпушувача.

Технічна новизна виконаних розробок захищена 4 деклараційними патентами України на корисні моделі.

Отримані наукові та практичні результати, методики й рекомендації, а також експериментальний підбирач-розпушувач валків впроваджено у ТОВ «Старий Порицьк» (Волинська обл.) та Волинській ДСГДС ІСГ Карпатського регіону НААН (с. Рокині), ТОВ «КОМПАНІЯ АЛТЕКС».

Окремі результати роботи впроваджено в навчальний процес підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня магістр за спеціальністю 208 «Агроінженерія» для викладання дисциплін «Проектування інноваційних технологій та обладнання для АПВ» та підготовки фахівців освітньо-наукового рівня доктора філософії за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» для викладання дисципліни «Сучасні напрями розвитку техніки та технологій АПК» у Луцькому національному технічному університеті.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи автор отримав самостійно. У працях [1, 2, 4, 5, 7, 8], опублікованих у співавторстві, здобувач теоретично обґрунтував основні конструктивні параметри підбирача-розпушувача валків, його робочих елементів при взаємному розміщенні, а також силові параметри при взаємодії робочих елементів в момент відривання валка від поверхні ґрунту або вкладання на поле розпушеного валка.

У публікаціях [3, 4, 6, 9 - 12] здобувачем запропоновано конструктивне виконання підбирача-розпушувача валків та його елементів, наведені методики, проведені експериментальні дослідження та здійснено обробку їх результатів.

За матеріалами досліджень у співавторстві отримано 4 деклараційних патенти України на корисні моделі [13-16], частка авторів в яких є однаковою.

Апробація результатів дисертації. Результати та основні положення дисертації було представлено та обговорено на студентській науковій конференції ЛНТУ у жовтні 2021 р.; на IV-ій Міжнародній НПК м. Барселона:

The 4th International scientific and practical conference “Eurasian scientific discussions” (May 8-10, 2022) Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2022. 403 p. С.11-17 ISBN 978-84-15927-32-7; на VI-ій Міжнародній НПК для молодих учених та студентів «Якість та безпечність товарів» (Луцьк 13 травня 2022 року); на IX-ій Міжнародній науково-практичній конференції (7-8 червня 2023 р., м. Луцьк); на XXV-ій Міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (17-19 жовтня 2024 р. м. Київ); на IV-ій студентській науково - технічній конференції «Сучасні технології в агровиробництві та природокористуванні» (15 листопада 2024р..м.Луцьк); на XI-ій МНТК «Крамаровські читання» (20 - 21 лютого 2025р. м. Київ).

Публікації. Основні положення дисертації викладено у 17 наукових працях, у тому числі статтях у фахових наукових виданнях – 5 (в тому числі одна у збірнику, що входить до наукометричної бази Scopus), патентів України на корисні моделі – 4, матеріалів доповідей на конференціях – 8.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 140 найменувань, з яких 21 іноземною мовою та 10 додатків. Основна частина роботи викладена на 149 сторінках, містить 66 рисунків і 16 таблиць.

ЗМІСТ

ВСТУП	14
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	24
1.1. Особливості вирощування льону олійного.....	24
1.2. Аналіз технологій та засобів збирання льону олійного.....	32
1.3. Вплив будови стебел льону на взаємодію з робочими органами збиральних машин	36
1.4. Аналіз конструкцій підбирачів і теоретичних досліджень механізації підбирання сільськогосподарських рослинних матеріалів.....	39
Висновки до розділу 1.....	48
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПІДБИРАЧА-РОЗПУШУВАЧА ДЛЯ РОЗДІЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО	50
2.1. Обґрунтування фізичної моделі валка зі стебел льону при зрізанні стеблостою роторною косаркою	50
2.2. Аналіз взаємодії підбирального вузла з валками при відриванні від поверхні поля	56
2.3. Компонування конструкції підбирача-розпушувача валків для приготування трести з льону	60
2.4. Обґрунтування форми зуба та його кінематичних параметрів	65
2.5. Математичне моделювання кривої валка з урахуванням прогину та згину	71
2.6. Математична модель взаємодії стеблової маси у валку з розпушувальним вузлом	78
Висновки до розділу 2.....	84
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	86
3.1 Програма експериментальних досліджень.....	86
3.2 Лабораторне устаткування	87

3.3.	Компонувальна схема експериментального підбирача-розпушувача валків.....	91
3.4	Методика оцінювання якості стеблостою.....	93
3.5	Методика визначення зусиль, які виникають при формуванні валків за роздільною технологією збирання льону.....	95
3.6	Методика визначення прогину і згину валків та кута прогину стебел.....	97
3.7	Методика визначення зусилля з'єднання стебел у валках	98
3.8	Методика визначення якості волокна льону.....	100
3.9	Методика проведення експериментальних досліджень з визначення якості підбирання валків і зменшення їх щільності ...	101
3.10	Статистичне оброблення результатів досліджень.....	106
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ...		108
4.1	Аналіз результатів оцінювання стеблостою льону на етапі його збирання.....	108
4.2	Результати визначення зусиль, які виникають при формуванні валків за роздільною технологією збирання льону.....	113
4.3	Результати досліджень прогину стебел льону з врахуванням періодів вилежування на полі.....	117
4.4	Результати досліджень прогину і згину валків.....	119
4.5	Результати досліджень зусилля розтягу верхівкової частини стебел льону.....	122
4.6	Аналіз зусиль, які виникають при зчепленні стебел внаслідок вилежування валків.....	123
4.7	Результати оцінювання якості лляного волокна.....	126
Висновки до розділу 4.....		128
РОЗДІЛ 5. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....		131

5.1.	Обґрунтування роздільної технології збирання льону, вирощеного в умовах Західного Полісся України та технічних засобів для неї.....	131
5.1.1.	Вплив параметрів технологічного процесу на якість підбирання валків.....	134
5.1.2.	Вплив параметрів технологічного процесу на зменшення щільності валків льону.....	137
5.2.	Перспективи використання стеблової частини врожаю льону.....	140
5.3.	Використання запропонованого підбирального вузла при реалізації роздільної технології з низьким зрізом стеблостою льону.....	143
	Висновки до розділу 5.....	146
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	147
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	150
	ДОДАТКИ.....	164

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Особливості вирощування льону олійного

Понад 10 тис. років льон займає важливе місце серед технічних сільськогосподарських культур. Відомості про використання льону сягають 5 тис. років до н. е. У Єгипті знайдені мумії, обгорнуті полотном льону. Через особливі умови вирощування, широкого поширення льон набув у Китаї, Індії, країнах Закавказзя. В Європі льонарство поширилось з Риму. Основною продукцією з льону була олія та волокно, які цінувались за високі якісні показники. Олія цінувалась за смакові та лікувальні властивості, а з волокна льону виготовляли тканину від найтоншого батисту до вітрил і грубого одягу.

Серед видів льону виробниче значення має лише один вид - льон звичайний (культурний) - *Linum usitatissimum* L, який поділяють на п'ять підвидів за ботанічною класифікацією [20]. Льон олійний поєднує дві групи: льон-кучерявець і льон-межеумок (рис.1.1).

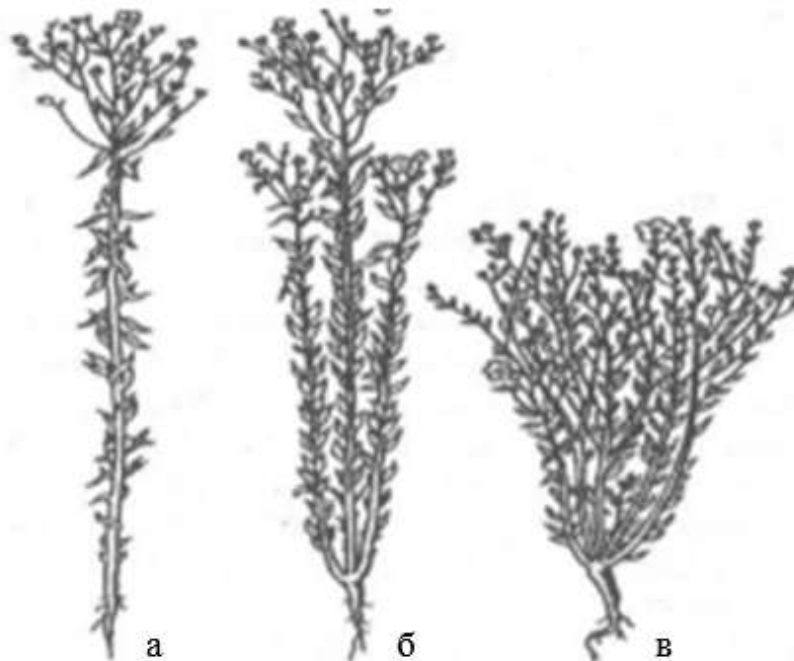


Рисунок 1.1 - Стебла льону олійного: а, б - межеумок; в - кучерявець[3]

Характерною особливістю льону олійного є розгалуження верхівкової частини стебла. На його стеблах формується у 20 разів більше насіннєвих коробочок порівняно з льоном-довгунцем. Льон-кучерявець найбільше поширений у країнах Середньої Азії та Кавказу, з нього отримують лише насіння. У випадку вирощування льону-межеумку можливе комплексне використання врожаю: як насіння так і стеблової маси. Для стебел льону-межеумку характерне видовження, його окремі сорти галузяться від кореневої системи. Окрім високоякісного насіння, у стеблах льону-межеумку наявне коротке (до 50 мм), неорієнтоване волокно. Основні ознаки груп льону олійного представлено у табл.1.1.

Таблиця 1.1 - Основні ознаки груп льону олійного [20]

Ознаки	Кучерявець	Межеумок
Маса 1000 насіння, г	до 8	до 6
Вміст олії в насінні, %	до 45	до 42
Гілкування стебла	сильне	незначне
К-ть стебел на рослині, шт.	4-5	1-2
К-ть плодів на рослині, шт.	30-60	15-20
Висота рослин, см	30-50	50-75

Представленні у табл.1.1 значення ознак характерні для льону-межеумку, вирощеного в посушливих умовах Півдня України. Значний потенціал біологічної врожайності насіння у межах 25 ц/га з високим вмістом олії зумовив функціональність на його збереження при збиранні. Оскільки, висота рослин у природних зонах з недостатньою кількістю вологи може досягти лише 45 см, то при зрізанні стеблостою на висоті 120-150 мм волокнисто-стеблової маси фактично не залишається. Якщо звернути увагу на основні ознаки льону-межеумку (рис.1.1), то вони вказують на подібність його стебел до стебел льону-довгунця. Тому, за наявності достатньої вологи може формуватися значно вища його стеблова частина.

Останнім часом в світі спостерігається тенденція до збільшення посівів льону олійного. На сьогодні він займає понад 3,5 млн га посівних площ у світі. Найбільші площі вирощування льону олійного в США (1360 тис. га), Канаді (812 тис. га), Індії (930 тис. га), Аргентині (101 тис. га). В країнах Європи та Африки діють державні та міждержавні цільові програми: “Саксонський льон” (Німеччина), ”Скандинавський льон” (Фінляндія, Швеція, Данія), ”Південно-Африканський льон ” тощо [105].

Вирощування льону олійного не потребує великих затрат. Воно обходиться в 1,1-1,3 рази дешевше порівняно з виробництвом насіння соняшнику. Рентабельність стає позитивною за ціни у 12 тис. грн/т та врожайності 0,7-0,8 т/га. Льон олійний посухостійка культура [70]. Будова та безперервний ріст кореневої системи вглиб ґрунту майже до кінця вегетації дозволяє рослині черпати вологу з глибших шарів ґрунту і витримати посушливі періоди, забезпечуючи високі врожаї насіння (15-25 ц/га). Короткий вегетаційний період (80-105 днів) дозволяє збирати врожай в кінці липня, що робить його одним з найкращих попередників для озимих культур.

В Україні останні роки спостерігалось значне зменшення площ вирощування льону олійного, незважаючи на виведення сортів з підвищеною олійністю насіння до 49%. Його намагаються вирощувати переважно у південній та східній частинах держави (Дніпропетровська, Запорізька, Миколаївська, Херсонська області).

Зміна кліматичних умов, коливання цін на ринках впливають на ситуацію щодо відродження галузі льонарства. Неприємна динаміка зміни посівних площ під льон олійний спостерігалась з 2017 по 2022 рік (рис.1.2). Однак згідно з даними УкрАгроКонсалт [138] вже у 2022/23 маркетинговому році (МР) посівна площа олійного льону повернулась до рівня 2018 року і склала 33,1 тис. га (+20% до 2021/22 МР), що є максимальним за останні п'ять років. Негативним явищем при цьому є падіння врожайності насіння, що склала лише 0,86 т/га (-44% до рекордного 2021/22 МР) та стала мінімальною за останні чотири роки.

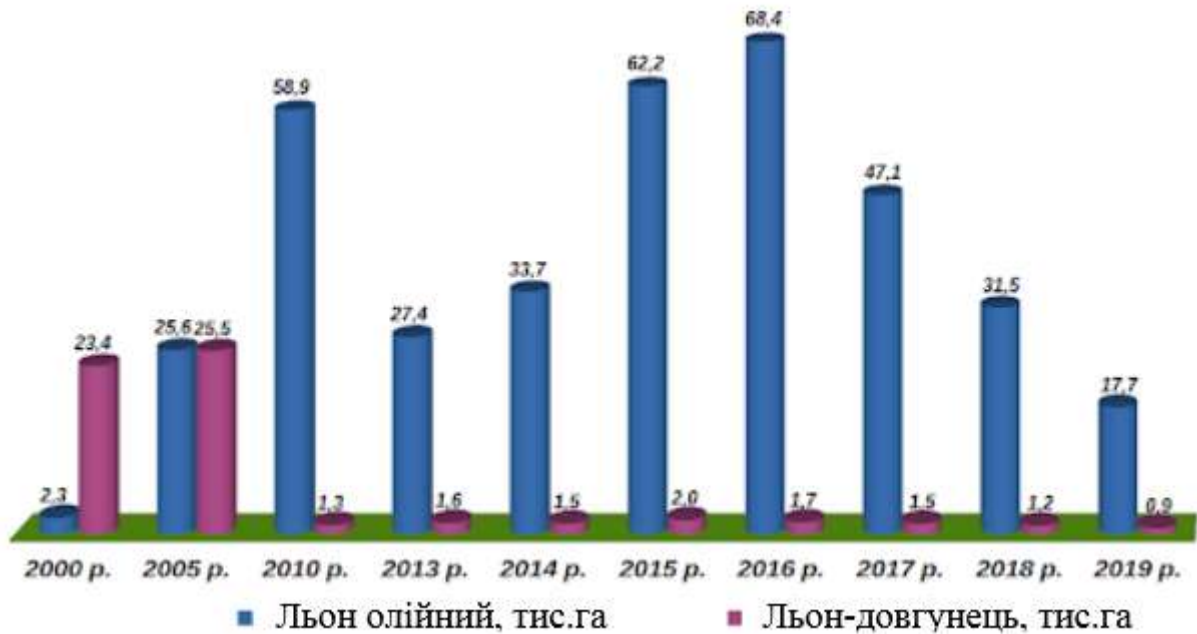


Рисунок 1.2 - Динаміка зміни посівних площ льону в Україні у 2000 - 2019 роках [138]

Інститутом олійних культур НААН України проводиться селекційна робота зі створення сортів льону з різним умістом жирних кислот, високими показниками врожайності й олійності, відмінними морфологічними маркерними ознаками. Дослідження ведуться у конкретних напрямках для задоволення технічних, харчових і медичних потреб виробництва в олійній сировині [31]. Виведені такі сорти харчового напрямку: Ківіка, Живинка, Лінсан. Вони придатні до механізованого збирання, не обсіпаються, не вилягають та рекомендовані для вирощування в усіх ґрунтово-кліматичних зонах [105]. Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН України у 2014 році зареєстрував сорт льону-дугунця Міандр медичного спрямування[140]. Науковцями інституту також виведено новий сорт льону олійного Антант.

Льон олійний в Україні вважається нішевою сільськогосподарською культурою. Підтвердженням цього є прогноз спеціалістів аналітичної агенції OilWorld (Німеччина) [69], згідно з яким обсяги світового виробництва олійного льону в майбутньому можуть знизитися на 17% і скласти всього 3 млн т. На

сьогодні Україна експортує насіння льону у різні країни світу. При цьому важливо звернути увагу на ціну органічного насіння, що у 2023 році склала 65 тис. грн/т. Водночас технічне насіння пропонують за ціною 17 тис. грн/т.

Отже, складаються всі передумови для того, щоб льон олійний вирощувався у всіх регіонах країни. Для стабілізації розвитку галузі льонарства необхідна державна програма підтримки аграріїв щодо вирощування цієї культури, регулювання експортного мита, що становить 8,5 % з 2016 року, будівництво та забезпечення сучасним обладнанням заводів з перероблення стеблової частини врожаю, розроблення ефективних технологій збирання та технічного забезпечення для їх реалізації з урахуванням умов вирощування.

Льон олійний є теплолюбивою культурою та вимогливою до вологи. Найвища потреба у воді спостерігається в період швидкого росту, бутонізації та цвітіння. На одиницю сухої речовини льон споживає 400–430 одиниць води (транспіраційний коефіцієнт). Однак перезволоження посівів після цвітіння веде до вилягання стебел та виникнення хвороб. Для розвитку льону олійного найсприятливішою є хмарна та помірно тепла погода. За таких умов рослини мають високі тонкі стебла з високим вмістом волокна [20, 95, 135].

Внаслідок особливостей будови кореневої системи льон олійний має високі вимоги до родючості ґрунтів. Найкращими ґрунтами є чорноземи та каштанові [139]. Не рекомендовано сіяти льон олійний на заболочених і солонцюватих ґрунтах. На утворення 1 т насіння льон олійний витрачає до 60–70 кг азоту, 15–25 кг фосфору, 40–55 кг калію. Проте, ці показники можуть змінюватись залежно від біологічних особливостей сортів та ґрунтово-кліматичних умов. Оптимальна кислотність для льону олійного становить рН 6.0–6.7 на важких та рН 5.5–6.0 на легких за гранулометричним складом ґрунтах [37].

Внаслідок глобального потепління території Західного Полісся України стали придатними для вирощування льону олійного. М'який, теплий, помірної вологості клімат сприяє отриманню як високоякісного насіння, так і

формуванню короткого неорієнтованого волокна у стеблах. Значення морфологічних показників стеблостою льону олійного, вирощеного в умовах Західного регіону України, подано у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Морфологічні показники стеблостою льону олійного на час збирання, вирощеного у Західному регіоні України [67]

Назва показника	Значення показника для сорту		
	Лірина	Південна ніч	Блакитно-помаранчевий
Середня довжина стебла, см:			
- загальна	78	69	72
- технічна	56	47	51
Діаметр стебла на 1/2 висоти, мм	1,3–2,5	1,2–2,8	1,1–2,5
Вага одного стебла, г:			
- з коробочками	2,2–11,3	1,9–9,3	1,7–8,5
- без коробочок (з китицею)-	1,5–5,6	1,3–5,3	1,2–5,1
- без китиці	1,1–2,8	0,8–2,6	0,7–2,2
Середня кількість на рослині коробочок, шт.	35	24	21
Вага 1000 насінин, г	7,3	6,7	6,8
Урожайність, ц/га:			
- насіння	13,0	7,4	7,3
- соломи	40,5	26,5	32,5

Однією із найважливіших операцій під час вирощування льону олійного є збирання. Неякісне збирання може спричинити значні втрати врожаю. Це трудомісткий процес, витрати праці на який становлять 50-80% загальних витрат [20]. Збирання льону олійного здійснюють тим же комплексом машин, що призначений для збирання зернових колосових культур. Період збирання льону припадає на кінець липня - початок серпня, тобто збігається із жнивими зернових сільськогосподарських культур. Для розв'язання проблеми збереження стеблової частини врожаю необхідно використовувати роздільну технологію збирання льону олійного за наявності відповідного технічного забезпечення. На сьогодні проведено недостатньо досліджень, які б дозволили

оцінити вплив волокна у стеблах на процеси збирання льону олійного. Відсутні дослідження перетворення стебел у тресту методом росяного мочіння. Вказані завдання потребують проведення низки досліджень з удосконалення роздільної технології збирання із збереженням обох складових вирощеного врожаю.

1.2 Аналіз технологій та засобів збирання льону олійного

Перші дослідження процесів механізованого збирання врожаю насіння льону олійного, вирощеного в умовах Полісся, проводились на дослідних полях Львівської філії УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого [37, 111]. Для порівняння ефективності процесу збирання було вибрано декілька варіантів: пряме комбайнуванням зернозбиральними комбайнами трьох марок (рис. 1.3) без обробки посівів і з попередньою обробкою посівів десикантом «Реглон Супер» з розрахунку 3л/га за вологості насіння 20-25 %; за роздільною технологією, що передбачала зрізання стеблостою у валки косарками КН-2,1 або Z-169 за вологості насіння 20-25 %, з подальшим обмолотом зернозбиральним комбайном СК-5М «Нива» після дозрівання коробочок (рис. 1.4). Окремим експериментом проводилось збирання льону олійного льонозбиральним комбайном ЛК-4А (рис. 1.5). За результатами цих досліджень зроблено висновки щодо втрат врожаю насіння [111]. Дані дослідження не враховували перспективу збереження стеблової маси, за виключенням способу брання. Однак результати приготування трести не представлені.

Найменші втрати насіння від 1,6 до 5,2 ц/га були при збиранні льону олійного зернозбиральними комбайнами за максимального виходу після обробки посівів десикантом (рис. 1.3). Але застосовувати десиканти не можна при збиранні насіння органічного льону. Крім того зрізання стебел на висоті від 120 до 250 мм не сприяє збереженню волокнисто-стеблової маси. У процесі збирання прямим комбайнування виникали проблеми з роботою сегментно-пальцевих різальних апаратів.



а)

б)

в)

Рисунок 1.3 - Зернозбиральні комбайни на збиранні льону олійного: а – *Challiger 647*; б - *K3C – 1218 «Палессе GS12»*; в - *Claas Mergator*[111]



а)

б)

Рисунок 1.4 - Дослідження роздільної технології збирання льону олійного: а - скошування стеблостою роторною косаркою; б – одночасне підбирання двох валків[111]



а)

б)

Рисунок 1.5 - Збирання льону олійного способом брання стебел: а – комбайн ЛК – 4А; б - залишки неочесаних коробочок на розтиляльному столі[111]

Водночас, застосування роздільної технології вимагає ретельного підходу до вибору косарки (рис. 1.4), так як на етапі зрізання відмічено втрати коробочок та до 27,1% загальних втрат насіння. Проте, роздільну технологію збирання можна розглядати як один із способів забезпечення умов збереження насіння і волокна, оскільки у дослідженнях висота зрізу становила 89 мм, що вказує на значне зменшення втрат стебелової частини та можливість підбирання декількох валків одночасно.

За результатами досліджень брального способу збирання (рис. 1.5) встановлено, що льонокомбайн якісно вибирає і розстиляє стебла у стрічку. Основним недоліком є робота обчісувального апарата, який не забезпечує максимального відокремлення коробочок через розгалуження у верхівковій частині стебел. Підсумком цих досліджень є пропозиція у розділенні технологій збирання технічного та органічного насіння. У першому випадку рекомендується застосовувати пряме комбайнування після десикації посівів [37]. При вирощуванні органічного льону олійного найкраще підходить роздільна технологія [111].

Відома також роздільна технологія збирання сільськогосподарських культур зернової групи, коли спочатку проводять відокремлення зерна(насіння) на корені методом обчісування, а потім скошують стеблову масу. Для реалізації цієї технології, налагоджено випуск очісувальної жатки «Слов'янка» [39, 43, 63, 89]. Однак, перевірка роботоздатності обчісувальної жатки на збиранні льону олійного в господарстві ПП «Агрофірма Лугове» не дала позитивного результату через намотування стебел на обертові робочі органи. Цю технологію і жатку можна використовувати у посушливих регіонах, коли процес збирання відбувається у більш ранні терміни.

Запропоновано також пристрій (рис. 1.6) для обробки стрічки льону олійного шляхом плющення верхівкової частини стебел [35, 104]. Пристрій рекомендується для встановлення на льонозбиральних агрегатах при прямому комбайнуванні або у технологічній лінії з первинного оброблення стебел льону. При цьому можливі втрати насіння через нерівномірне

визрівання коробочок і через велику кількість технологічних переходів від збирання до оброблення верхівок.

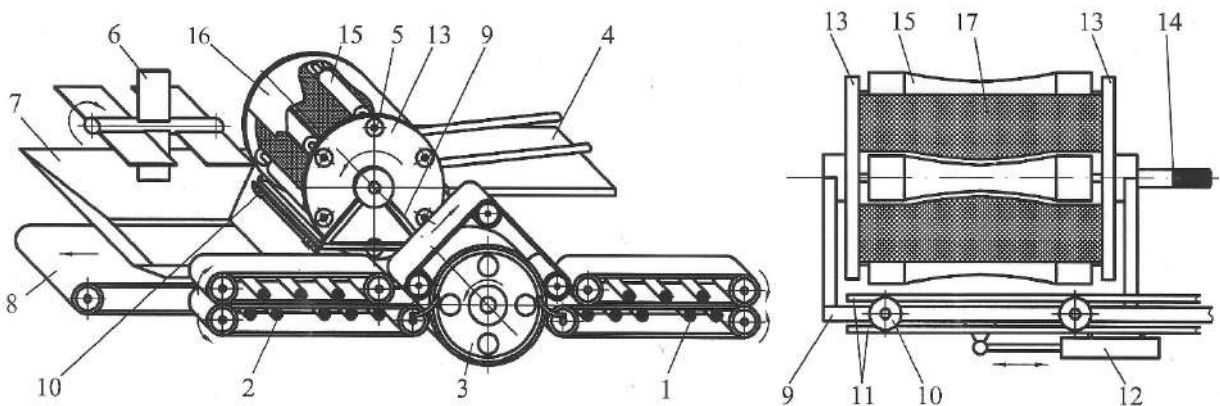


Рисунок 1.6 - Пристрій для обробки верхівкової частини стрічки льону: 1, 2 – затискні транспортери; 3 – дисковий затискний транспортер; 4 – підвідний стіл; 5 – барабан; 6 – струшувач; 7 – накопичувач; 8 – вивантажувальний транспортер; 9 – рухома рама; 10 – ролики; 11 – спрямовувачі; 12 – гідроциліндр; 13 – диски; 14 – приводний вал; 15 – вальці; 16 – опорна поверхня; 17 – вставки [104]

Розглянуті технології та технічне забезпечення спрямоване на збереження врожаю лише насіння. Водночас, науковцями пропонуються технології і технічні засоби, що спрямовані на збереження всього вирощеного врожаю шляхом перетворення стебел соломи у тресту [2, 18, 22, 57, 114, 115].

Так, вченими ХНТУ [18] запропоновано технологію одержання трести із соломи льону олійного із застосуванням штучного зволоження в кліматичних умовах півдня України. Воно дозволяє скоротити тривалість розстилу стебел до п'яти діб, що в чотири рази швидше порівняно з традиційною технологією розстилу льону-довгунця. На основі проведених досліджень розроблені рекомендації щодо удосконалення технологічного процесу одержання трести розстиланням соломи за рахунок дворазового штучного зволоження на добу. У результаті застосування запропонованої технології за оптимальних параметрів вологості одержують тресту, показники відокремлюваності якої

становлять для сорту Південна ніч – 6,8 од., Айсберг – 7,1 од., Дебют – 6,9 од. [18]. З цієї трести отримують лляне волокно з високими показниками якості, що відповідають вимогам державних стандартів. Проте введення додаткової операції у технологічний процес приготування трести в умовах нестачі води є затратним.

Тривалі дослідження вчених Луцького національного технічного університету необхідності використання всього біологічного врожаю льону олійного, вирощеного в умовах Полісся, дозволили запропонувати послідовність виконання технологічних операцій під час збирання льону олійного (рис. 1.7), що зменшує втрати насіння та мінімізує пошкодження стеблової частини врожаю [92].

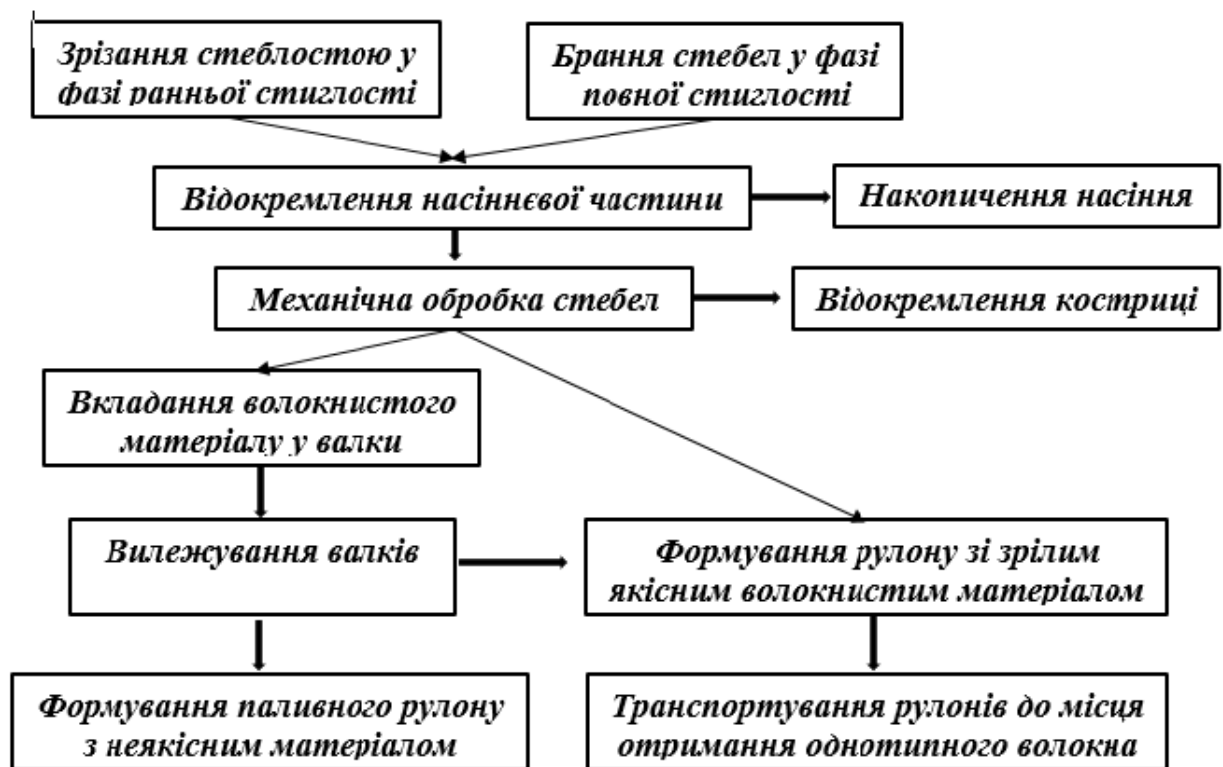


Рисунок 1.7 - Послідовність технологічних операцій під час збирання льону олійного в умовах Полісся [92]

Ця технологія передбачає, що стеблова частина льону зрізається або вибирається з ґрунту з урахуванням фази стиглості стеблостою. Після

відділення насіннєвої частини та руйнування стебел шляхом механічної обробки частково видаляється костриця. Оброблені стебла у фазі ранньожовтої стиглості вкладають у валки для дозрівання у них волокнистого матеріалу. Додатковими технічними засобами формують рулони з наступним транспортуванням їх до місця отримання однотипного волокна. При цьому усі технологічні операції, окрім формування рулону з валків та транспортування їх до місця отримання однотипного волокна, можуть виконуватись зернозбиральним комбайном. Для фази повної стиглості на зернозбиральний комбайн пропонується встановлювати додаткове обладнання у вигляді вальцевого брального апарату [9, 23]. Реалізація запропонованої технології передбачає операцію, в результаті якої утворюються валки, для якісного підбирання яких необхідне технічне забезпечення у вигляді підбирача. Недоліком вказаної технології є механічне руйнування стебел під дією молотильного апарату зернозбирального комбайну, що може спричинити втрати волокна та погіршити його якість.

Підбирання валків із низьким зрізанням стеблостою потребує розроблення нової машини для якісного виокремлення насіння на початковому етапі. Функціональна схема такої машини [58] для обробки стеблової маси льону олійного з валків представлена на рис. 1.8.

Основними конструктивними елементами цієї машини є підбирач валка, що забезпечує подавання матеріалу у зону відокремлення насіння, декортикатор для зниження пружних властивостей стебел, камера формування циліндричних пакунків без обв'язування і механізм подачі рулонів у транспортний засіб.

Таким чином, відсутність спеціалізованої техніки для збирання льону олійного спричиняє значні втрати врожаю, зокрема, стеблової частини. У випадках втрати якості волокна, із волокнисто-стеблової маси можна формувати паливні матеріали у вигляді рулонів діаметром до 500 мм без обв'язування [113].

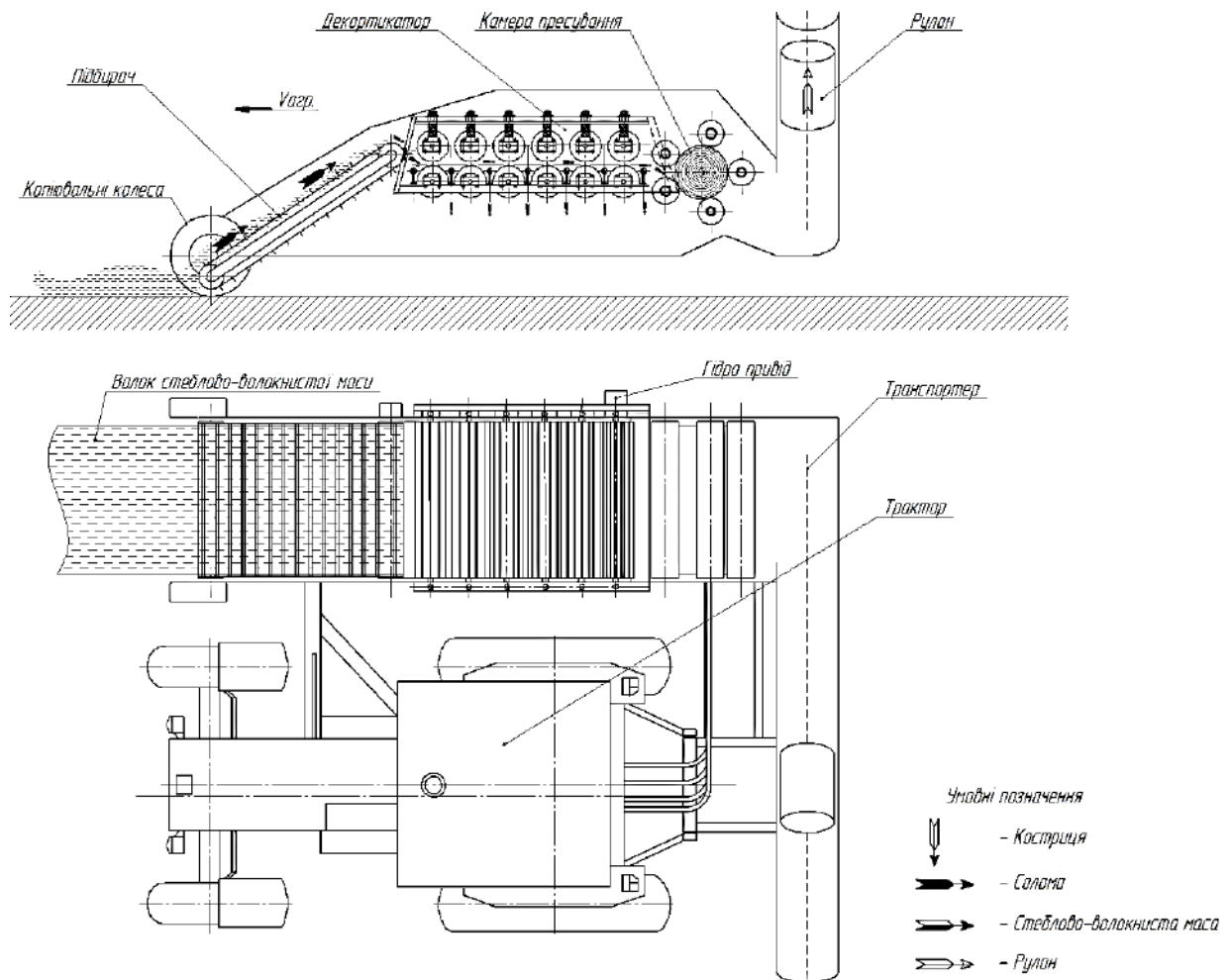


Рисунок 1.8 - Функціональна схема базової машини для обробки валків льону олійного [58]

1.3 Вплив будови стебел льону на взаємодію з робочими органами збиральних машин

У процесі збирання льону, після відокремлення насінневої частини залишаються стебла, з яких варто приготувати льонотресту. Природні умови Полісся України дозволяють забезпечити приготування трести у польових умовах методом росяного мочіння. Цей процес має важливе значення для отримання високоякісного волокна і він відбувається за наявності нічної роси. Волога на поверхні соломи необхідна для розмноження пектиноруйнівних бактерій та пліснявих грибків *Cladosporium herbarum* і *Alternaria linicola*. Оптимальними умовами для формування трести вважаються умови, коли

відбувається рівномірне зволоження поверхні стебел росою або дощами за температури повітря в межах 16 - 18 °С і вологості повітря 60 %. За таких умов треста формується швидко, впродовж 15 - 25 діб [34, 36, 53].

Для отримання довгого волокна з льону-довгунця стрічку з паралельно вкладених стебел обертають не менше двох разів [35, 41, 53, 109]. Для цього використовують обертачі ОСН - 1, ОСП - 1, ОЛП - 1, ОЛБ - 1М та ін. Готову тресту скручують у рулони за допомогою прес-підбирачів ПРП - 1,6М, ПРЛ - 1,2, ПРМ - 1200 та ін. Навантажування рулонів у транспортні засоби здійснювали за допомогою механізованих навантажувачів типу ПФ-0,5 з пристосуванням ППЛ - 0,5, МТМ 731 «Турбо» і Амкадор 527 [1].

За якісного виконання технологічних операцій зрізання стеблостою льону олійного та відокремлення насінневої частини стебла льону олійного вкладаються на поле вздовж валка. Таке розташування соломи (40 - 45 ц/га) ускладнює перетворення її у тресту та потребує ретельних досліджень технології і технічних засобів, які можуть забезпечити максимальне збереження якісних і кількісних параметрів короткого неорієнтованого волокна.

Складність взаємодії стеблостою, вкладених валків, окремих стебел з робочими органами збиральних машин полягає в особливостях будови стебла льону олійного. Основною проблемою механізованої обробки стебел льону олійного є їх галузистість у верхівковій частині.

Вміст і якість волокна льону олійного визначається анатомічною будовою стебел. За результатами досліджень анатомічної будови стебел видно, що льону олійному притаманні загальні закономірності, які встановлені для прядильних груп льону [10, 40, 52]. Аналіз будови стебла луб'яних культур [16, 40, 97] (рис. 1.9) вказує на складну його будову, як об'єкта обробки механічними діями. При цьому важко виділити ті складові, які є визначальними у створенні сил опору розривним, згинальним чи будь яким іншим навантаженням. Якщо зробити допущення, що волокнисті пучки

розміщенні за всією довжиною стебла, то його поведінка буде схожою на армовані вироби різного функціонального призначення.

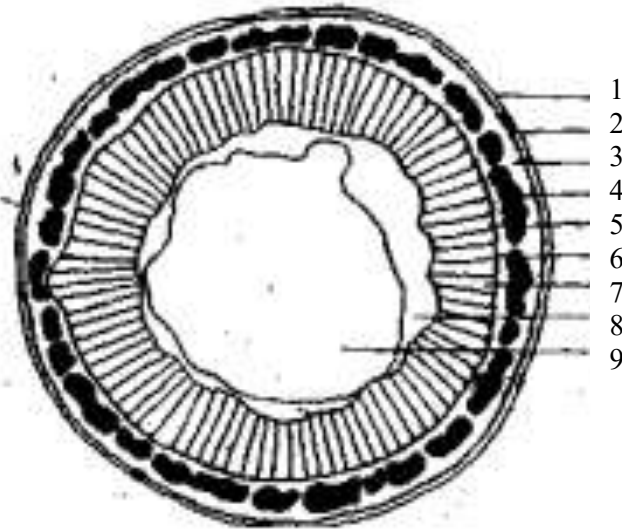


Рисунок 1.9 - Поперчний зріз стебла соломи льону олійного: 1 - кутикула; 2 - епідерміс; 3 - коро́ва паренхі́ма; 4 - волокнисті пучки; 5 - флоема; 6 - камбій; 7 - ксилема; 8 - паренхі́ма; 9 – порожнина [40]

Формування фізичної моделі стебла, як основи утворення валків залежить від мети, яка переслідується при використанні стеблової частини врожаю льону олійного. Правильно вибрана модель стебла дозволяє проводити теоретичні дослідження з мінімальною кількістю допущень, які впливають на кінцевий результат.

Результати дослідників розподілу волокон у стеблах льону олійного за довжиною вказують, що всі їх фізико-механічні властивості і характеристики є подібними до котонізованих волокон льону-довгунця [97, 98]. Однак, труднощі отримання сировини для отримання волокна з стебел льону олійного виникають ще на етапі збирання прямим комбайнуванням. Спостереження за процесами збирання льону олійного на полях ПП «Лугове» зернозбиральними комбайнами [78] вказують на проблеми в отриманні високоякісної трести через утворення об'ємних валків після обмолоту стеблостою.

Для теоретичного дослідження процесів, які призводять до руйнування волокнистих стеблових складників льону олійного, з певними допущеннями,

Онюх Ю. [67] запропонувала фізичні моделі стебел, які враховують фазу стиглості (рис. 1.10). При дослідженнях процесів перетворення соломи у тресту необхідно користуватися узагальненою моделлю (рис. 1.10, в).

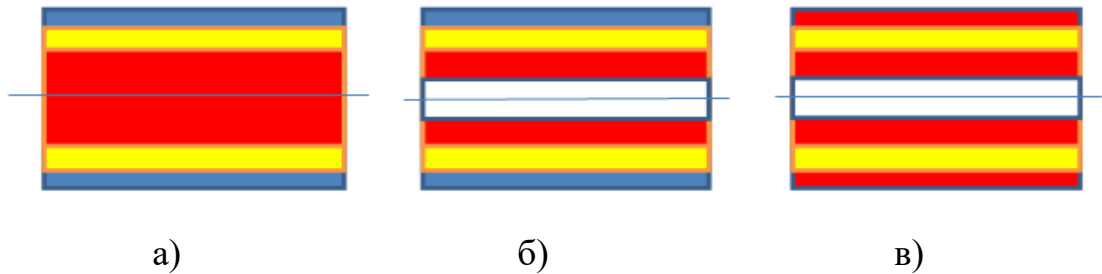


Рисунок 1.10 - Фізичні моделі стебла з врахуванням фази стиглості: а) раньо-жовта стиглість; б) повна стиглість; в) узагальнена модель [67]

■ - поверхневий шар, ■ - волокно, ■ - деревина

Дещо уточнена фізична модель стебла льону олійного, представлена у роботі Ягелюк С. [113]. Збереження цілісності стебел в процесі приготування трести залежить від навантажень, що діють на них робочими органами збиральних машин. Процес руйнування стебел льону складається з безлічі окремих випадкових елементарних процесів, які можна узагальнити схемою (рис. 1.11), що вимагає значних критичних навантажень, які не дослідженні для умови низького зрізування стеблостою роторною косаркою.

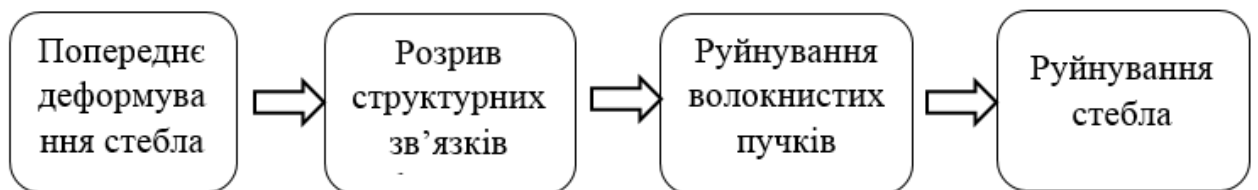


Рисунок 1.11 - Процес руйнування стебел льону під дією зовнішніх сил

1.4 Аналіз конструкцій підбирачів і теоретичних досліджень механізації підбирання сільськогосподарських рослинних матеріалів

Основна мета вирощування луб'яних культур - це отримання високоякісного натурального волокна. Не є виключенням льон олійний, в

стеблах якого міститься коротке неорієнтоване волокно. Його збереження і використання може значно підвищити ефективність вирощування льону олійного.

Підбирачі валків відносять до визначальних засобів, які забезпечують збереження врожаю сільськогосподарських культур [Додаток А]. Отримання довгого волокна з льону-довгунця передбачає вилежування стрічки з паралельно розташованими стеблами на льонищі, її 2-3 разове обертання, підбирання стрічки при формуванні пакунків циліндричної форми. Особливістю таких стрічок є те, що стебла розміщують перпендикулярно до напрямку руху агрегатів, що потребує особливого підходу до захоплення стебел при відриві їх від поверхні поля. Загалом, за конструктивним виконанням підбирачі, як для підбирання стрічки з льону-довгунця, так і валків інших сільськогосподарських матеріалів можна розділити на три групи [15, 25, 35, 57, 109]: – барабанні; – грабельні; – транспортерні.

Об'єднуючим елементом підбирачів для взаємодії з матеріалами, є пальці або зуби визначеної конфігурації. Підбирачі барабанного типу з жорсткими пальцями, які призначені для підбирання стрічок з льону-довгунця, подано на рис. 1.12.

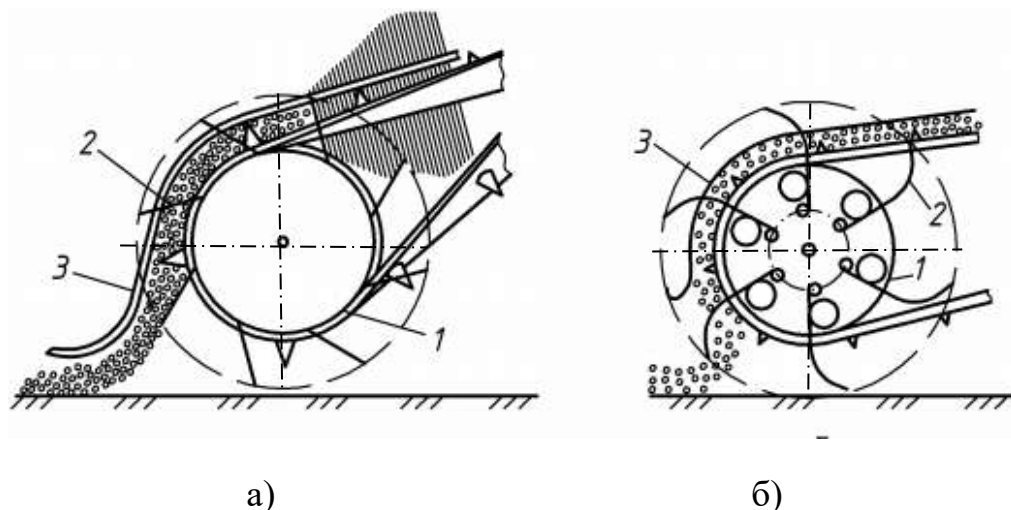


Рисунок 1.12 - Схеми розміщення барабанів на підбирачах: а - барабан підбирача-обертача; б - барабан на підбирачі стрічки льону; 1 - кожух; 2 - пальці; 3 - притискна пластина [109]

Недоліком цієї конструкції є складність підбирання стрічки льону за наявності нерівностей на поверхні поля та застосування підсівних трав. В випадках тривалого вилежування стебел, вони ущільнюються під дією опадів і проростають травою.

Для підбирання стрічок трести льону-довгунця також використовуються підбирачі грабельного типу (рис.1.13). На таких підбирачах кріплять як жорсткі, так і підпружинені пальці. Наявність граблин забезпечує якісний відрив стебел від поверхні поля. Вони мають складну конструкцію і чутливі до вологості стебел у стрічці.

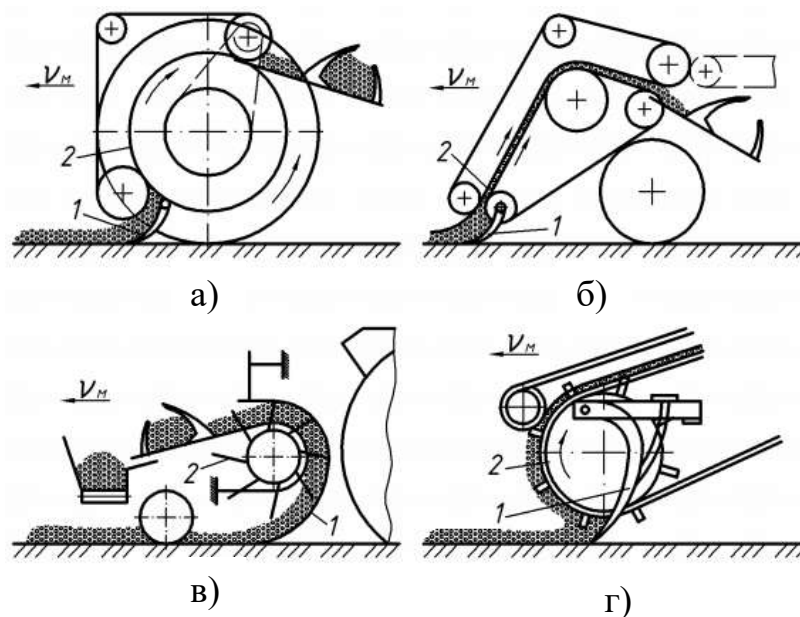


Рисунок 1.13 - Схеми підбирачів грабельного типу: а, б - з жорсткими пальцями; в, г - з підпружиненими пальцями та копіром; 1 - пасивні пальці, 2 - піднімальні механізми [109]

Для підбирання льонотрести широке застосування знайшли також транспортерні підбирачі (рис.1.14), які забезпечують м'які режими взаємодії з стеблами. Відрив стебел льону від поверхні поля і подальше транспортування стрічки забезпечуються пальцями різної конфігурації. Пальці кріпляться на безкінцевому тяговому елементі. Залежно від типу піднімального механізму їх поділяють на пасово-пальцеві (рис.1.14, а, б) і ланцюгово-пальцеві (рис.1.14, в, г) [109, 113].

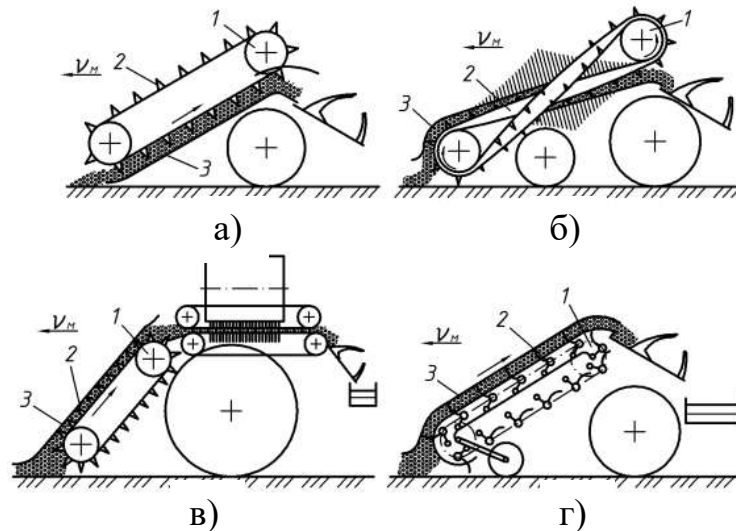


Рисунок 1.14 - Схеми транспортерних підбирачів: 1 - ведучий шків (барaban); 2 - тяговий елемент; 3 - притискні прутки [109]

При підбиранні валків стеблово-соломистих мас сільськогосподарських культур також використовують як барабанні, так і транспортерні підбирачі. При цьому для умов підбирання валків з насіннєвим матеріалом краще підходять транспортерні. Крім м'яких режимів взаємодії з матеріалами, вони простіші конструктивно і, відповідно, в експлуатації.

Закордонні фірми переважно використовують стрічкові підбирачі (рис. 1.15). Прикладом є підбирач фірми CLAAS.



а)



б)

Рисунок 1.15 - Стрічковий підбирач фірми валків CLAAS: а - загальний вигляд підбирача; б - підбирання валків злакових культур [135]

Для підбирання валків з хаотично розміщеними стеблами у барабаних підбирачах передбачені спеціальні механізми (рис. 1.16). До таких відносять кулісні (рис.1.16, а) та кулачкові (рис.1.16, б) механізми. Жорстке кріплення пальців і інтенсивна взаємодія пальців з валком часто виводять пальці з ладу, а наявність замкнутих кожухів може спричиняти забивання щілин і отворів стеблами.

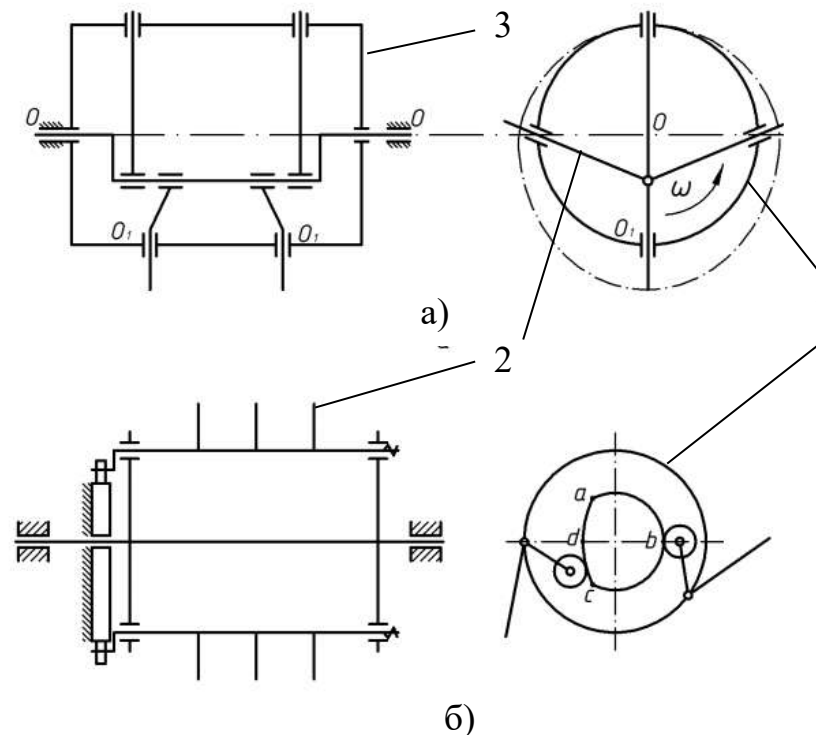


Рисунок 1.16 -Схеми механізмів барабаних підбирачів: а - кулісний механізм; б - кулачковий механізм; 1 - барабан; 2 - пальці; 3 – кожух [88]

Теоретичні дослідження щодо підбирання стеблової частини льону стосуються механізованого збирання льону-довгунця у стрічці, в якій стебла розташовані перпендикулярно до напрямку руху агрегата. Від збереження паралельності стебел залежить вихід довгого волокна.

Результати досліджень впливу конструкцій підбиральних пристроїв на якість формування трести висвітлені у роботах українських вчених Шейченка В.О., Хайліса Г.А., Ковальова М.М., Карпця І.П., Ковальова В.Б., Налобіної О.О., Горбового А. Ю., Макаєва В. І., Ягелюк С.В., Толстущка М.М.,

Цикалюка Ю. О., Толстушка Н.О., Клятїса Л.М., Дїдуха В.Ф, Дударєва І.М., Сая В.А., Юхимчука С.Ф.

Також відомі теоретичні дослідження підбирання валків з стебел сільськогосподарських матеріалів, розташованих або хаотично, або з вкладанням стебел вздовж валка. Дослідженню факторів, що впливають на якість роботи підбирачів, присвячені роботи відомих, як українських, так і зарубіжних вчених: Адамчука В.В. [1], Кравчука В.І. [49,58], Гаркавого А. Д. [14], Залужного В. І. [38], Волошина В. І. [13], Надикто В. Т. [63], Ловчікова А. П. [56], Пастухова В. І. [75], Заїки П.М. [19, 39], а також дослідників [96, 116, 127, 128, 131].

На основі аналізу роботи барабанних і транспортуючих (конвеєрних) підбирачів, науковцями доведено, що для зниження втрат зерна необхідно дотримуватися умови нерозривності валка хлібної маси. Дана умова забезпечується як конструктивними параметрами підбирача, так і вибором швидкості збиральної машини [39]:

$$\pi D_n \cdot n \cdot \Psi - V_k \cdot t \leq \delta_{пр}, \quad (1.1)$$

де D_n - діаметр кола крайньої точки пальців, м;

Ψ - коефіцієнт проковзування пальців по валку;

V_k - швидкість руху збиральної машини, м/с;

t - час, за який палець підбирача зробить n оборотів, с;

$\delta_{пр}$ - граничне зміщення соломистих частинок в шарі одна відносно одної, м.

При дослідженні технологічного процесу підбирання валків, у першу чергу, необхідно визначитися з показником кінематичного режиму роботи підбирача λ . Цей показник у значній мірі впливає на чистоту підбирання матеріалу. В основу відомої методики визначення показника кінематичного режиму роботи підбирача λ покладено теорію руху кінців зубів поперечних грабель, які описуються рівнянням трохіди [88]:

$$\lambda = \sqrt{2 + \frac{\omega^2}{V_m \left(\frac{l^2}{2} - r_0^2\right)}}, \quad (1.2)$$

де ω – кутова швидкість обертання барабана підбирача, с^{-1} ;

V_m – швидкість збиральної машини, м/с ;

l – довжина пальця підбирача, м ;

r_0 – відстань від центру барабана підбирача до точки кріплення пальця, м .

Для оптимізації технологічного процесу роботи підбирача і забезпечення необхідної чистоти підбирання валка є рекомендовані значення показника λ . Його значення коливаються у широких межах від одиниці і вище. Встановлення та дотримання значень показника кінематичного режиму дозволяє не тільки якісно підбирати валок, але й зберегти насіннєву частину врожаю сільськогосподарської культури через мінімізацію ударів пальців по стеблах. Тому λ необхідно вибирати з урахуванням співвідношення швидкості удару пальців і швидкості руху збиральної машини [88]:

$$\lambda = \frac{U_d}{V_m} - 1, \quad (1.3)$$

де U_d – допустима швидкість удару пальцями по рослинам, м/с ;

V_m – швидкість комбайна, м/с .

Втрати насіннєвої частини врожаю за підбирачем визначаються переважно ударними впливами пальців на валок в моменти їх коливання лише у певних зонах. Для валків із стебел більшість дослідників роблять допущення, що його можна розглядати як пружно-деформовану балку, що підкоряється закону Гука. Тоді зміну конфігурації валка при його підбиранні пропонується описувати рівнянням ланцюгової лінії [57], що у випадку розгляду серединних точок валка набуде вигляду:

$$y(x) = \frac{a}{2} \left[\exp \frac{(x+c_1)}{a} + \exp \frac{-(x-c_1)}{a} \right] - c_2, \quad (1.4)$$

де, $a = \frac{H}{\rho}$, - горизонтальна складова натягу нитки, Н;

ρ - вага одного погонного метра валка (лінійна щільність), Н/м;

c – висота валка над поверхнею поля, м ;

c_1 і c_2 - постійні параметри інтегрування при виведенні рівняння, що визначають положення нитки в прямокутній системі координат.

Вказані дослідження спрямованні на збереження зернової частини врожаю злакових культур. При цьому використовується значна кількість геометричних параметрів реальних валків і їх конфігурація під впливом барабанного чи стрічкового підбирача. Отже, у дослідженнях підбирачів важливо зробити правильні допущення щодо самого валка та його складових.

У процесі зрізання стеблостою льону олійною роторною косаркою відбувається руйнування стебел в окоренковій зоні. Для якісного їх зрізання, необхідно виконати роботу. Онюх Ю.М., розглядаючи руйнування одиночного стебла як вільно обперту балку під зосередженим навантаженням, пропонує формулу [67, 80]:

$$A_p = \frac{1}{2} P_p \cdot f_{max}, \quad (1.5)$$

де f_{max} - максимальний прогин одиночного стебла, що вільно розміщена на двох опорах, мм.

P_p - поперечна сила, що спричиняє руйнування стебла, Н.

Максимальний прогин стебел льону f_{max} , за якого розпочнеться процес його руйнування, пропонується визначати за формулою [67]:

$$f_{max} = \frac{P_p \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} \left(1 + \alpha \cdot \frac{E}{G'} \cdot \frac{r^2}{l^2} \right), \quad (1.6)$$

де l - відстань між опорами, м;

r - радіус стебла, м;

$\alpha = 1,2$ - коефіцієнт зсуву внутрішніх шарів у стеблі;

$E = 3 \dots 6 \cdot 10^6$ кПа – модуль деформації стебла [56];

$G' = \frac{E}{30}$ - поперечний модуль зсуву для анізотропного матеріалу, до якого

можна віднести стебло льону олійного, Па;

$I = 0.05(D^4 - d^4)$ - осьовий момент інерції перерізу;

D - діаметр стебла, м;

d - діаметр серцевини (пустоти), м.

Запропонований підхід дозволяє досліджувати процеси, що відбуваються з групою стебел у валку при підбиранні валків з поверхні поля.

Опір згину як одиночних, так і групи стебел глибоко досліджував професор Хайліс Г.А. [103]. Він запропонував визначати опір згину одиночного стебла за формулами:

$$M_z \approx Q \cdot l \cdot \cos\varphi, \quad (1.7)$$

$$\varphi \approx \arctg\left(l \cdot \sin\frac{y}{p}\right), \quad (1.8)$$

де Q - сила, що прикладена до стебла, Н;

l - відстань від точки защемлення стебла до точки прикладання сили Q , м;

p - відстань від точки защемлення до вибраної точки на стеблі, де прикладатиметься сила Q , м;

y - відхилення стебла у точці прикладання сили Q , м;

φ - кут відхилення стебла, град.;

Професором Хайлісом Г.А. також був проведений аналіз зусиль у шарах різних матеріалів під впливом зовнішнього навантаження та розглянуті питання згину групи стебел рослинних матеріалів.

Гаркавим А.Д. запропоновано методику розрахунку підбирача з бітерно-ножовим різальним апаратом [15] і залежності для визначення впливу конструктивних, кінематичних та фізико-механічних властивостей листостеблової маси на пропускну здатність, продуктивність роботи МТА та питомі витрати.

Висновки до розділу 1

Аналіз підбирання валків сільськогосподарських культур показує, що у сучасних технологіях збирання надається перевага стрічковим підбирачам. Водночас, стрічкові підбирачі найменш дослідженні. Вивчення стану питання дозволило зробити наступні висновки:

1. Зменшення площ посіву льону олійного у 2019 році до 17,7 тис. га з поступовим їх нарощуванням у 2022-23 рр до 33,1 тис. га вказує на його конкурентність порівняно з іншими олійними сільськогосподарськими культурами в Україні. У випадку використання стеблової частини врожаю, він може стати стратегічною культурою, особливо льон органічний.

2. Основні ознаки стебел льону олійного (межеумка) вказують на подібність до стебел льону-довгунця. Природно-кліматичні умови Полісся сприятливі для вирощування луб'яних культур на волокно. Збільшення посівів льону олійного для отримання насіння у північно-західному регіоні України стримується через наявність значної стеблової маси, що сягає 40-45 ц/га, з вмістом в ній 20-30 % короткого неорієнтованого волокна.

3. Аналіз відомих технологій та технічних засобів збирання льону олійного демонструє, що в Україні найбільше поширення знайшла технологія прямого комбайнування у фазі ранньо-жовтої стиглості льону з попередньою десикацією посівів. Відсутність технології збирання стеблової маси льону олійного у фазі повної стиглості та збирання органічного льону, вирощеного в умовах Полісся України, зумовила вибір теми дисертаційної роботи, результати якої дозволять удосконалити роздільну технологію збирання льону олійного.

4. Роздільна технологія збирання льону олійного передбачає зрізання стеблостою на висоті 120-250 мм. Через 8-10 діб обмолот валків проводять зернозбиральними комбайнами. Такий підхід спричиняє втрати врожаю насіння та соломистої частини, яку подрібнюють та приорюють або спалюють, що є недопустимим в умовах глобального потепління.

5. Розгалуження стебел льону олійного у верхівковій частині а, іноді, від кореневої, після зрізання стеблостою роторною косаркою спричиняє утворення суцільно-зв'язаного валка, нетипового для інших сільськогосподарських культур. Відсутність досліджень з підбирання валків із стебел льону олійного, вкладених вдовж руху агрегата, вказують на потребу розроблення підбирача-розпушувача валків.

6. Для розв'язання проблеми перетворення соломи льону олійного у тресту необхідний технічний засіб, конструкція якого, окрім підбирального вузла, має містити розпушувальний вузол для забезпечення умов проникнення вологи до стебел. Відтак виникає потреба у дослідженнях процесу обробки валків з соломи льону олійного після відокремлення насінневої частини.

На основі зроблених висновків окреслено наступні задачі дослідження:

1. Встановити вплив природних умов Західного Полісся України на формування стеблостою льону олійного та виявити особливості реалізації роздільної технології його збирання.

2. Провести оцінювання стану валків з стебел льону, вкладених роторною косаркою, на можливість приготування високоякісної трести.

3. Провести дослідження фізико-механічних властивостей стебел льону, валків, трести та їх взаємодію з робочими органами.

4. Теоретично обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри робочих органів підбирача-розпушувача валків льону олійного.

5. Розробити експериментальний підбирач-розпушувач валків.

6. Провести дослідження запропонованого засобу та напрацювати рекомендації виробництву.

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПІДБИРАЧА-РОЗПУШУВАЧА ДЛЯ РОЗДІЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО

2.1 Обґрунтування фізичної моделі валка зі стебел льону при зрізанні стеблостою роторною косаркою

Роздільна технологія збирання льону олійного дозволяє використати увесь біологічний потенціал льону олійного. Для отримання якісного волокна в природніх умовах важливими факторами є вологість та температура.

Аналіз будови стебел луб'яних культур загалом і льону олійного зокрема [3, 18, 55, 67, 108, 113] вказує на складну їх будову, як об'єкта взаємодії з механізмами. При цьому, складно встановити визначальні фактори у конкретних випадках при навантаженнях, що спричиняють появу сил опору згину, руйнування, розтягу, розриву одиночних стебел чи групи стебел.

Потреба в обґрунтуванні фізичних моделей валків зі стебел льону олійного при перетворенні соломи у тресту викликана внаслідок необхідності дослідження особливостей зрізання стеблостою роторними косарками у фазі раньо-жовтої стиглості. Також, такі моделі можуть бути використанні при дослідженні процесів подальшого оброблення трести.

При 2-3-ох разовому відриванні валків від поверхні поля важливо зберегти їх параметри під дією ударних навантажень. Розуміння процесів, що відбуваються з стеблами льону олійного від зрізання стеблостою до підбирання трести, дозволить проводити теоретичні дослідження взаємодії робочих поверхонь машин з мінімальною кількістю допущень, які впливають на кінцевий результат. Для підвищення рентабельності вирощування льону олійного за роздільною технологією, важливо отримати коротке неорієнтоване волокно для текстильної галуззі. Таке волокно, за всіма його фізико-механічними характеристиками є подібним до котонізованого волокна льону-довгунця [47].

Складність отримання сировини для отримання волокна з стебел льону олійного виникає на етапі його збирання, оскільки перебіг цієї операції знаходиться у прямій залежності від природно-кліматичних умов у період збирання і наявності необхідних технічних засобів. Проведенні дослідження у 2023-2024 рр. на дослідних ділянках Луцького національного технічного університету (рис. 2.1, а), полях ДП «ДГ «Рокині» Волинського інституту агропромислового виробництва УААН» (рис. 2.1, б), приватного господарства «Лугове» (рис. 2.1, в), агрофірми ТОВ «Старий Порицьк» (рис. 2.1, г) показали суттєві відмінності стеблового матеріалу, що в подальшому спрямовується на отримання волокна. Відповідно, збереження волокна залежить від технології збирання та заходів, які застосовуються для перетворення стебел на тресту.

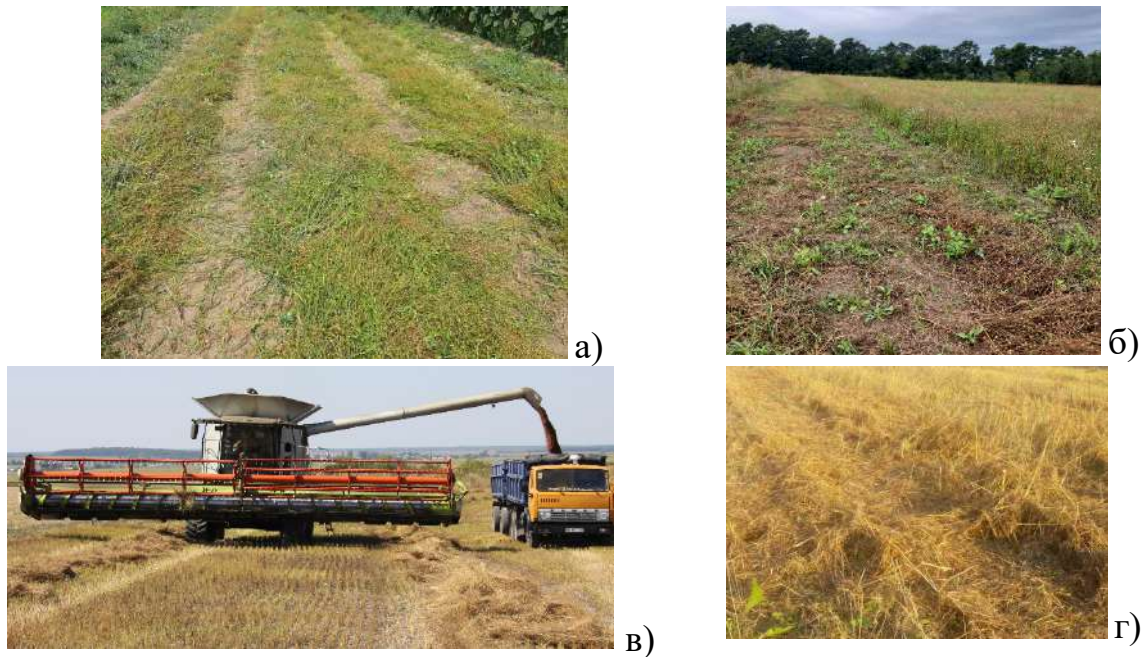


Рисунок 2.1 - Технологічні операції збирання льону олійного за різних природно-кліматичних умов вирощування: а – зрізання стеблестою роторною косаркою КРН-1,65 на висоті 30-50 мм; б – косаркою перезрілого низького стеблестою; в - зернозбиральним комбайном з вкладанням обмолочених стебел у валок і з подрібненням стебел (г).

Аналіз технологічних операцій збирання (рис. 2.1) показує, що для збереження стебел високорослого льону олійного варто проводити низький зріз стебел на висоті 30-50 мм роторною косаркою (рис. 2.1, а). Тоді стебла

вкладаються у структурований валок певної висоти майже паралельно вздовж напрямку руху машино-тракторного агрегату (МТА). При цьому спостерігається часткова концентрація стебел біля центральної осі валка. Таке формування валків забезпечують обертові ротори 2 (рис. 2.2), які утворюють своєрідне вікно, що на рис.2.2 позначено АВСДЕ.

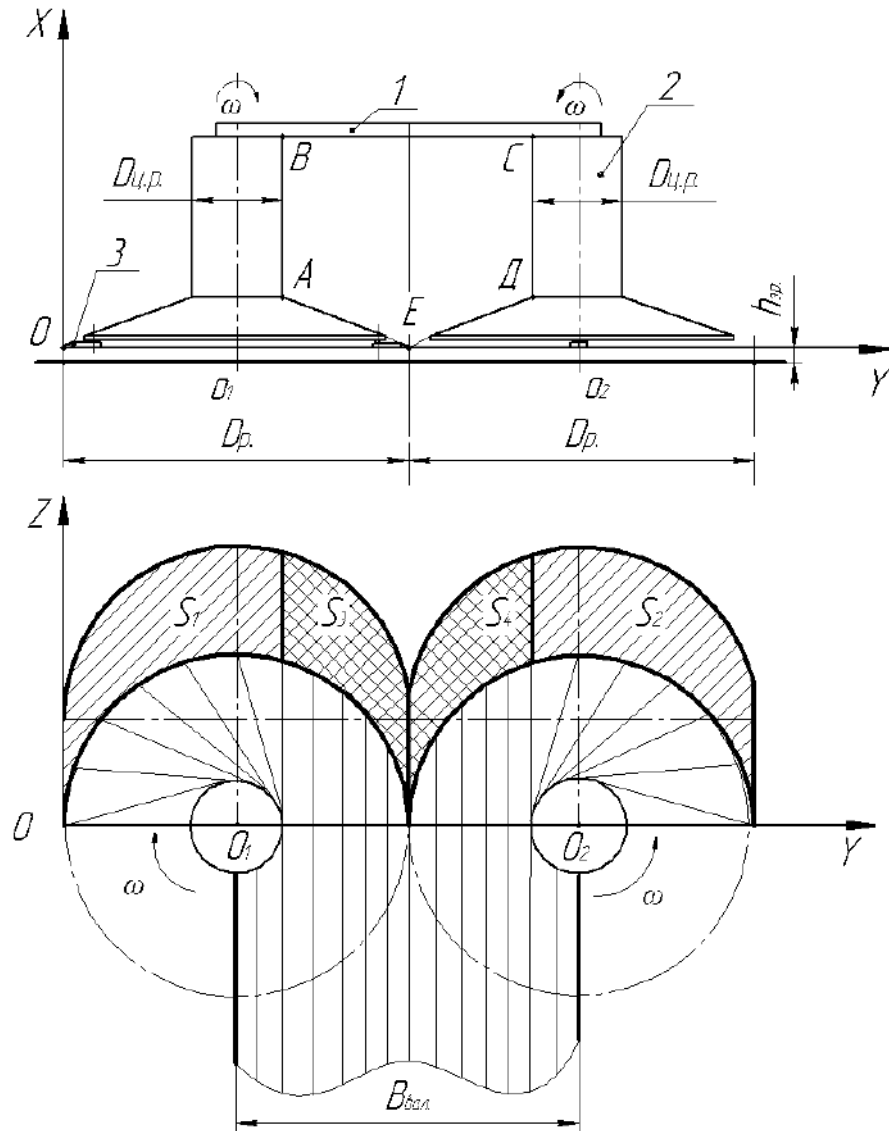


Рисунок 2.2 - Схема до обґрунтування параметрів валка у поперечній площині: 1- центральна балка косарки; 2 – ротори; 3 - ножі

Вікно АВСДЕ утворюється центральною балкою 1 та геометричними розмірами двох роторів 2. Кожен ротор складається із циліндричної частини діаметром $D_{ц.р.}$ і конусної частини, до основи якої шарнірно кріпляться різальні ножі 3. У результаті ротор діаметром D_p взаємодіє із стеблостоем льону в

околенковій зоні. Отже за переміщення роторної косарки у напрямку осі Z і обертанні роторів 2 з кутовою швидкістю ω , ножі 3, кожного ротора, зрізають стебла радіусом $2D_p$. При рівномірній швидкості руху МТА, за деякий проміжок часу t , загальна площа зрізаного стеблостою дорівнює $S_{\text{заг.}} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4$.

Після зрізання стебела деякий час знаходяться у контакті з обертовою конусною поверхнею ротора. Тому основна їх маса затягується у конус АЕД. Одночасно верхівки зрізаних стебел притримуються балкою 1. У результаті цієї взаємодії, стебла вкладаються на поверхню поля верхівками у напрямку руху МТА. За наявності високого стеблостою, зрізані стебла частково стискаються поверхнями АВ і СД циліндричних частин роторів діаметром $D_{\text{ц.р.}}$ і вся зрізана маса (валок) у зоні дії ножів 3 розміститься на площах S_3 і S_4 . Після виходу з вікна АВСДЕ під дією пружних властивостей стебел, зокрема розгалуження верхівок, відбудеться збільшення ширини валка до значення $V_{\text{вал.}} > V_{\text{вік.}}$ (відстань ВС). Щільність валка на цьому етапі (на одному погонному метрі), можна визначити розрахунковим методом за формулою [66]:

$$\rho = \iiint_0^V f(x, y, z) dx dy dz, \quad (2.1)$$

де $f(x, y, z)$ – функція, що інтегрується по V .

Оскільки щільність валка за довжиною його розміщення є випадковою величиною, значення якої встановлюється експериментально, то важливо враховувати теоретичні підходи, що представлені у [103] та враховувати об'ємну деформацію \mathcal{E} стеблової маси під дією робочих органів косарки.

Для опису зрізування стеблостою у зоні дії циліндричних частин роторів найбільше підходить формула В.І. Особова [103]. Дана формула дозволяє визначити відносний стиск стебел у момент проходження валка крізь вікно АВСДЕ:

$$q_{\partial} = C(e^{a(\rho-\rho_0)} - 1), \quad (2.2)$$

де C і a – коефіцієнти, що враховують стан стеблостою на момент зрізання;

ρ і ρ_0 – відповідно щільність у зоні тиску циліндричних частин роторів і щільність зрізаного стеблостою на площі $S_{заг.}$, кг/м³.

Після виходу стебел з робочої зони роторів відбудеться відновлення валка до значення $B_{вал.}$. Тоді формула матиме вигляд:

$$q_{\partial} = C(e^{a(\rho-\rho_k)} - 1), \quad (2.3)$$

де ρ_k - щільність сформованого валка роторною косаркою, кг/м³.

Відновлення валка після дії роторів вказує на те, що стебла льону є пружно-в'язко-пластичним тілом і їх поведінка у валку залежить від значень коефіцієнтів C і a . Результати фундаментальних експериментальних досліджень з стеблами сільськогосподарських культур, зокрема льону, що представлені в науковій праці [103], вказують, що для практичних розрахунків важливим є значення показника пружності ν , який для стебел льону становить 0,33-0,44. При цьому, із зниженням вологості, він може зростати до 0,68. У випадку проходження стеблостою крізь утворене у косарці вікно ABCDE, стан стиснутих стебел необхідно оцінювати коефіцієнтом заповнення простору k_v , який визначатиметься за формулою:

$$k_v = \frac{\pi d^2 i}{4F}, \quad (2.4)$$

де d – середній діаметр стебел, мм;

i – кількість стебел, що одночасно знаходяться у перерізі вікна ABCDE, площею F , мм².

Значення коефіцієнта заповнення простору k_v відповідно, до наукової праці [103], коливається у широких межах від 0,15 до 0,70 і залежить від багатьох факторів, пов'язаних зі станом стеблостою під час збирання льону. Після 8-10 днів вилежування, відбувається завершення процесу дозрівання

коробочок (рис. 2.3, а). Дослідження розташування стебел у валку показало, що відхилення стебел у валку від центральної осі не перевищує 17° (рис. 2.3, б).

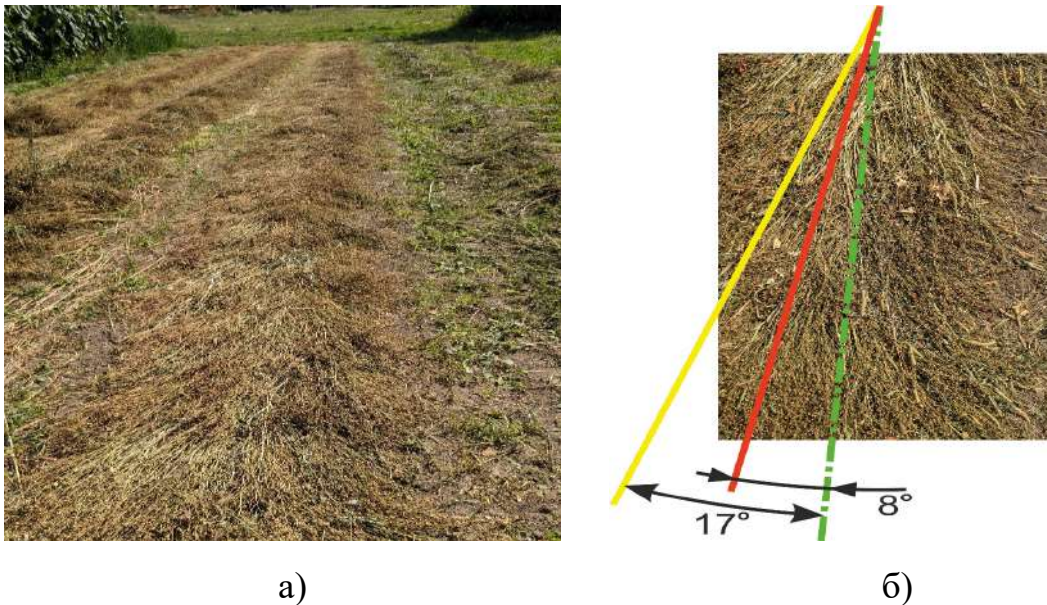


Рисунок 2.3 – Валок стебел після 8-10 днів вилежування(а) та розташування стебел у валку (б).

Дослідження упродовж місяця структури валків у період вилежування дозволило встановити три можливих варіанти форми валків, моделі яких (у поперечному перерізі) мають вигляд, що представлено на рис. 2.4.

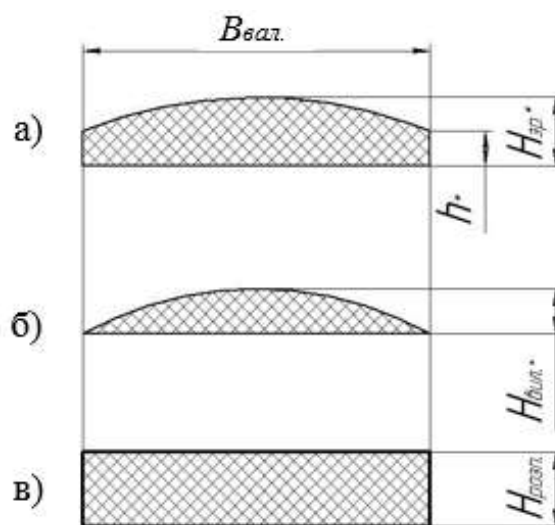


Рисунок 2.4 - Зміна форми валка у поперечному перерізі упродовж вилежування: а – свіжовкладений валок; б – після 8-10 денного вилежування; в – після обробки підбирачем-розпушувачем

У момент зрізання стеблостою максимальна кількість стебел концентрується вздовж центральної осі валка, де його висота становить $H_{зр.}^*$ (рис. 2.4, а), а висота у периферійній частині валка становить h^* . Інтенсивне зневоднення стебел спричиняє осідання валків майже вдвічі (рис. 2.4, б). Відповідно, збільшується зв'язність між стеблами і максимальна висота валка становить $H_{вал.}^*$.

Проведення розпушення валків необхідне для створення сприятливих умов розвитку для пектиноруйнівних бактерій. Зменшення щільності валків залежить від ефективної роботи розпушувального вузла за всією шириною валка для досягнення форми у поперечному перерізі, що зображена на схемі, на рис. 2.4, в. Під час подальшого вилежування під дією погодних умов валки знову будуть ущільнюватися та повертатись до форми у поперечному перерізі, що відповідає схемі, зображеній на рис. 2.4, б.

2.2 Аналіз взаємодії підбирального вузла з валками при відриванні від поверхні поля

Теоретичне дослідження взаємодії поверхонь робочих органів підбирального вузла з валками різного поперечного перерізу (рис. 2.4) не можливе без відповідних припущень, так як на окремих етапах відривання від поверхні поля на стебла будуть діяти сили розтягу і згину. Також до стебел, зокрема, і валка загалом, прикладаються ударні навантаження. За відомими дослідженнями [103], луб і деревина стебел є тілами рівномісними і визначення в них напруг та деформацій можна здійснювати за формулами опору матеріалів. При цьому попередньо відбувається згин стебла до певного радіуса кривизни і, у критичному стані, відбувається злам. Відповідно, група стебел також матиме свою кривизну згину $R_{прог.}$ (рис 2.5) та чинитиме опір руйнуванню валка. Дослідження щодо згину групи стебел, розташованих уздовж валка, не проводилися дотепер. Як видно з рис. 2.5, для збереження нерозривності валка висотою $H_{вал.}$ при його підбиранні, важливо

проаналізувати ділянку АБВ. Під час переміщення цією ділянкою відбувається прогин стебел у валку радіусом $R_{прог.}$ і згин стебел радіусом $R_{зг.}$. Значення радіусу $R_{прог.}$ залежить від стану валка (вологості, загальної довжини стебел, їх взаємного розміщення у валку, забур'яненості, тощо). На значення радіусу $R_{зг.}$, також впливають радіуси веденого барабана $R_{вед.бар.}$ та ударні навантаження, що виникають внаслідок обертання кінців зубів $R_{зуба.}$. Складність процесу відривання валків від поверхні поля зубами у зоні дії веденого барабана обумовлюється висотою зрізання стеблостою, що коливається у межах 30-50 мм.

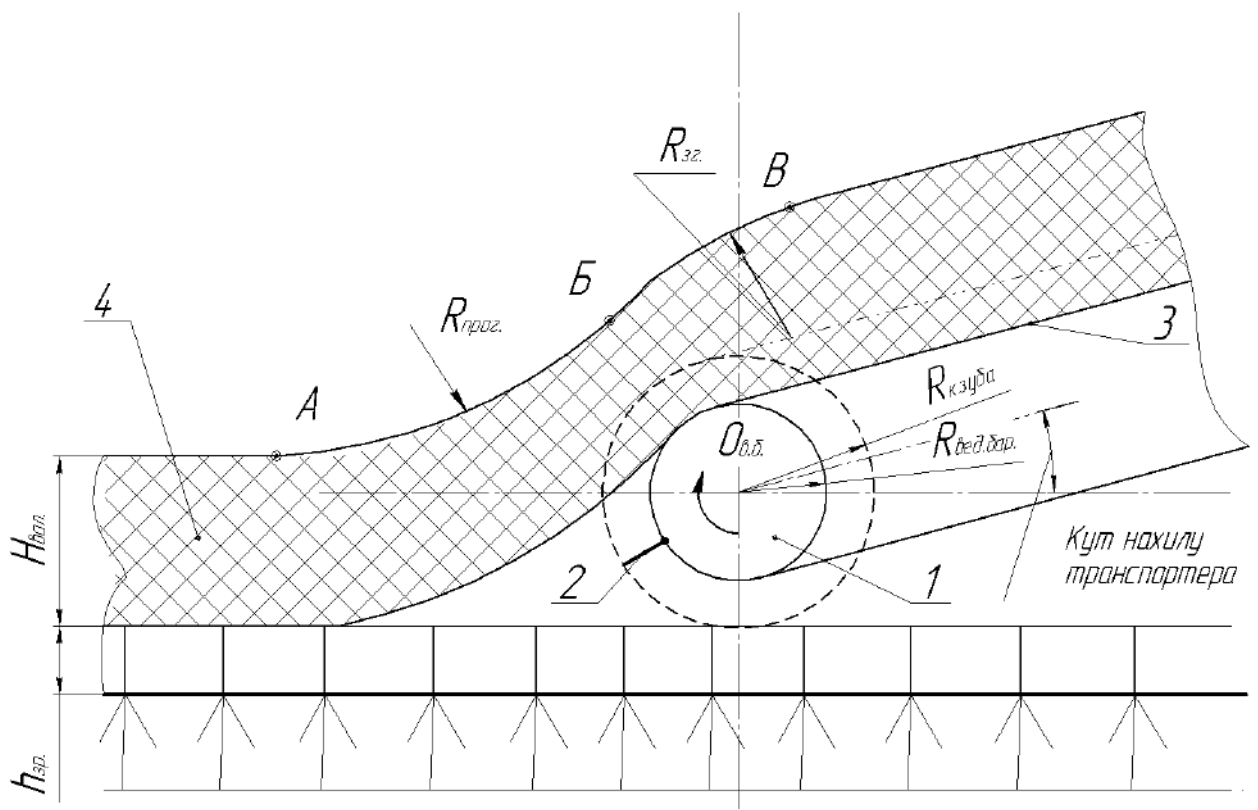


Рисунок 2.5 - Схема розташування валка у момент відриву від поверхні поля: 1 - ведений барабан підбирального механізму валка; 2 - зуб підбираючого механізму; 3 - тягова стрічка; 4 - валок

Ураховуючи працю [103], можна зробити висновок, що в процесі підбирання валка зі стебел льону олійного, що розташований вздовж осі валка (рис. 2.5) мають місце робочі процеси:

- відрив валка від поверхні поля та деформування стебел, що залежить від форми і кількості зубів 2, встановлених за шириною захоплення валка;
- втрата зв'язку між окремими стеблами залежить від їх фізичного стану;
- згин стебел у протилежному напрямку до прогину в момент відриву від поверхні поля обумовлюється геометричними розмірами веденого барабана 1;
- фіксація валка на прямолінійній ділянці тягової стрічки 3 та його переміщення без розтягу забезпечується формою та кількістю зубів 2 в один ряд.

У загальному випадку роботу, що витрачається на підбирання валка зі стебел льону олійного, можна визначити за рівнянням [67]:

$$\sum_{i=1}^5 dA = dA_1 + dA_2 + dA_3 + dA_4 + dA_5, \quad (2.5)$$

де dA_1 - елементарна робота, спрямована на подолання сил зчеплення структурних зв'язків, які виникають між стернею та нижніми шарами стебел у валку, Дж;

dA_2 - елементарна робота, що витрачається на деформування стебел у шарах при їх прогині та згині за висотою валка, Дж;

dA_3 - елементарна робота, яка затрачається на зсув і деформування двох сусідніх стебел внаслідок виникнення явища прогину та згину, Дж;

dA_4 - елементарна робота на переборення сил тертя при проникненні n - зубів у валок, Дж;

dA_5 - елементарна робота спрямована на фіксацію валка на прямолінійній ділянці підбирального механізму, Дж.

Перелічені елементарні роботи витрачаються на ділянці АБВ переміщення валка у найбільш небезпечних зонах можливого руйнування валка, де відбувається його прогин і згин. Тому, припускаючи, що валок

утворено із однорідних стебел льону, для визначення максимального прогину і згину можна розглядати валок, як балку [80], що вільно розташована на двох опорах під зосередженим навантаженням (рис. 2.6). Тоді робота A_p , що може спричинити руйнування балки буде визначатися за формулою [80]:

$$A_p = \frac{1}{2} P_p \cdot F_{max}^{n-ст.}, \quad (2.6)$$

де $F_{max}^{n-ст.}$ – максимальний прогин валка з n – кількості стебел, м;

P_p – поперечне зусилля, яке може зруйнувати валок, Н.

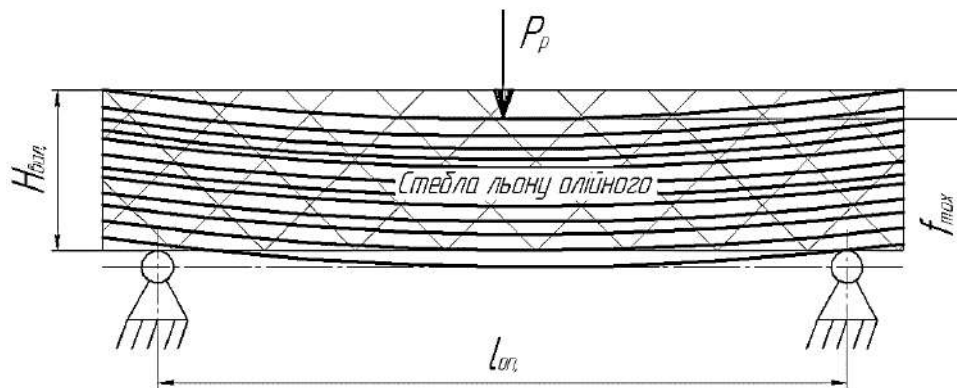


Рисунок 2.6 - Вільно розташована балка під зосередженим поперечним навантаженням P_p

Відповідно, максимальний прогин валка $F_{max}^{n-ст.}$, при якому розпочнеться процес його руйнування, визначатиметься за формулою[80]:

$$F_{max}^{n-ст.} = \frac{P_p \cdot l_{оп.}^3}{48 \cdot E \cdot I} \left(1 + \alpha \frac{E}{G^1} \cdot \frac{H_{розп.}^2}{l_{оп.}^2} \right), \quad (2.7)$$

де $l_{оп.}$ – відстань між опорами, м;

$H_{вал.}$ – висота валка, м;

$\alpha = 1,2$ – коефіцієнт зсуву шарів у валку;

$E = 3 \dots 6 \cdot 10^6$ кПа – модуль деформації стебел льону [103];

$G' = \frac{E}{30}$ - поперечний модуль зсуву для анізотропного матеріалу, до якого можна віднести валок з стебел льону олійного, кПа;

$I = \frac{V_{\text{вал.}} \cdot H_{\text{розп.}}^3}{12}$ – осьовий момент інерції перерізу валка прямокутної форми (рис. 2.4, в), м⁴;

$V_{\text{вал.}}$ – ширина валка, м.

Аналіз формули (2.7) показує, що при малому значенні $H_{\text{розп.}}$ між стеблами у валку можливий зсув стебел, що може спричинити його руйнування валка. Тому важливим параметром $l_{\text{оп}}$ – відстань між точками опор валка при його прогині або згині, що суттєво впливає на значення $F_{\text{max}}^{n-ст.}$. Відповідно поперечне зусилля P_p не буде визначальним при руйнуванні валка. Головним фактором при цьому є поздовжня розтягуюча сила, яку необхідно визначати експериментально.

2.3 Компонування конструкції підбирача-розпушувача валків для приготування трести з льону

Роздільна технологія збирання льону олійного передбачає зрізання стеблостою у фазі ранньо-жовтої стиглості, коли 70 % насінневих коробочок мають темно-коричневе забарвлення. Для завершення процесу дозрівання насіння достаньо 8-10 днів вилежування стебел у валках. На збереження кількісно-якісних показників насіння та стебел льону суттєво впливає технічне забезпечення технологічної операції підбирання валків.

Аналіз стану стеблостою та вміст волокна у стеблах льону олійного [67], вирощеного в умовах Західного Полісся України показує, що врожайність волокна у стеблах знаходиться у прямій залежності від кліматичних умов у період вегетації а також залежить від технології вирощування. За реалізації удосконаленої роздільної технології (рис. 2.7) до основних технологічних операцій слід віднести зрізання стеблостою, підбирання валків, відокремлення

насіння (обмолот валка), вкладання волокнисто-соломистої маси (обробленого валка) на поле, вилежування та підбирання трести.

Відомо, що розвиток пектиноруйнівних бактерій залежить від кількості вологи, що потрапляє на стебла і від температури навколишнього середовища. У процесі вилежування стебла у валках ущільнюються. Створення необхідних умов при вилежуванні трести з льону-довгунця забезпечують спеціальні підбирачі-обертачі. При розташуванні стебел у поздовжній площині валка необхідні інші способи захоплення та транспортування стебел. Щоб створити умови потрапляння вологи з ґрунту на стебла лише підбирального вузла недостатньо. Необхідно передбачити додатковий вузол для зменшення щільності валків.

Вважається, що при вирощуванні льону олійного, насіння є основною продуктивною частиною. Тому функціонування підбирача-розпушувача валків не повино спричиняти втрату насіння. Зберегти насіння можливо за умови, якщо в результаті взаємодії насінневих коробочок з робочими органами підбирача-розпушувача не буде руйнування.

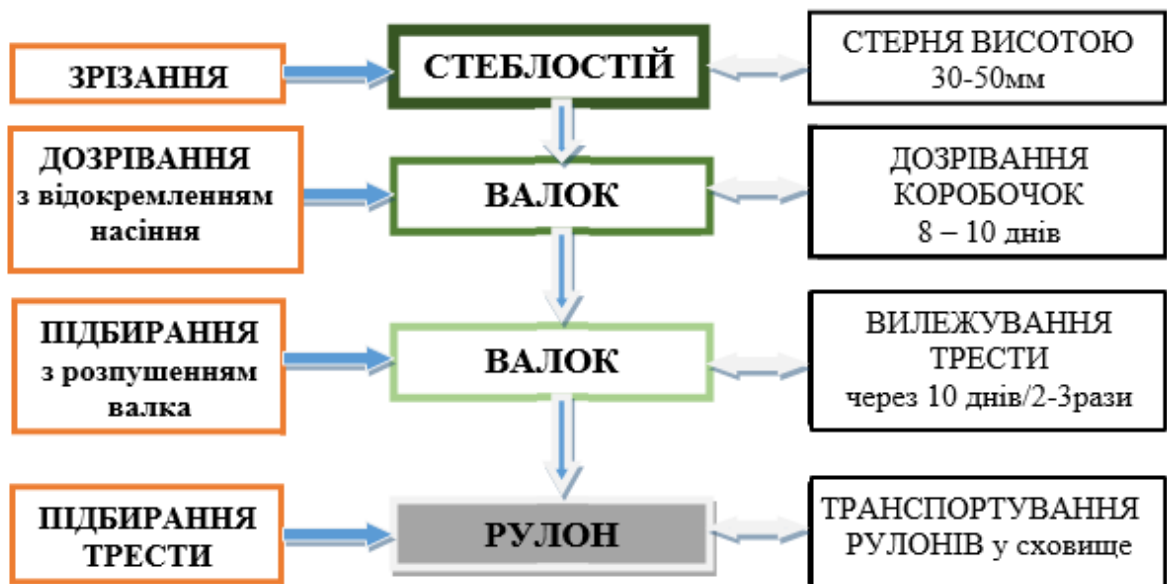


Рисунок 2.7 - Схема взаємозв'язку між технологічними операціями при реалізації роздільної технології збирання льону

Для унеможливлення руйнування насінневих коробочок льону необхідні спеціальні зуби, що забезпечать м'які режими відриву валка від поверхні поля та утримання стебел на тяговій стрічці. При проектуванні зубів необхідно враховувати, що стебла у валку з'єднанні між собою верхівковими частинами, а низький зріз над поверхнею поля у межах $h_{см.} = 30-50$ мм, передбачає збереження соломистої частини врожаю льону. Таким чином, захоплення валка доцільно проводити за верхівки стебел (рис. 2.8). Важливим параметром, що також впливає на якість виконання технологічного процесу збирання врожаю за удосконаленою технологією, є ширина валка (при зрізанні стеблостою роторною косаркою КРН 1,65 вона становить 1000 мм) та його висота $H_{вал.}$, яка є змінною величиною у процесі перетворення соломи на тресту.

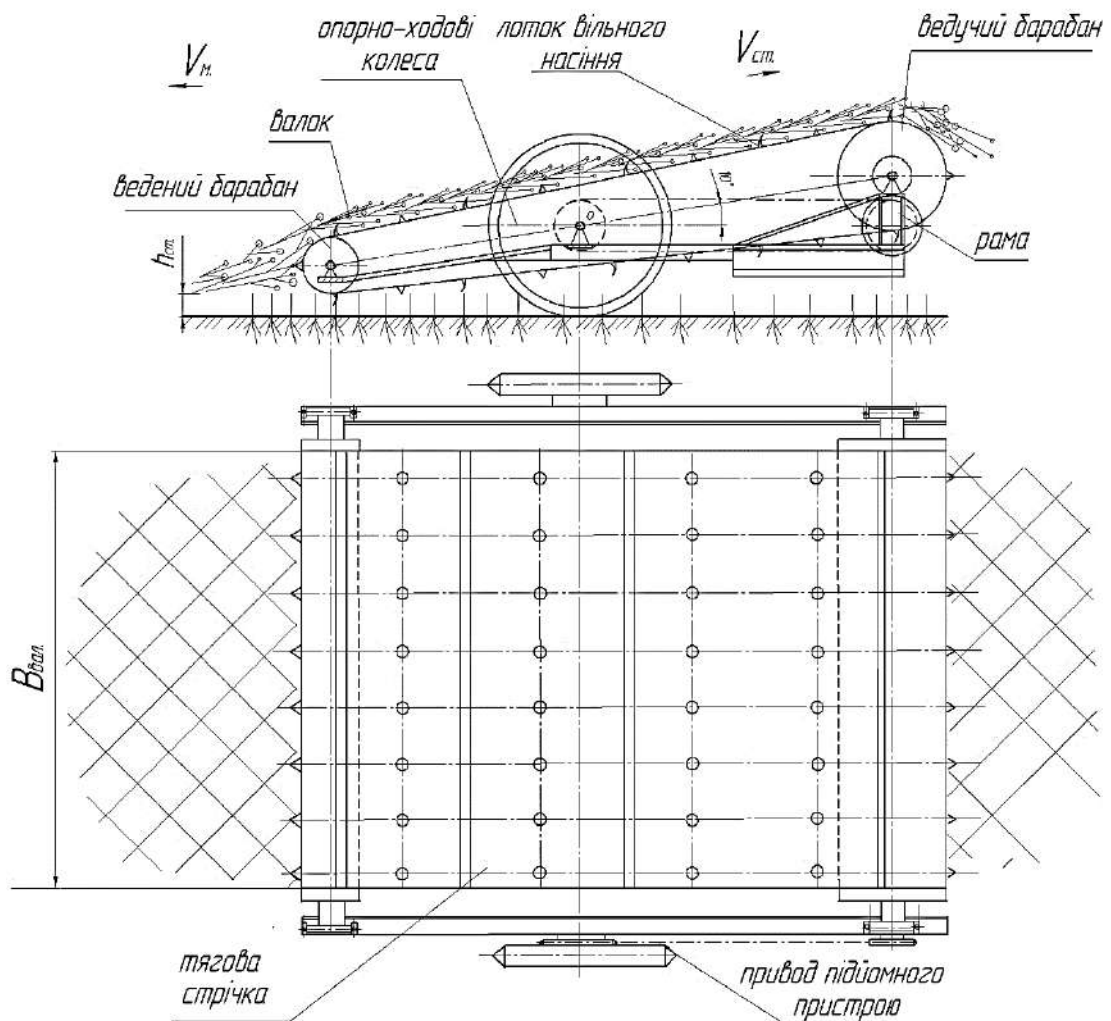


Рисунок 2.8 - Функціональна схема підбирального вузла валків льону

Щоб зберігалась нерозривність валків при передачі їх до наступних робочих органів, необхідне узгодження лінійної швидкості тягової стрічки з лінійною швидкістю руху МТА. Ця вимога забезпечується приводом її тягової стрічки від опорно-ходових коліс (рис. 2.9). Отже, розроблена конструктивно-компонувальна схема підбирача-розпушувача, що включає два вузли (рис. 2.9).

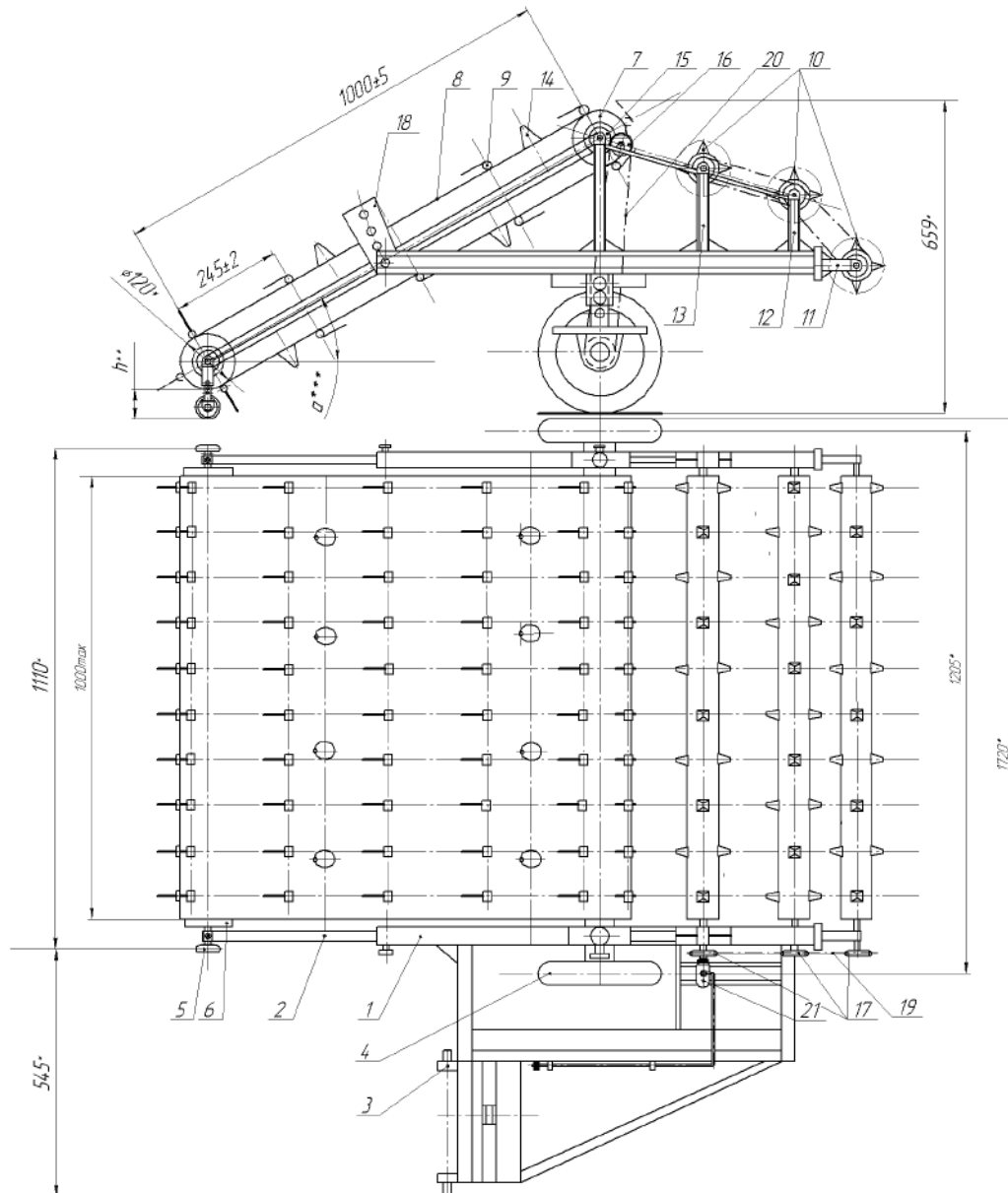


Рисунок 2.9 – Конструктивно-компонувальна підбирача-розпушувача валків льону: 1- базова рама; 2- рама підбирального вузла; 3- навіска; 4, 5- опорні колеса; 6- ведений барабан; 7- ведучий барабан; 8- тягова стрічка; 9- зуби; 10- бітер; 11,12,13- опори; 14- вловлювач; 15- шестерня; 16,17- зірочки; 18- сектор; 19,20- ланцюг; 21- гідромотор

До базової рами 1 шарнірно кріпиться рама 2 підбирального вузла і жорстко навіска 3. Базова рама 1 спирається на опорні колеса 4, а рама 2 - на опорні колеса 5 із здатністю змінювати своє положення з урахуванням висоти h розміщення валка над поверхнею поля. Підбиральний вузол містить ведений 6 і ведучий барабани 7 з тяговою стрічкою 8. На стрічці прикріплені на планках зуби 9 та вловлювачі вільного насіння 14. Привод підбирача забезпечує проміжна шестерня 15 і зірочка 16 за допомогою ланцюгової передачі 20. Зміна кута α забезпечується перестановкою фіксаторів у секторі 18 шарнірно закріпленої рами 2.

Розпушувальний вузол містить три окремі бітери 10 з кулачками спеціальної геометричної форми, які через опори 11, 12, 13 жорстко кріпляться до базової рами 1. Привод бітерів розпушувального вузла автономний. У випадку комплектування МТА, такий привод може бути від окремого гідромотора 21 та ланцюгових передач 19, що включають зірочки 17 з відповідною кількістю зубів. Запропоноване комплектування потребує експериментальної перевірки як окремих деталей, так і вузлів.

Подачу стебел q_n при збирані льону необхідно вважати питомим показником. Якщо відома урожайність культури $U_{л.}$, то подачу стебел на підбирач визначають за формулою[14]:

$$q_n = 0,1 \cdot U_{л.} \cdot B, \text{ кг/м}, \quad (2.8)$$

де B - відстань між валками, м;

q_n – подача на підбирач-розпушувач, кг/м;

$U_{л.}$ – урожайність льону, т/га.

На пропускну здатність, а відповідно і на продуктивність підбирача-розпушувача, впливають щільність валка $\rho_{л.}$, геометричні розміри сформованого валка $B_{вал.}$, $H_{вал.}$, швидкість підбирання V_m . Ці параметри визначаються відповідно урожайністю льону олійного $U_{л.}$, шириною захвату

підбирача-розпушувача, його кінематичними та конструктивними параметрами.

Тому, пропускну здатність підбирача-розпушувача валків льону олійного, можна виразити також через площу поперечного перерізу валка:

$$q = H_{вал} \cdot B_{вал} \cdot V_M \cdot \rho_L, \text{ кг/с}, \quad (2.9)$$

де $H_{вал}$ - висота валка, м;

$B_{вал}$ – ширина, м;

V_M – швидкість руху МТА, м/с;

ρ_L – щільність валка льону олійного з врахуванням тривалості вилежування, кг/м³.

2.4 Обґрунтування форми зуба та його кінематичних параметрів

Фізико-механічні властивості та будова стебла льону олійного вимагають особливого підходу до їх взаємодії з робочими органами підбирального вузла. До таких відносяться зуби, які встановлюються на планки тягової стрічки. Серед великої кількості підбирально-обертальних пристроїв для підбирання стрічки льону-довгунця [109], деякі обладнані пружинними і підпружиненими пальцями. Пальці виконують функцію грабельних апаратів.

У досліджуваному випадку, необхідно використовувати жорстко закріплені на тяговій стрічці короткі зуби певної форми. Подібні зуби встановлені на підбирачі фірми Claas (рис.1.15). Це забезпечує м'яккі режими роботи цього підбирача, зуби якого якісно підбирають валки злакових культур.

Процес підбирання валка з поверхні поля можна розділити на два послідовні етапи: відрив валка від поверхні поля і транспортування його до наступних робочих органів. Якщо привод тягової стрічки із зубами буде від

опорно-приводних коліс, то якість підбирання валка, переважно, залежатиме від форми і кінематичних параметрів захоплюючих зубів. При цьому на першому етапі підбирання необхідно зруйнувати зв'язки валка з поверхнею поля. На другому етапі, зуби повинні зафіксувати стеблову масу на тяговій стрічці. Поздовньо розташовані стебла у валку із з'єднаними верхівками утворюють суцільний масив (рис. 2.4, б), що важко піддається розтягуванню. Тому до зубів 4 (рис. 2.10), закріплених на тяговій стрічці 2, і підбирального вузла висуваються високі вимоги.

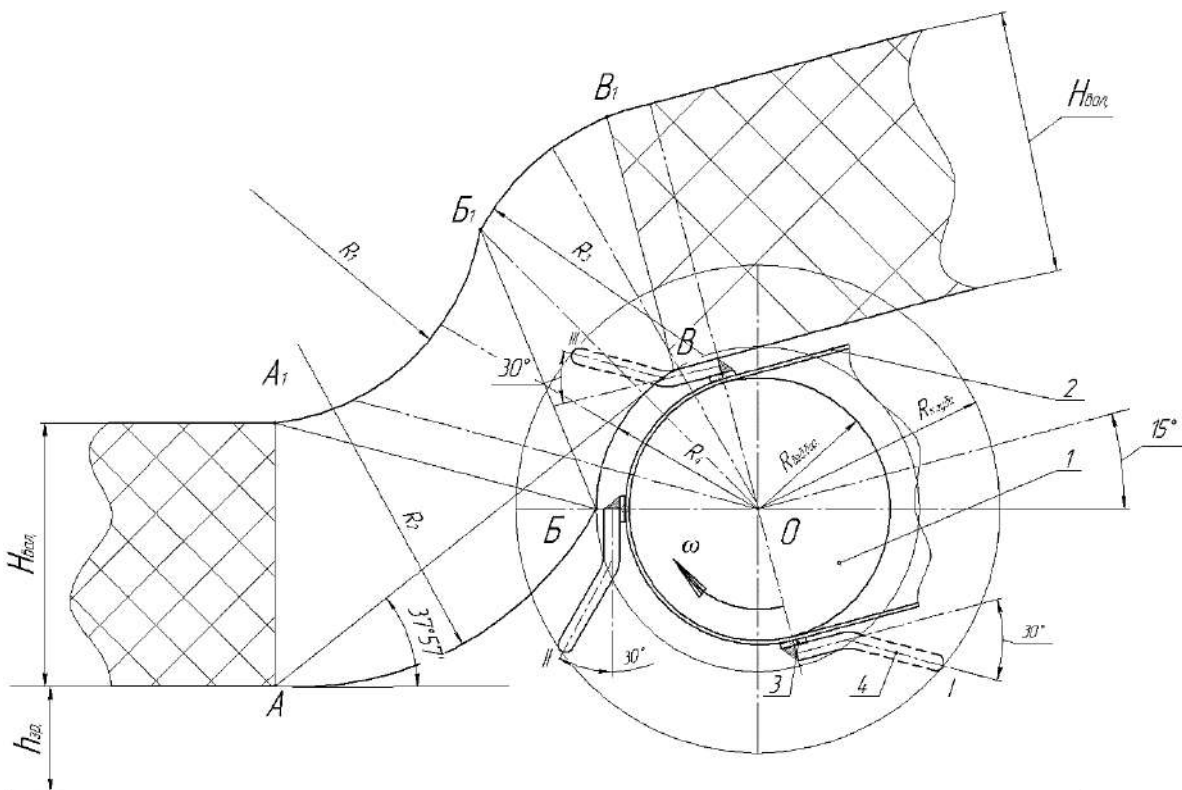


Рисунок 2.10 - Схема до визначення умов відриву валка від поверхні поля з врахуванням форми зуба: 1 – ведений барабан; 2 – тягова стрічка; 3 – з'єднувальна планка; 4 – зуб

На рис. 2.10 наведено схему нижньої частини підбирального вузла, що бере безпосередню участь у відриванні валка від поверхні поля та забезпечує його нерозривність при переході на прямолінійну ділянку. На схемі показано

ведений барабан 1, охоплений тяговою стрічкою 2, що обертається навколо т. О. До стрічки 2 з кроком 400-500 мм жорстко прикріплені планки 3, до яких приварені зуби 4 певної форми і розмірів (рис. 2.11). Для аналізу взаємодії зуба 4 на етапі відриву валка від поверхні поля, на схемі позначено три (I, II, III) найбільш характерних положення (рис. 2.10). Профіль зубів та розміри вибирались графоаналітичним методом з урахуванням низького зрізу стеблостою $h_{зр}$ та радіуса кола, яке описує крайня точка зуба $R_{к.зуба}$.

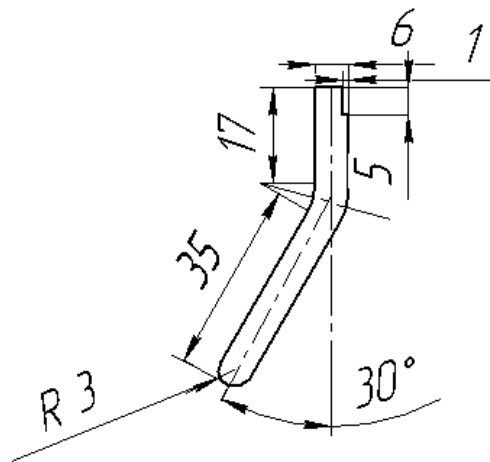


Рисунок 2.11 - Геометричні розміри робочих зубів підбирального вузла

Довжина робочої зони зуба має бути у межах 35 мм для якісного відриву валка від поверхні поля та відхилена від вертикалі на кут 30^0 . У момент контакту з валком зуб 4 не проникає у нього, а лише створює вертикальну силу. Проникнення зуба у валок залежить від кута нахилу тягової стрічки 2 (положенні III). На схемі т. Б є точкою початку фіксації валка зубом 4 та обертання валка по колу радіусом R_4 . Сила фіксації валка є постійною на дузі БВ та викликає прогин з радіусами R_1 і R_2 . При цьому, верхні шари валка на прогині радіусом R_1 (дуга A_1B_1) будуть стискатися, а у нижніх шарах на прогині радіусом R_2 (дуга АБ) будуть розтягуватися(рис.2.10). Після чого розпочинається протилежна дія, що спричиняє його згин. Відповідно, верхні шари радіусом R_3 (дуга B_1B_1) будуть розтягуватися, а нижні шари радіусом R_4 (дуга БВ) - стискатися.

Представлений аналіз прогину-згину валка вказує, що внаслідок дії зубів виникає небезпека руйнування валка у характерних зонах АБВ для нижніх шарів і А₁ Б₂ В₃ - для верхніх шарів. За стабільної роботи підбирального вузла висота валка $H_{вал.}$ на виході має бути рівною висоті валка на вході.

Сила зчеплення стебел у валку $P_{зч.}$, що визначається експериментально, є позитивною силою, оскільки на початку взаємодії зуба з нижніми шарами у т. Б діятиме прискорення на стебла, спрямоване ввєрх. Сила $P_{зч.}$ врівноважує сили тяжіння верхніх шарів. Визначимо прискорення т. Б. (рис. 2.10).

Припустимо, що т. О це початок координат, а вісь Y спрямуємо вертикально вгору. При обертанні зуба з рівномірною кутовою швидкістю барабана ω через деякий час t , т. Б переміститься у положення Б₂, для якого характерний кут повороту $\alpha = \omega t$. Відповідно, шлях який пройде крайня точка зуба у вертикальній площині дорівнює:

$$y = R_{к.зуба} \cdot \sin \alpha = R_{к.зуба} \cdot \sin(\omega t). \quad (2.10)$$

Диференціювання двічі (2.10) дозволить отримати вертикальну складову прискорення крайньої точки зуба, у котрій відбувається фіксація валка для транспортування дугою БВ:

$$\ddot{y} = -\omega^2 \cdot R_{к.зуба} \cdot \sin(\omega t). \quad (2.11)$$

Прискорення, визначене за (2.11), є важливим для проникнення зуба у валок без його руйнування. Для збереження нерозривності валка у зоні АБВ важлива умова: $R_4 \rightarrow \min$. З іншої сторони, досягти бажаного результату можна зниженням кутової швидкості ω веденого барабана 1.

Робочий процес запропонованого підбирального вузла полягає у відриві валка від поверхні поля та транспортуванні його до подальших робочих органів. Важливо розглянути кінематичний режим роботи, який враховує

відстань між сусідніми поперечними рядами зубів (планками 3, до яких кріпляться зуби 4) (рис. 2.12). Якщо розглядати складний рух крайньої точки зуба 4 у зоні дії ведучого барабана 1 $R_{вед.бар.}$, коли довша ділянка зуба $CA \geq C_1C$ відповідає за відрив валка від поверхні поля, то він буде подібним до рухів пальців барабанних підбирачів [109]:

$$\lambda = l_z / S_z, \quad (2.12)$$

де λ – кінематичний параметр підбирального вузла;

l_z - відстань між поперечними рядами зубів, закріплених на безкінцевій суцільній стрічці, м;

S_z - крок підбирального вузла, що характеризує його конструктивно-кінематичні параметри і дорівнює $V_m t_3$, м;

$t_{об.}$ - час, протягом якого ведучий барабан зробить один оберт, с.

За усталеного режиму роботи підбирача-розпушувача та застосуванні приводу тягової стрічки 2 від опорно-ходових коліс, механічна передача забезпечить сталу кутову швидкість ω ведучого барабана 1. Тому, перехід т. А з положення I в положення II буде відбуватися по циклоїдах A_0A_1 , які будуть повторюватись з врахуванням відстанні між планками 3 з зубами 4 (рис. 2.12). Довжина $l_{A_0A_1}$ циклоїди визначається за виразом:

$$l_{A_0A_1} = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{(X'(t))^2 + (Y'(t))^2} dt, \quad (2.13)$$

де t_1 – час, за який приведений барабан повернеться на деякий кут α ;

t_2 – час, за який приведений барабан повернеться на кут β , коли наступний зуб займе положення у т. A_0 ;

Умова нерозривності валка: $l_{A_0A_1} \leq l_{ст.}$

Крива циклоїди описується відомими рівняннями [12]:

$$X_A = R_{к.зуба} \sin \omega t + V_M t; \quad Y_A = R_{к.зуба} \cos \omega t, \quad (2.14)$$

де $R_{к.зуба}$ - відстань ОА від центра ведучого барабана О до кінця пальця т. А, м;

ωt - кут повороту веденого барабана, рад.;

V_M - швидкість підбирача-розпушувача, м/с.

t - час, за який ведений барабан повернеться на кут ωt , с.

Форма зуба 4, коли $CC_1 \leq CA$ і CA відхилена від осі кріплення зуба CC_1 на кут 30° показує, що якісне підбирання валка з врахуванням низького зрізу без втрат, можливе за умови:

$$h \leq h_{зр.}, \quad (2.15)$$

де h – відстань у найнижчій точці, яку може зайняти т. А при переміщенні з положення I в положення II, м;

$h_{зр.}$ – висота зрізу, м.

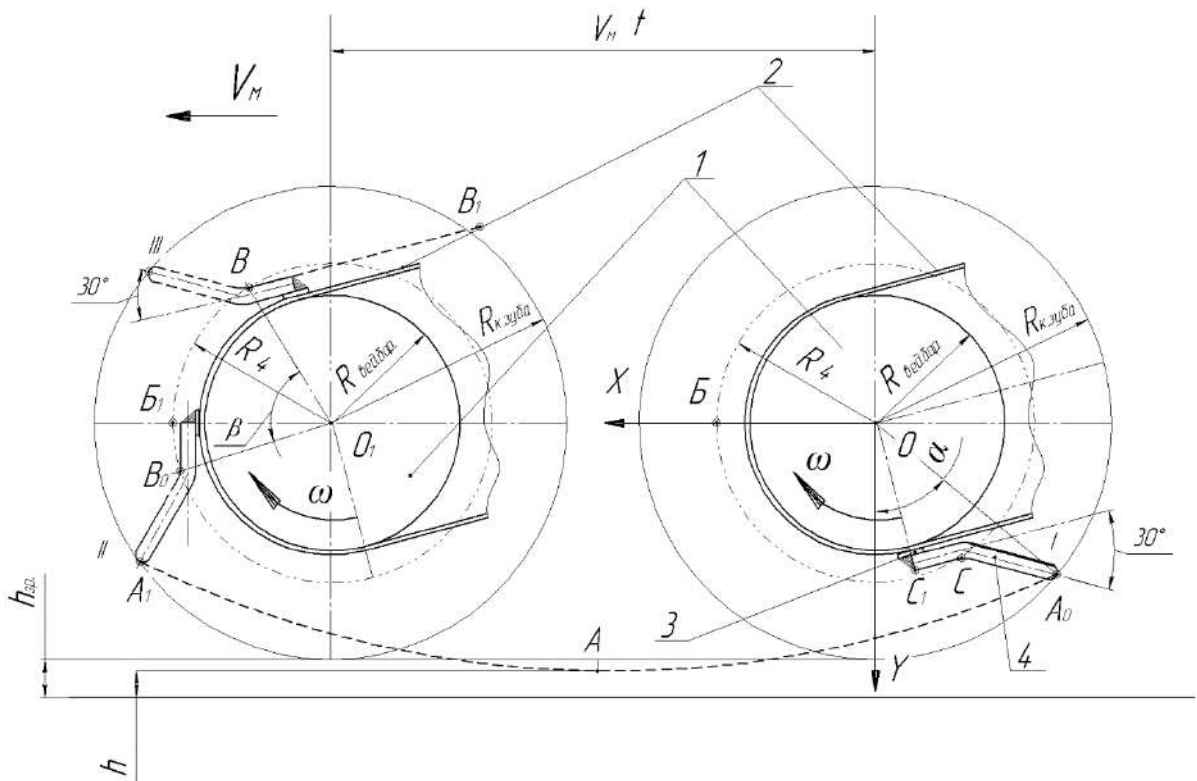


Рисунок 2.12 - Схема до аналізу робочого процесу підбирального вузла:

1- ведучий барабан; 2- тягова стрічка; 3 - поперечна планка; 4 - зуб

З врахуванням 2.30 і швидкості руху МТА, положення кінця зуба X_A а т. A_0 визначатиметься за формулою:

$$X_{A0} = R_{\text{к.зуба}} \sin\alpha + V_M t_1, \quad (2.16)$$

де α - кут повороту веденого барабана підбирального вузла;

t_1 – час, за який барабан повернеться на деякий кут α .

Відповідно, координата X наступного ряду пальців визначатиметься з врахуванням руху ведучого опорно-приводного колеса підбирача:

$$X_{A1} = V_M t_2 - R_{\text{к.зуба}} \sin\beta, \quad (2.17)$$

де t_2 - час повороту веденого барабана на кут β коли наступний зуб на тяговій стрічці підійде у т. A_0 , тобто наступна циклоїда буде розпочинатись у т. A_1 або часткова випереджати її. Оскільки $2\alpha = \omega t_1$; $\beta = \omega t_2$, то із підстановкою їх у рівняння (2.16) і (2.17) знайдемо:

$$\frac{\omega R_{\text{к.зуба}}}{V_M} = \frac{\beta - 2\alpha}{2\sin\alpha}. \quad (2.18)$$

Отримана формула (2.18) вказує на взаємозв'язок кутової швидкості ω веденого барабана підбирального вузла і поступальної швидкості V_M МТА.

2.5 Математичне моделювання кривої валка з врахуванням прогину та згину

Відповідно до схеми (рис. 2.5) при взаємодії з веденим барабаном підбирального вузла валок має криволінійну форму. Це можливо за умови, якщо зрізанні стебла рівномірно накладаються одне на одне у поздовжній площині валка та з'єднуються верхівками, утворюючи суцільне однорідне середовище. Якщо зробити припущення, що одиночне стебло у валку не

розтягується у поздовжньому напрямку, то поведінка валка у зоні дії веденого барабана буде аналогічною до гнучких тягових канатів [45, 110]. Тоді осьова лінія валка матиме вигляд кривої АДВ з прогином $R_{прог.}$ та зі згином $R_{зг.} \approx R_{вед.бар.}$ (рис. 2.13). Прогин валка $R_{прог.}$ і згин валка $R_{зг.}$ залежить від висоти h (стріла прогину валка) яка, у свою чергу, залежить від розташування горизонтальної осі веденого барабана 1 відносно поверхні поля та форми зубів, крайні точки яких описують коло радіусом $R_{к.зуба.}$. Крім того, важливою буде відстань між опорами L .

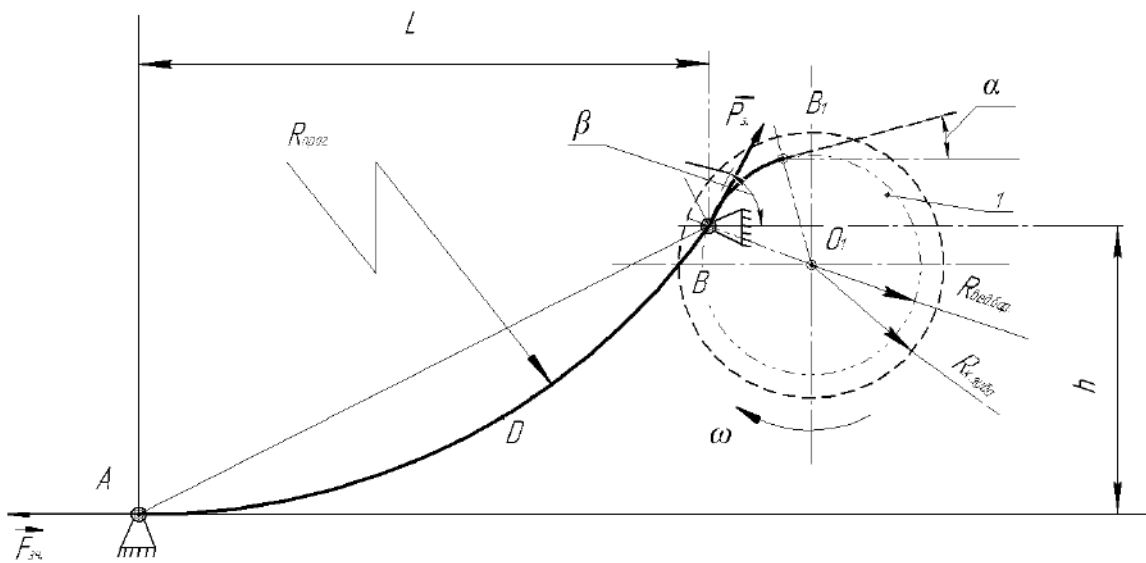


Рисунок 2.13 - Схема прогину валка: 1 - ведений барабан

Нехай інтенсивність навантаження валка рівномірно розподілена між опорами. Позначимо через q силу ваги одиниці валка. Це навантаження має розмірність (сила/довжина). Тому, при незначному прогині $R_{прог.}$, силу ваги одиниці валка можна розглядати як проекцію кривої АДВ, що дорівнює qL .

Найбільш складні умови прогину валка будуть у його правій половині (рис.2.14) у зоні контакту вершини зуба (точка В). Розглянемо умови рівноваги правої половини валка. Розташуємо вісь координат ОХ за умови, що сила зчеплення $F_{зч.}$ діє горизонтально, а ОУ в найнижчій точці прогину валка. У верхній частині кривої, в т. В буде прикладена сила $P_{з.}$, що виникає внаслідок фіксації валка за допомогою зубів (рис.2.14, а). Якщо на ділянці лінії ОВ виділити елемент валка поперечними площинами, то цей елемент буде

знаходиться у рівновазі під дією трьох сил: вертикальної $\vec{G}_{пр.}$, що є рівнодійною розподіленого навантаження \vec{q} (сила ваги одиниці валка) у виділеній зоні; двох сил $\vec{F}_{зч.}$ та \vec{P}_3 , які є реакціями на зв'язність валка та дії зуба.

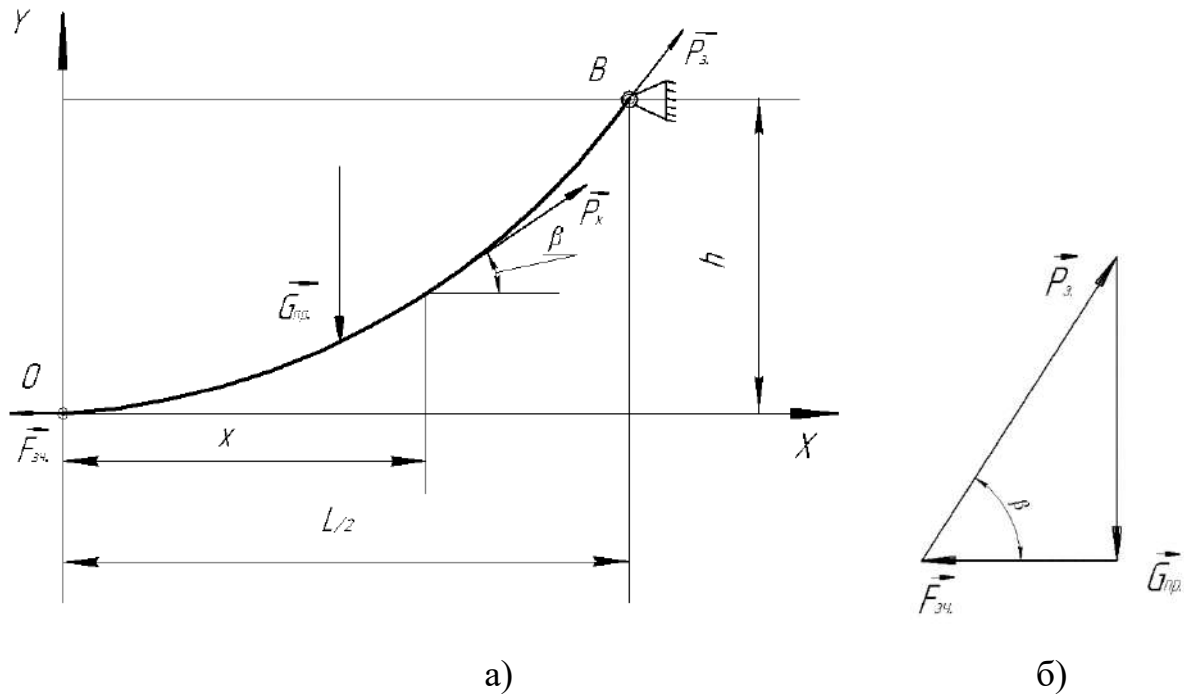


Рисунок 2.14 - Схема до розрахунку гнучкості валка: а – прогнута лінія валка; б – план сил, що діють на валок

У разі рівноваги ці сили утворюють замкнутий силовий трикутник (рис. 2.14, б). З цього трикутника маємо: $\operatorname{tg} \beta = \frac{G_{пр.}}{F_{зч.}}$. Так як у вибраній системі координат $\operatorname{tg} \beta = \frac{dy}{dx}$, то матимемо:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{G_{пр.}}{F_{зч.}} \quad (2.19)$$

Рівнодійна $\vec{G}_{пр.}$, за умови розподіленого навантаження $\vec{q} = \text{const}$ у виділеній зоні, дорівнює:

$$G_{пр.} = q \cdot L \quad (2.20)$$

де L відстань між площинами виділеного елемента, м.

З урахуванням (2.20), (2.19) набуде вигляду:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{q}{F_{3ч.}} \cdot L \quad (2.21)$$

Отримана залежність (2.21) є диференціальним рівнянням прогину гнучкої нерозтягнутої нитки [45], що за певних допущень можна аналізувати прогин валка з поздовжнім розміщенням стебел льону олійного.

Рівняння рівноваги у т. В. матиме вигляд:

$$-F_{3ч.} \cdot h + G_{пр.} \frac{L}{4} = 0, \quad (2.22)$$

де $G_{пр.} = \frac{qL}{2}$, - сила ваги половини валка між опорами А і В.

З рівняння (2.22) знаходимо:

$$F_{3ч.} = \frac{qL^2}{8h}. \quad (2.23)$$

З виразу (2.23) слідує, що чим менше h , тим більша $F_{3ч.}$. А, з врахуванням проєкцій сил на осі X та Y , можна визначити силу розтягу валка $P_з.$ у т. В. Якщо, $X_В - F_{3ч.} = 0$ і $Y_В - G_{пр.} = 0$ то, відповідно: $X_В = F_{3ч.} = \frac{qL^2}{8h}$ і $Y_В = G_{пр.} = \frac{qL}{2}$.

Тоді:

$$P_з. = \sqrt{X_В^2 + Y_В^2} = \frac{qL^2}{8h} \sqrt{1 + \frac{16h^2}{L^2}} = F_{3ч.} \sqrt{1 + \frac{16h^2}{L^2}}. \quad (2.24)$$

Другий доданок у 2.24 значно менший одиниці, тому можна скористатись наближеною формулою: $\sqrt{1 + \beta} = 1 + \frac{\beta}{2}$. Відповідно, (2.24)

матиме вигляд:

$$P_{з.} = F_{зч.} \left(1 + \frac{16h^2}{L^2} \right). \quad (2.25)$$

Як видно з (2.25) сила $P_{з.}$, що діє на валок при захопленні його зубом, мало відрізняється від сили зчеплення стебел у валку $F_{зч.}$. Для визначення даних сил необхідно знати стрілу прогину h , яку можна визначити за рівнянням кривої, за якою провисає валок. Для цього розглянемо частину валка, розташованого на відстані X від початку координат (рис. 2,14, а). Рівняння рівноваги (для проекції сил на осі X і Y) матимуть вигляд:

$$-F_{зч.} + P_x \cdot \cos \beta = 0, \quad (2.26)$$

$$P_x \cdot \sin \beta - G_x = 0. \quad (2.27)$$

де $G_x = q \cdot x$ – сила частини валка, що розглядається;

P_x – сила розтягу на правому кінці валка, що розглядається.

З рівняння (2.26) слідує, що зі збільшенням кута β (зростання h), максимальна сила розтягу буде у т. В. Виключивши з (2.26) і (2.27) P_x та з урахуванням (2.23), отримаємо:

$$tg\beta = \frac{8hx}{L^2}. \quad (2.28)$$

Так як $tg\beta = \frac{dy}{dx}$, то (2.28) набуде вигляду:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{8hx}{L^2}. \quad (2.29)$$

Співвідношення (2.28) являє собою диференціальне рівняння, що визначає форму валка у положенні рівноваги. Побудовані залежності лінії валка з використанням програми Mable (рис. 2.15) для довжин між опорами $L = 400$ мм; 800 мм і 1200 мм. Аналіз графічних залежностей показує, що при

висоті опори В ($h = 150$ мм) найбільш плавний прогин валка спостерігається із збільшенням довжини між опорами $L=1200$ мм (рис. 2.15, в). Тоді вигляд лінії валка має форму параболи і подальший згин валка у протилежному напрямі може спричинити його руйнування. Лінія валка наближається до прямої за умови $h \rightarrow \min$, що сприяє збереженню нерозривності валка при його підбиранні з поверхні поля з врахуванням жорсткості одиночних стебел при поперечному згині.

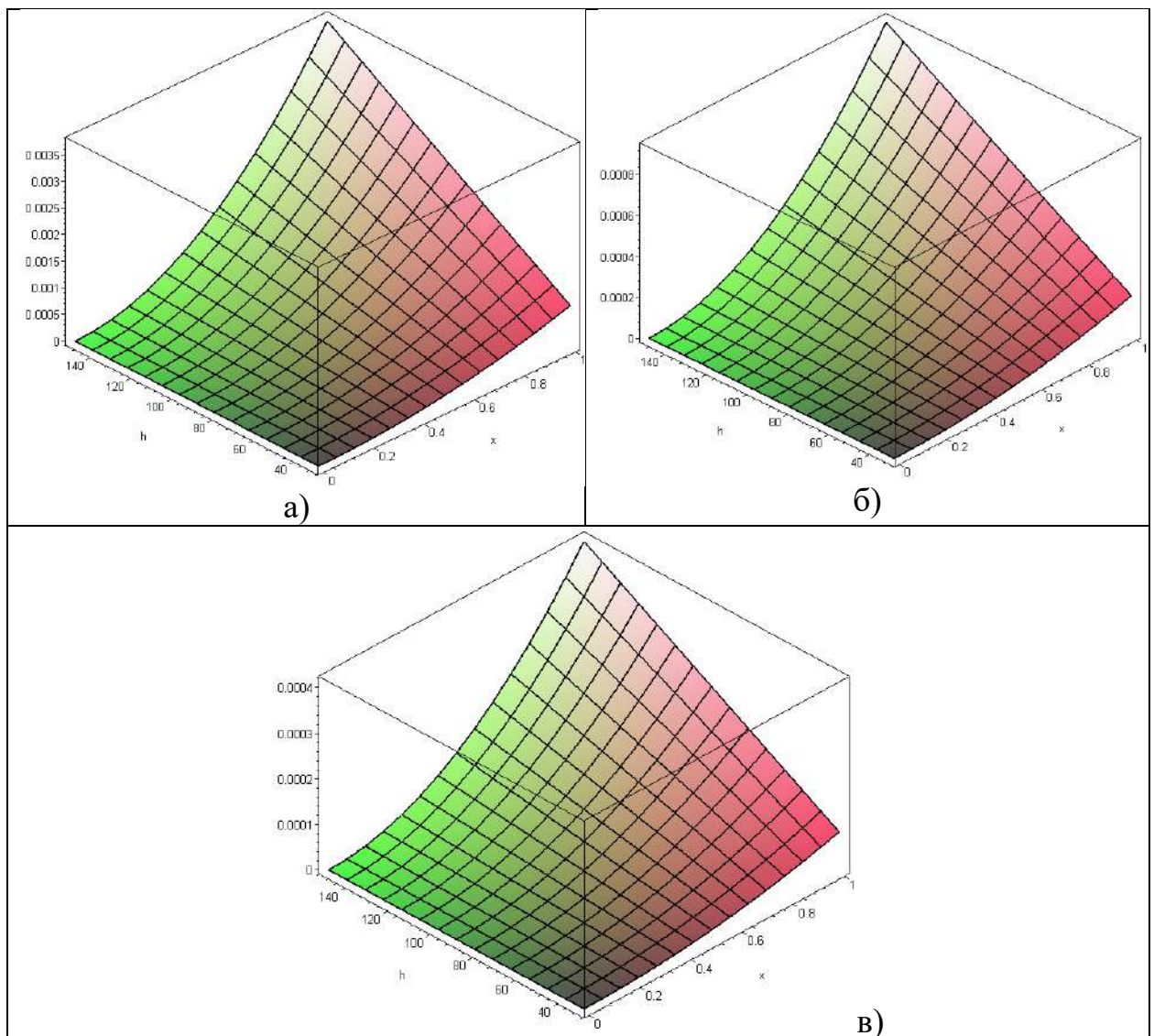


Рисунок 2.15 – Графічні залежності ліній валка з урахуванням його прогину на довжині між опорами: а – $L = 400$ мм; б - $L = 800$ мм; в - $L = 1200$ мм

Проколювання зубами шарів стебел у валку (г. В) створює умови згину валка по дузі $ВВ_1$ до моменту виходу валка на плоску ділянку тягової стрічки

підбирального механізму (рис. 2.10). За умови, що вибрана кількість зубів жорстко утримує валок, то переміщення валка по дузі ВВ₁ буде аналогічним тому, як переміщається гнучкий канат по блоку. Одним з основних параметрів, у такому випадку слід вважати питомий тиск, подібно до пари «блок - канат» [54, 110]. Якщо зробити припущення, що стебла льону олійного рівномірно розташовані за шириною та висотою валка, розподілене навантаження у зоні дії веденого барабана, визначатиметься за формулою [110].

$$q = 0,7 \sqrt{\frac{F_{зч.}}{R_{стр.} \cdot n \cdot r_{ст.}}} \sqrt{\frac{E_{стр.} \cdot E_{ст.}}{E_{стр.} + E_{ст.}}} \quad (2.30)$$

де $R_{стр.}$ – радіус дуги ВВ₁, що наближено рівний радіусу привідного барабана $R_{вед.бар.}$, м;

n – кількість стебел, які контактують з поверхнею стрічки;

$r_{ст.}$ – середній радіус стебла льону олійного, м;

$E_{стр.}$, $E_{ст.}$ – модулі пружності відповідно стрічки та стебел льону олійного, кПА.

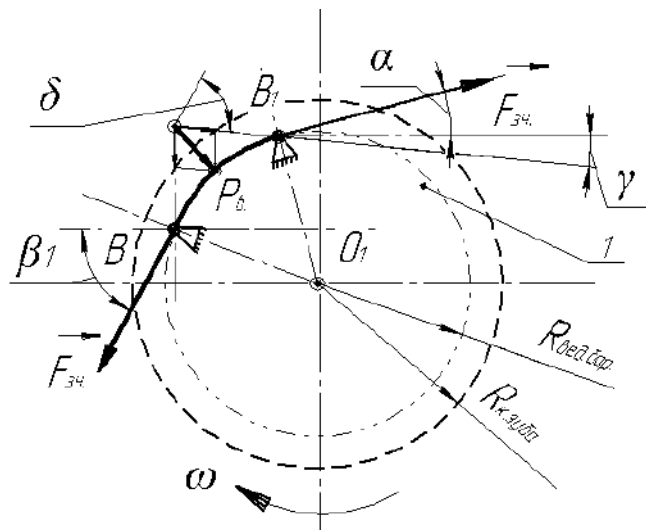


Рисунок 2.16 - Схема до визначення сили тиску валка на тягову стрічку в зоні дії веденого барабана

Валок у зоні $ВВ_1$ створюватиме тиск P_v на поверхню тягової стрічки (рис.2.16), який залежить від сили зчеплення $F_{зч.}$ та кута α нахилу тягової стрічки до горизонталі. Значення цього тиску та відповідний коефіцієнт опору від дії валка на згині визначатиметься за формулами:

$$P_v = 2F_{зч.} \cdot \sin \frac{\delta}{2}, \quad (2.31)$$

$$k_{зг.} = 2f_0 \cdot \sin \frac{\delta}{2}, \quad (2.32)$$

де f_0 – коефіцієнт тертя стебел у тягову стрічку;

δ – кут обхвату веденого барабана тяговою стрічкою.

Розрахунок значень сили тиску валка на тягову стрічку та відповідного коефіцієнта опору від дії валка на згині показує, що при куті обхвату веденого барабана тяговою стрічкою $\delta = 60-75^\circ$ та при коефіцієнті тертя стебел у тягову стрічку $f_0 = 0,20-0,50$, значення сили тиску валка буде $P_v = F_{зч.}$, а значення коефіцієнта опору $k_{зг.} = f_0$.

2.6 Математична модель взаємодії стеблової маси у валку з розпушувальним вузлом

Розпушування стеблової маси необхідне для створення сприятливих умов життєдіяльності пектиноруйнівних бактерій на етапі перетворення соломи стебел льону олійного у тресту. Зменшення щільності валка з стеблами льону олійного, що розташовані у поздовжньому напрямку до мінімально можливого значення потребує постійного його розпушення. Кількість необхідних механічних дій на валок залежить від умов навколишнього середовища, наприклад, випадання опадів, що впливає на стан і зміну параметрів валків з врахуванням періодичності проведення їх розпушування. Щільність валка збільшується під час вилежування під дією умов навколишнього середовища і, відповідно до [103], з деяким наближенням

дорівнює щільності пресованого сіна і соломи. Значення цієї щільності знаходиться у межах 120-500 кг/м³. Фізичний зміст розпушування стеблової маси полягає у подачі валка на розпушуючий вузол, конструктивна схема якого представлена на рис. 2.17.

Робочими органами розпушувального вузла є три бітера 1,2,3, що розташовані на рамі 4, яка з'єднана з базовою рамою підбирача-розпушувача (2.9). Бітери встановлені вздовж осі X , яка розташована під кутом γ до горизонталі, що забезпечує „м'які“ режими вкладання розпушеного валка на поверхню поля для подальшого вилежування. На кожному валі бітера встановлено бітерні кулачки 5 (рис. 2.18), по 8 в одній площині (4 у ряд), виготовлених з спеціальної пластмаси шляхом 3D друку.

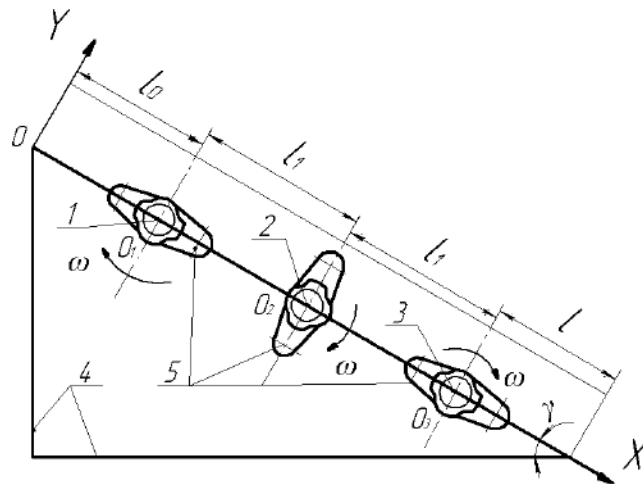


Рисунок 2.17 - Конструктивна схема розпушувального вузла: 1, 2, 3 – бітери; 4 - рама; 5 - бітерні кулачки

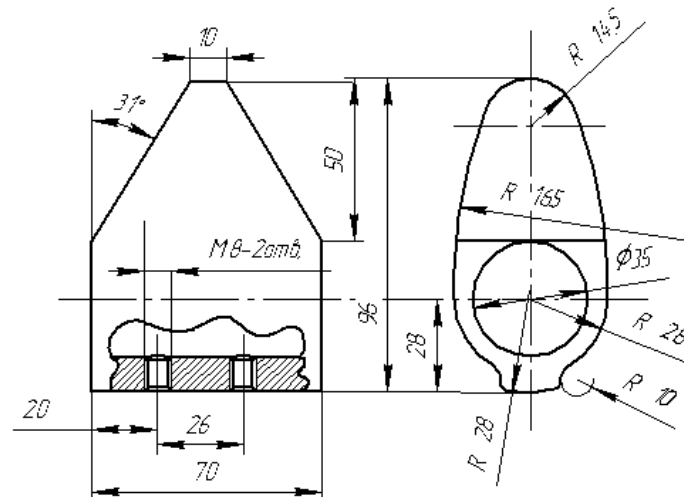


Рисунок 2.18 - Геометричні розміри бітерного кулачка

Найбільш ефективним положенням бітерних кулачків при взаємодії валка з розпушувачем буде положення, коли бітери 1,3 виконують функцію опор, а бітерними кулачками 5 бітера 2 наноситься удар по стебловій масі, чим створюється максимальний прогин стебел у вертикальній і горизонтальній площинах, що спричиняє зменшення щільності валка.

Загалом, ефективність розпушення залежить від синхронності взаємодії всіх трьох бітерів 1, 2, 3 з соломистою масою. Доцільно розглянути взаємодію бітера 1 з масою, коли його бітерний кулачок 5 займе перпендикулярне положення відносно осі X, а бітерні кулачки 5 бітера 2, виконуватимуть функцію опори валка (рис. 2.19).

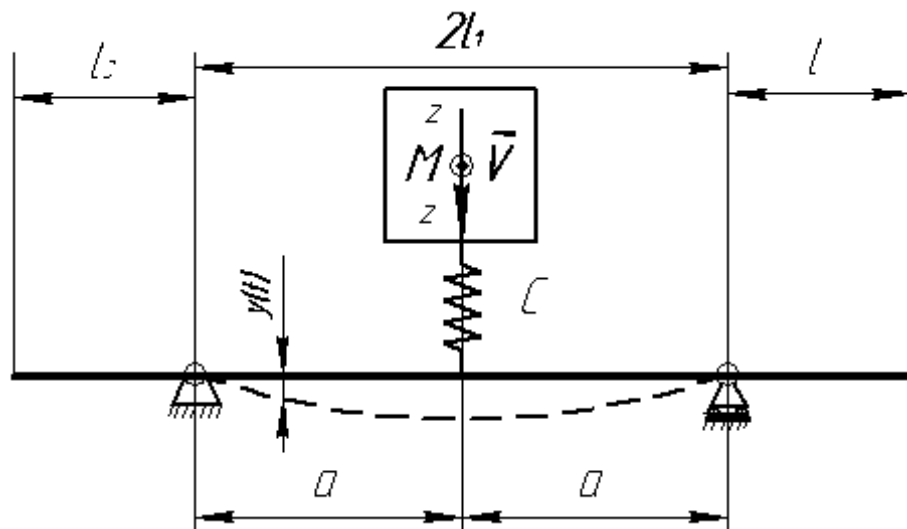


Рисунок 2.19 - Розрахункова схема при ударі приведеної маси M бітерного кулачка по валку у вигляді пружної балки

Для розгляду взаємодії валка бітерного кулачка 5 бітера 2, коли він перпендикулярний осі X, зробимо наступні припущення:

- валок нерозривний за довжиною $l_0 + 2l_1 + l$;
- валок являє собою пружно-в'язке-пластичне тіло;
- валок довжиною $l_0 + 2l_1 + l$, розглядаємо як пружну балку;
- швидкість удару \bar{v} приведеним кулачком (кількість бітерних кулачків, які взаємодіють з валком) залежить від кутової швидкості обертання бітера ω ;

- кутові швидкості обертання всіх трьох бітерів $\omega = const$;
- процес прогину валка відбувається на довжині $2 l_l$.

Прогин валка на відстані $2 l_l$ матиме вигляд [81]:

$$y = y(x, t) = u(t)f(x), \quad (2.33)$$

де $f(x)$ – задана безперервна функція координати x , яка задовольняє граничні умови;

$u(t)$ - функція часу, що підлягає визначенню.

Розв'язок буде настільки точним, наскільки точно буде описана форма деформованого стану балки (валка) $f(x)$. Скористаємося принципом Гамільтона, згідно якого система буде рухатись так, щоб функціонал $L = \int_0^t (T - \Pi) dt$ мав постійне значення, тобто варіація $\delta L = 0$. Кінетична енергія T - системи в цій задачі складається з кінетичної енергії T_M приведеної маси бітерного кулачка та кінетичної енергії T_B балки (валка):

$$T_M = \frac{1}{2} M(\dot{z})^2, \quad (2.34)$$

$$T_B = \int_0^{2a} m_{\text{пр.}} (\dot{y})^2, \quad (2.35)$$

де $m_{\text{пр.}}$ – приведена маса одиниці довжини валка.

Потенціальна енергія Π_M приведеної маси бітерного кулачка та потенціальної енергії Π_B балки (валка) на довжині $2 l_l$ відповідно дорівнюють:

$$\Pi_M = \frac{1}{2} c[z - y(a)]^2, \quad (2.36)$$

$$\Pi_B = \frac{1}{2} \int_0^{2a} EJ(y'')^2 dx, \quad (2.37)$$

де c – жорсткість деформованої частини приведеної маси бітерного кулачка;

z – відстань, яку характеризує переміщення поверхні приведеної маси бітерного кулачка;

J – центральний момент інерції бітерного кулачка відносно осі обертання ротора;

E – модуль пружності стебел льону олійного.

Тоді:

$$L = \frac{1}{2} \int_0^t \left[M(\dot{z})^2 - c(z - y(a))^2 + \int_0^{2a} m(\dot{y})^2 dx - \int_0^{2a} EJ(y'')^2 dx \right] dt, \quad (2.38)$$

Підставляючи в отриманий вираз прийняту апроксимацію (2.33), отримаємо:

$$L = \frac{1}{2} \int_0^t \left[M(\dot{z})^2 - c(z - y(a))^2 + \dot{u}^2 \int_0^{2a} m f^2(x) dx - u^2 \int_0^{2a} EJ(f''(x))^2 dx \right] dt, \quad (2.39)$$

У цьому виразі всі інтеграли за довжиною можна рахувати так як, $f(x)$ - відома функція. При цьому невідомими залишаються дві функції часу: $z(t)$ і $u(t)$. Тоді умова стаціонарності має вигляд для максимальної віддаленої точки зіткнення:

$$L = \delta \int_0^t F(\dot{u}, u, \dot{z}, z) dt = 0, \quad (2.40)$$

Відповідно до (2.40), можна записати:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial F}{\partial \dot{u}} - \frac{\partial F}{\partial u} &= 0, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial F}{\partial \dot{z}} - \frac{\partial F}{\partial z} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (2.41)$$

тобто:

$$\left. \begin{aligned} M_0 \ddot{u} + uk - cf(a)z &= 0, \\ M\ddot{z} = c(z - uf(a)) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (2.42)$$

де $k = \int_0^{2a} EJ(f''(x))^2 dx + cf^2(a)$; $M_0 = \int_0^{2a} m_{\text{пр}} f^2(x) dx$.

Ця система характеризується двома ступенями свободи. Початковими умовами розв'язку рівнянь будуть:

$$\left. \begin{array}{l} t = 0, \quad u = 0, \quad \dot{u} = 0, \\ t = 0, \quad z = 0, \quad \dot{z} = 0, \end{array} \right\} \quad (2.43)$$

Зміщення центра мас в бітерних кулачках (рис.2.18) вказує, що визначальним параметром цієї системи є збурювальна сила F_a . Ця сила є результатом прикладання вертикально спрямованої синусоїдальної збурювальної сили $F(t)$, що діє за законом:

$$F(t) = F_a \cos \omega t. \quad (2.44)$$

Коли інерційні сили та моменти багаторазово перевищують пружні і дисипативні сили та моменти, збурювальна силу F_a , яка діє на валок, визначається за формулою:

$$F_a = M_k \cdot N \cdot z_a \cdot \omega_b^2, \quad (2.45)$$

де M_k – маса бітерного кулачка, кг;

N – кількість бітерних кулачків, що діють на валок в одній площині, шт.;

z_a – амплітуда переміщення центра мас бітерних кулачків одного ряду, м;

ω_b – кутова швидкість обертання бітерів, рад/с.

Відповідно до ф. 2.50 проведено розрахунки виникнення збурювальної сили F_a на бітерах розпушувального вузла, при $M_k = 0,2$ кг, $z_a = 0.0675$ м (табл.2.2).

Аналіз отриманих даних вказує, що максимальна збурювальна сила у 378,58 Н виникатиме за наявності у ряду 4 бітерних кулачків при кутовій швидкості обертання бітерів 83,73 рад/с. Ця сила є достатною для розпушування валка з льону олійного та не спричинятиме його руйнування,

що є важливим при виконанні процесу зменшення щільності валка при перетворенні соломи в тресту. Крім цього, частота обертання бітерів є важливим параметром при проведенні дослідів із використанням факторного експерименту.

Таблиця 2.1 - Розрахункові значення збурювальної сили

Кількість бітерних кулачків, що діють на валок в одній площині N , шт.	Кутова швидкість обертання бітерів ω_b , рад/с	Збурювальна сила F_a , Н
1	41,87	23,87
	62,80	53,24
	83,73	94,64
2	41,87	47,33
	62,80	106,48
	83,73	189,29
3	41,87	71,88
	62,80	161,70
	83,73	287,44
4	41,87	94,66
	62,80	212,97
	83,73	378,58

Висновки до розділу 2

Удосконалення роздільної технологія збирання льону олійного, потребує глибокого теоретичного аналізу взаємодії валка льону олійного з робочими органами машин при відриванні його від поверхні поля та створення необхідних умов перетворення соломи льону олійного у тресту у короткі агротехнічні строки, що досягається періодичним зменшенням щільності валків.

1. Запропонована фізична модель валків льону олійного з розміщеними стеблами у поздовжній площині з врахуванням умов зрізання стеблостою роторною косаркою та формула (2.28) для визначення пропускної здатності підбирача-розпушувача з урахуванням врожайності льону олійного.

2. Обґрунтовано конструкцію підбирача-розпушувача валків і геометричну форму захоплюючих зубів з врахуванням умови відривання валка від поверхні поля, розглянуто кінематичні параметри підбирального вузла, що дозволило зробити вибір приводу тягової стрічки від опорно-ходових коліс.

3. Проведено синтез елементарних робочих процесів, які мають місце при створенні умов перетворення соломи стебел льону олійного у тресту. Запропонована формула (2.5) для визначення роботи при підбиранні валка та встановлено небезпечні зони можливого його руйнування в моменти прогину та згину. При куті відхилення стебел від центральної осі валка до 17° , стебла з'єднуються між собою верхівками, утворюючи суцільне пружно-в'язко-пластичне середовище.

4. Математичне моделювання валка на основі формули максимального прогину (2.29) дозволило встановити раціональну висоту осі обертання веденого барабана відносно поверхні поля з врахуванням сили тиску (2.31) валка на безкінцеву тягову стрічку узоні дії веденого барабана.

5. Розроблена математична модель взаємодії валка з розпушувачем, як тіл з розподіленими масами на основі принципу Гамільтона. Теоретично визначено збурюючу силу F_a , яка діє на валок з врахуванням кількості бітерних кулачків. Максимальна збурююча сила 378,58 Н виникає за наявності в одному ряду 4 кулачків, при кутовій швидкості обертання бітера ω у межах 83,73 рад/с.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Розроблення програми було необхідне для проведення експериментальних досліджень під час вирощування льону у сезонах 2023 і 2024 рр. на території учбової польової лабораторії Луцького національного технічного університету. В основу розробленої програми покладені первинні результати польових досліджень науковців кафедри аграрної інженерії імені проф. Г.А. Хайліса Луцького національного технічного університету на виробничих полях з вирощування льону олійного на насіння у господарствах Волинської і Львівської областей, що дозволило сформулювати наступні завдання:

- визначити робочі характеристики процесу отримання високоякісної трести льону обох видів: олійного і льону-довгунцю, з врахуванням стану стеблостою на момент зрізання і тривалості вилежування валків з урахуванням умов навколишнього середовища;
- на основі зміни властивостей стебел у валках, обґрунтувати конструктивно-кінематичні параметри підбирача-розпушувача валків;
- дослідити основні параметри валків, сформованих у результаті низького зрізу стеблостою;
- провести натурні випробування експериментального підбирача-розпушувача валків;
- встановити раціональні параметри валка стебел льону для технологічного процесу вилежування трести, що має забезпечити експериментальний підбирач-розпушувач валків;
- оцінити якість отриманого волокна льону внаслідок реалізації удосконаленої технології.

Складність проведення досліджень при створенні машин для реалізації процесів у сільськогосподарському виробництві пов'язано із його сезоністю. У сезоні 2023 р. вирощували два сорти: льон олійний сорту Лірина і льон-довгунець сорту Міандр. У сезоні 2024 рр. було вирощено чотири сорти льону органічного спрямування: льон олійний сортів Лірина і Антант та сорти льону-довгунця Міандр і Оберіг. Основою вирощування льону на ділянці була прийнята седератна система удобрення, закладена через висівання гірчиці білої у літній період попереднього року перед посівом льону.

3.2 Лабораторне устаткування

У роботі досліджували властивості стеблостою льону олійного на всіх етапах збирання та вилежування трести. Етапи експериментальних досліджень, що передбачали визначення параметрів стеблостою:

1. Оцінювання якості стеблостою для отримання волокна. В якості обладнання для провєлення дослідів використовували метричні засоби: рулетка, лінійки, кутники, квадратні рамки, динамометр, електронні ваги, різного типу затискачі. Для визначення вологості стебел льону використовували сушильну шафу, бюкси, ексікатор, щипці згідно ДСТУ 4138-2002.

2. Дослідження з визначення сили брання стебел $P_{бр}$ і зусилля різання стебел P_r в окоренковій зоні для вибору технології збирання льону, що забезпечить мінімізацію втрат волокна. Для проведення досліджень були розробленні установки (рис. 3.1).

3. Удосконалення роздільної технології збирання льону з низьким зрізом стеблостою з урахуванням природно-кліматичних умов на період збирання. Зрізання стеблостою проводили МТА у складі трактора та роторної косарки КРН - 1,65 (рис. 3.2).

Різні кліматичні умови збирання льону у різні роки вплинули на кількість соломистої маси на момент збирання. У сезоні 2023 р. опади припали

на період вегетації, тому валки були об'ємисті (рис. 3.2, а). У 2024 р. була відсутня роса у період вегетації, тому маса погонного метра валка була у два рази меншою. Роса розпочалася відразу після зрізання стеблостою, що позначилося на вилежуванні валків (рис. 3.2, б). Зливові дощі вимагали скорочення часу між обертанням валків.

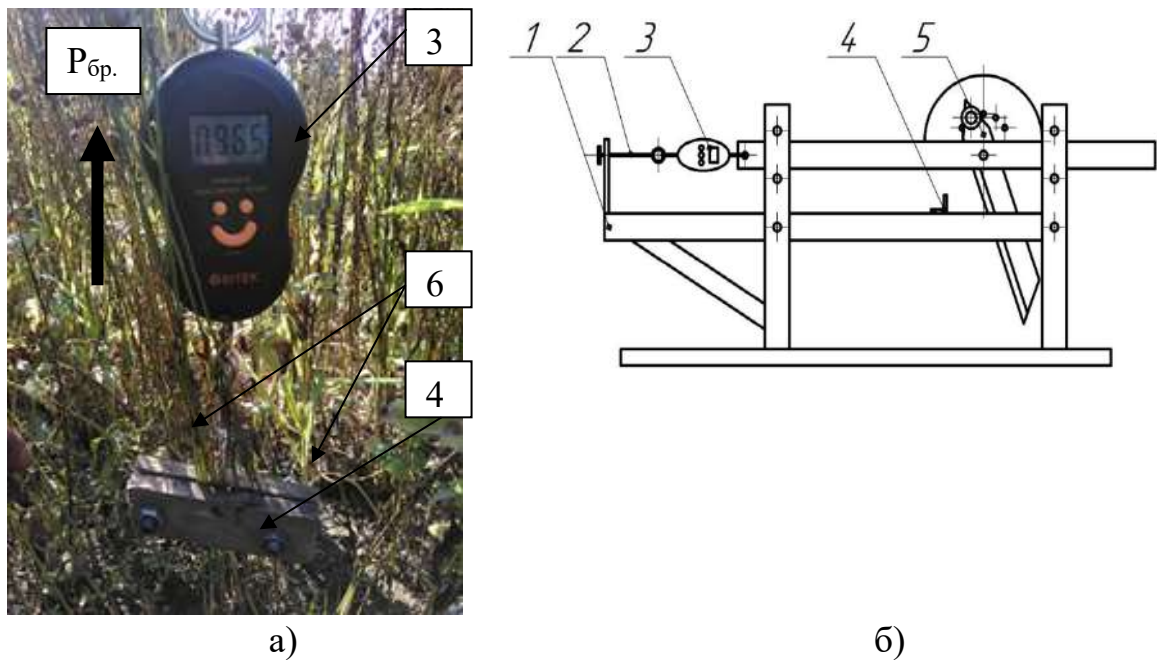


Рисунок 3.1 - Визначення зусилля брання (а) та зусилля різання стебел (б): 1 – рама; 2 – гвинт; 3 – динамометр; 4 – затискач; 5 – ніж на секторі фіксації кута різання; 6 - стебла



Рисунок 3.2 - Формування валків льону при зрізанні стеблостою роторною косаркою КРН - 1,65: а – 2023 р.; б – 2024 р. (валки після 10 днів вилежування)

4. Етап перетворення соломи льону у тресту передбачав 3-х разове підбирання і розпушування валків для зменшення їх щільності. Перед початком проведення цієї операції проводили оцінювання стану валків, дослідження з визначення радіусу прогину (згину валка) і сили розтягу $P_{роз.}$. Для цього використовували засоби, зображенні на схемах (рис. 3.3 та рис. 3.4).

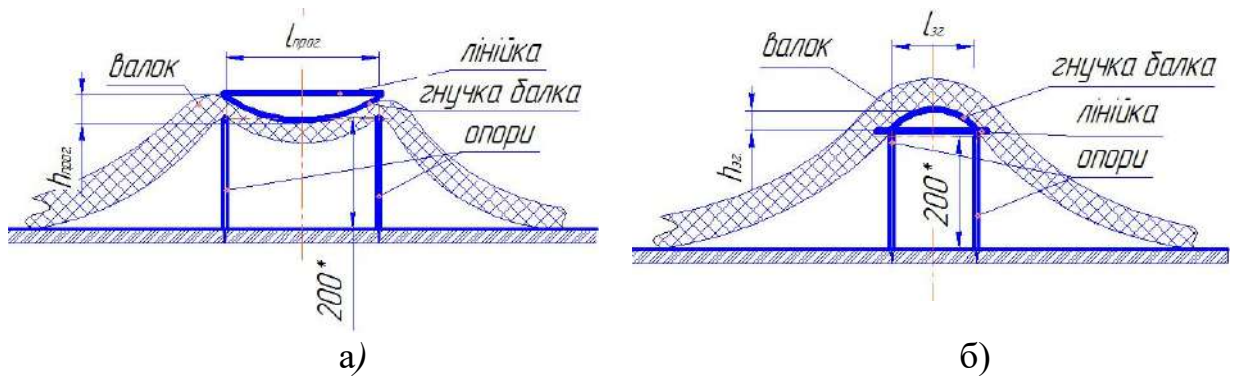


Рисунок 3.3 - Схеми встановлення засобів для дослідження прогину (а) і згину (б) валка

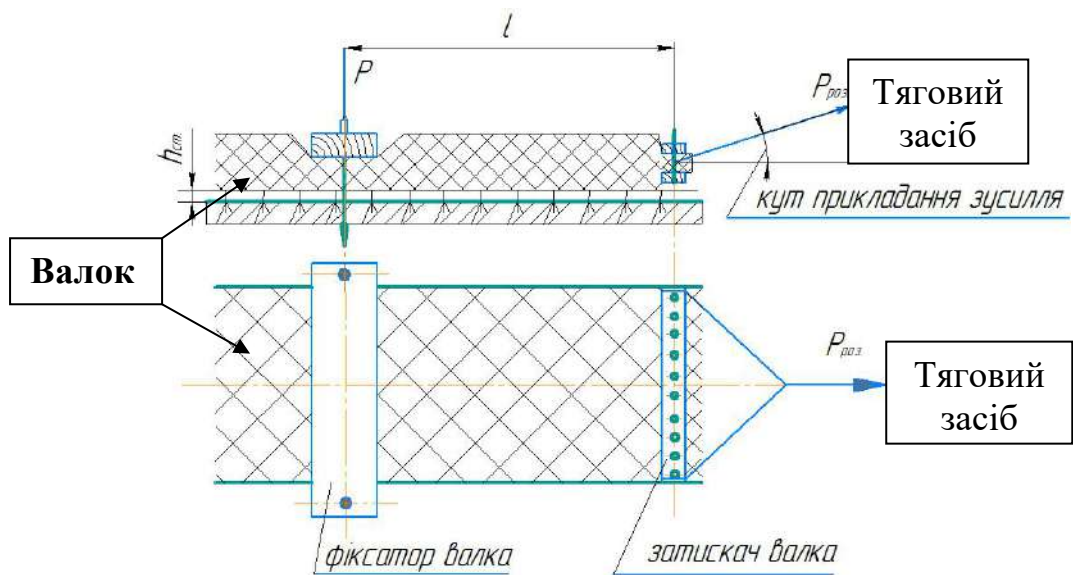


Рисунок 3.4 - Схема розташування засобів для визначення зусилля розтягу $P_{роз.}$ валка

5. Для виділення волокна з приготовленої трести і оцінювання її якості використовувалась м'ялка лабораторна ЛМ - 3 (рис. 3.5), міліметровий папір і ваги.



Рисунок 3.5 - Загальний вигляд лабораторної м'ялки ЛМ - 3.6

У лабораторних умовах визначали кут зламу стебел соломи і трести, який може впливати на чистоту підбирання валків і ефективність роботи підбирального вузла з врахуванням ступення вилежування трести. Дослідження з визначення з'єднання стебел верхівковими частинами (зусилля розтягу стебел $P_{роз.}$) проводили шляхом моделювання. Стебла з коробочками вкладали на горизонтальну поверхню, забезпечуючи їх зчеплення верхівковими частинами (рис. 3.6) з врахуванням рядків від одного до п'яти.

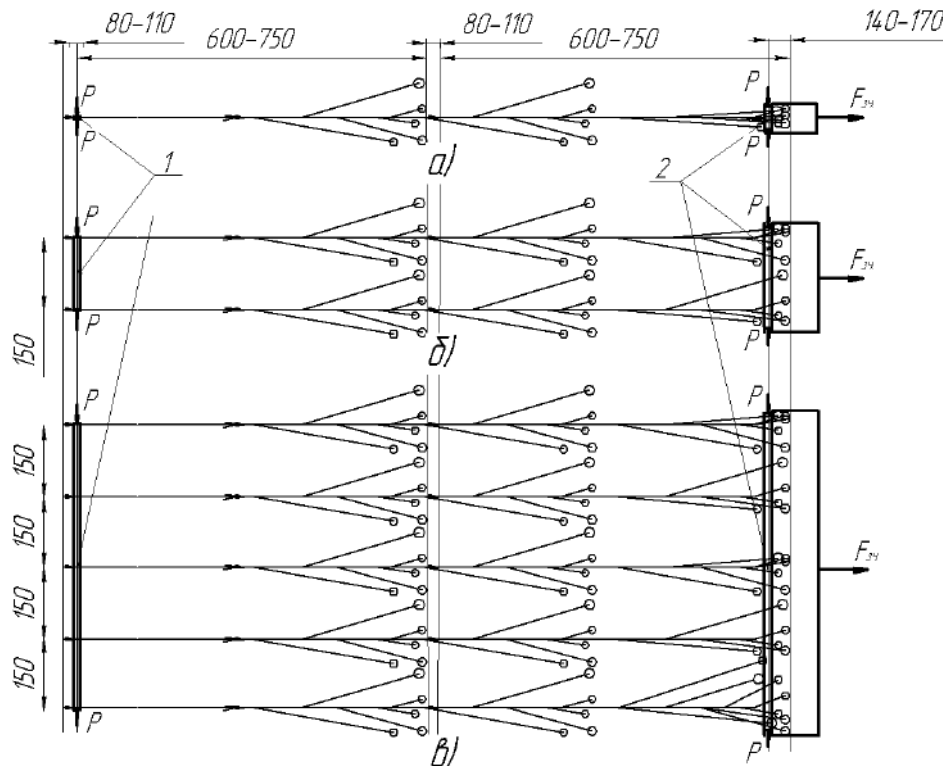


Рисунок 3.6 – Схема вкладання стебел у потік за кількістю рядків: а - одного; б - двох; в - п'яти

3.3 Компонувальна схема експериментального підбирача-розпушувача валків

Процес приготування трести у технології збирання льону з низьким зрізом стеблостою потребує нового технічного засобу, який би підбирав і розпушував валки. Конструкції підбирача-розпушувача повинна передбачати можливості комплектації з іншими сільськогосподарськими машинами для відокремлення насінневої частини врожаю льону олійного. Для виготовлення експериментального підбирача-розпушувача було розроблено його компонентну схему (рис. 3.7), на якій зображено взаємне розташування конструктивних елементів засобу.

Технічний засіб містить раму 1 з навіскою 6, що опирається на два пневматичних колеса 4 і 5 та опорні колеса 12. На рамі встановлено підбиральний вузол 2 і розпушувальний вузол 3. Підбиральний вузол 2 містить ведучий 7 і ведений 8 барабани, які охоплює тягова стрічка 9. На стрічці жорстко закріплені металеві планки 10 з привареними до них під кутом 30° зубами 11. Привод тягової стрічки 9 здійснюється від опорно-приводного колеса 5 через ланцюгову передачу 13. Для узгодження напрямів руху агрегату і тягової стрічки 9 на приводі встановлена проміжна зірочка 14.

Розпушувальний вузол 3 містить три послідовно розташовані бітери 15. Кожен з бітерів оснащений бітерними кулачками 16, по 8 в одній площині. Для попередження намотування на бітери стебел між бітерними кулачками 16 встановлено пластинчасту решітку 17. Ланцюговий привод 18 забезпечує обертання бітерів 15 від електродвигуна 19.

Основні параметри підбирача-розпушувача, які необхідно враховувати на час розроблення:

- 1) для підбирального вузла:
 - кут α нахилу тягової стрічки до горизонталі.
 - відстань $l_{пл}$ між планками 100-400, мм;
 - кількість зубів на одній планці 1-8, шт.;

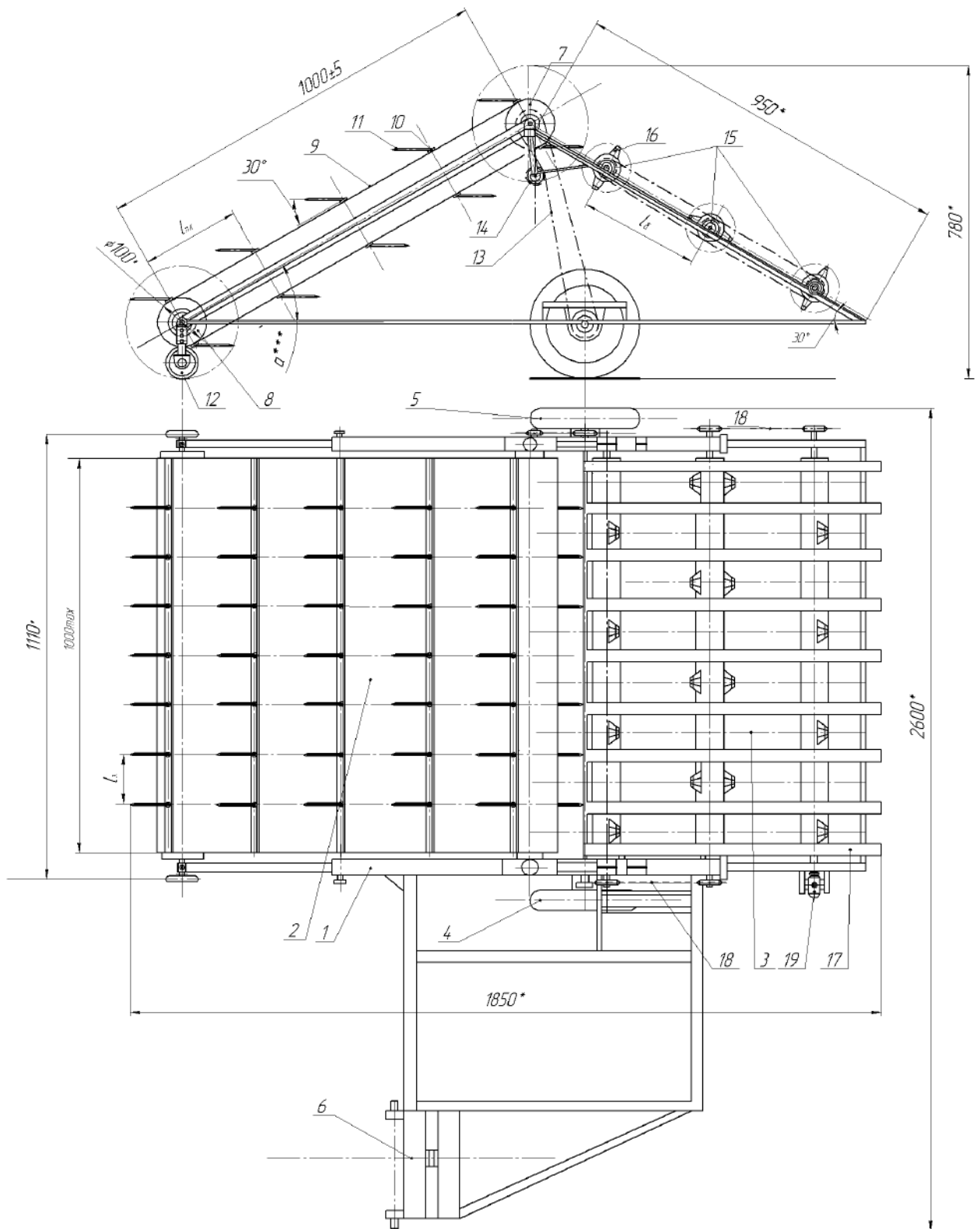


Рисунок 3.7 - Конструктивно-компонувальна схема експериментального підбирача-розпушувача валків: 1 – рама; 2 – підбиральний вузол; 3 – розпушувальний вузол; 4,5,12 – колеса; 6 – навіска; 7,8 – барабани; 9 - стрічка; 10 – планка; 11 – зуб; 13,18 – ланцюг; 14 – зірочка; 15 – бітери; 16 – бітерний кулачок; 17 – решітка; 19 – електродвигун.

- швидкість руху тягової стрічки, м/с;
- стан стеблостою (загальна довжина стебел, мм);
- погонна маса валка, кг/м;
- щільності ρ валка, кг/м³;
- вологості стебел, %.
- відхилення від паралельності стебел у валку, град.

Для розпушувального вузла:

- кут між осями обертання бітерів і горизонталю, град;
- відстань між осями бітерів, мм;
- висота розташування пластинчатої решітки відносно осей обертання бітерів, мм;
- частота обертання бітерів, об/с;
- погонна маса валка, кг/м;
- зусилля розтягу валка, Н;
- сили зчеплення стебел у валку, Н.

3.4 Методика оцінювання якості стеблостою

Умови Західного Полісся України сприяють формуванню волокна у стеблах льону. Проте існує низка інших випадкових факторів, коли параметри стеблостою не досягає очікуваних значень. Проведені дослідження з сортами льону олійного Лірина і льону-довгунця Міандр вказують, що для досягнення високих результатів в отриманні волокна необхідно ретельно віднестись до всіх етапів від підготовки поля до збирання. Підживлення ділянки сидератом з гірчиці білої (рис. 3.8, а) позитивно вплинуло як на якість стеблостою, так і його чистоту. На цьому фоні, у 2024р. забур'яненість посівів льону зросла на 50% (рис.3.9, б).

Оцінювання розвитку стеблостою льону фіксували у кожній фазі розвитку за висотою. На момент зрізання стеблостою, крім довжини стебел, проводили визначення діаметра стебел в окоренковій зоні та урожайності

насінневої частини. На параметри стеблостою вплинув зсув періоду випадання опадів від проростання насіння до настання зеленої фази стиглості. Дослідні ділянки з різними сортами закладались шляхом висіву насіння спеціальною дослідною сівалкою. Довжина гону дорівнювала 45,0 м. Ширина смуги кожного сорту становила 1,25 м. Відбір стебел проводили за всією довжиною ділянки через кожні 5 м з відступом на 1 м від краю смуги. Для цього виготовлений квадрат 1х1 м накладався на посів (рис. 3.10, а) і у його межах шаховим методом відбирали по 8-10 стебел в одній точці. Таким чином, отримували кількість стебел з 1 м², що відповідає стандартній методиці визначення врожайності льону.



а)

б)

Рисунок 3.8 - Стеблостій під час збирання: а - сезон 2023 р.; б - 2024 р.

З отриманої кількості стебел методом випадкового відбору (рис. 3.9, б) проводили вимірювання і визначення означених значень, які дозволяють оцінити врожайність окремого сорту загалом і якість стеблостою зокрема.



а)

б)

Рисунок 3.9 - Визначення: а – врожайності; б – довжини стебел

3.5 Методика визначення зусиль, які виникають при формуванні валків за роздільною технологією збирання льону

Процес збирання льону за роздільною технологією передбачає брання стебел або їх зрізання на різній висоті. При цьому брання стебел притамане лише технологіям збирання льону-довгунця, вирощеного на дерново-підзолистих ґрунтах, для яких характерне незначне зусилля зчеплення корінців стебел з ґрунтом [102]. Запропонована роздільна технологія з низьким зрізом стеблостою, вирощеного на глинистих ґрунтах, вимагає встановлення обох зусиль брання і різання стебел в окоренковій зоні. Ці фактори впливають на чистоту збирання стеблостою та якість трести.

Багаторічні дослідження [22, 67] з встановлення зусилля брання стебел (рис. 3.10, а) показали, що максимальне зусилля брання виникає при прикладанні нормальної сили до стебел (рис. 3.10, б). При цьому використовували затискачі стебел і динамометр.

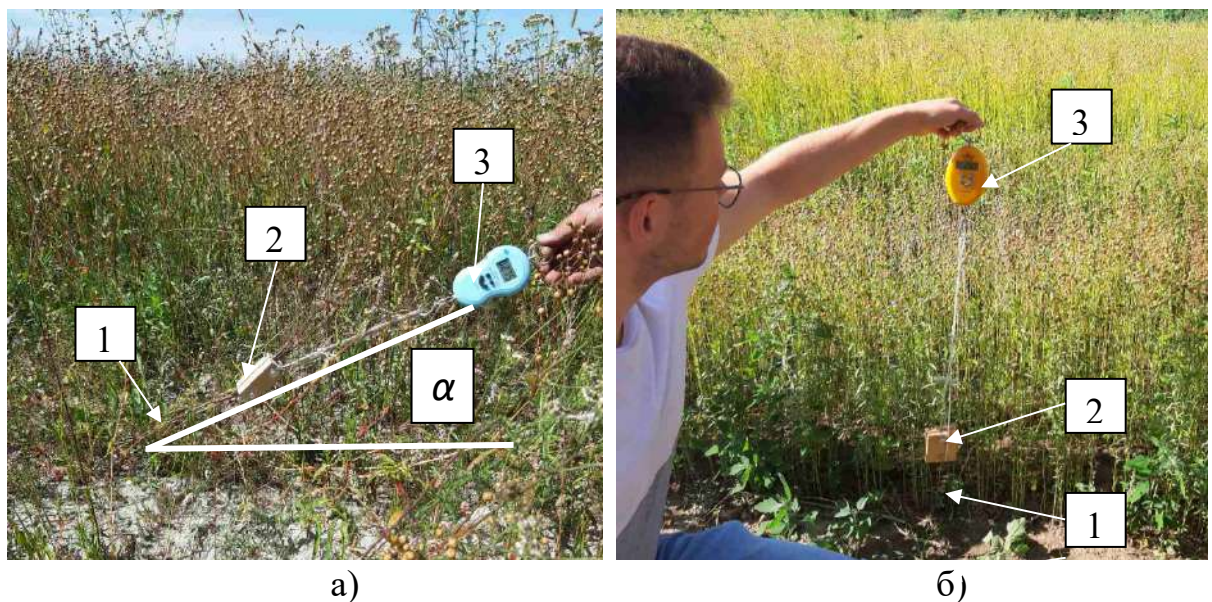


Рисунок 3.10 - Визначення зусилля брання стебел льону олійного: а - на виробничо-дослідній ділянці Волинської ДСГДСГ Карпатського регіону (с. Рокині); б - дослідній ділянці Луцького національного технічного університету; 1- стебла; 2 – затискач; 3 - динамометр

Дослідження з встановлення впливу кута брання α на опір стебел бранню показали (рис. 3.10, а), що збирання стеблестою льону олійного шляхом брання є недоцільним, оскільки кут α не сприяє чистоті брання. Стебла при цьому обриваються, як правило, в окоренковій частині. Тому у подальших дослідженнях зусилля брання намагались прикладали лише вертикально (рис. 3.10, б), а кількість одночасно затиснутих стебел на перевищувала п'яти. Також ставили за мету порівняти значення зусилля, яке необхідне для брання стебел льону олійного і льону-довгунця.

Досліди проводили у п'ятикратній повторюваності та за стандартною методикою проводили оброблення результатів.

Після відбирання стебел у лабораторних умовах визначали зусилля різання стебел в окоренковій частині. Досліди проводили з використанням установки, представленої на рис. 3.11, б. Для цього стебла розкладали на рівну поверхню та відбирали по одному стеблу кожного сорту (рис. 3.11, а). Проводили вимірювання їх довжини лінійкою, діаметр в окоренковій зоні електричним мікрометром МК 0 - 25.

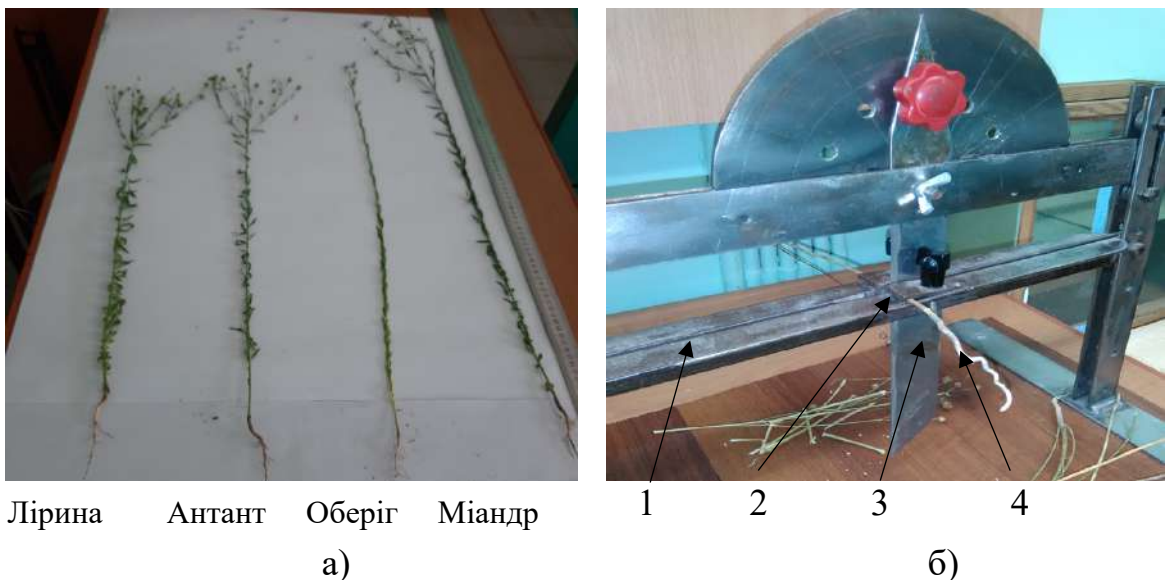


Рисунок 3.11 - Відбирання одиночних стебел (а) і прилад для встановлення кута різання стебел (б) в окоренковій зоні: 1 – рама; 2 - фіксуєча планка; 3 – ніж на секторі фіксації кута різання; 4 – стебло

Дослід проводили наступним чином. Відібране стебло 4 вкладали на раму 1, у якій передбачено прорізь для перміщення ножа 3 таким чином, щоб відмічена відстань на стеблі від корення становила 30-50 мм та жорстко фіксували місце різання планкою 2. Підводили лезо ножа 3 до контакту з стеблом, налаштовували динамометр і гвинтом створювали зусилля. Момент падіння цифрового значення на шкалі динамометра вважали силою P_p розрізання стебла. Змінними параметрами були діаметр стебла в окоренковій частині та кут нахилу леза до горизонталі. Таким чином, для стебла одного діаметру отримували три значення.

3.6 Методика визначення прогину і згину валків та кута прогину стебел

Технологія збирання льону з низьким зрізом стеблостою для отримання трести передбачає періодичне піднімання валків з поверхні поля і зменшення їх щільності. У процесі взаємодії підбирального вузла з валком відбувається його прогин і згин, можливий злам окремих стебел, особливо на етапі завершення процесу. Досліди проводили у польових умовах, відповідно до схем рис. 3.3. У лабораторних умовах на стандартному приладі (рис. 3.12) визначали кут зламу одиночних стебел трести.

При встановленні значень прогину $h_{прог.}$ і згину $h_{зг.}$, черговість операцій була наступна. У місцях дослідження валків за допомогою двох металевих опор відривали валок від поверхні поля на висоту 200 мм. Витримували час у межах 5-10 хв для забезпечення впливу дії сили тяжіння на стебла. Після стабілізації прогину(згину) за допомогою гнучкої балки і лінійки фіксували величини прогину $h_{прог.}$ і згину $h_{зг.}$ При цьому змінним параметром була відстань між опорами, відповідно $l_{прог.}$ і $l_{зг.}$ Досліди проводили тричі. Кожен дослід виконували у трьохкратній повторності.

Методика проведення дослідів була наступною. Відбирали стебла за діаметрами: 1-2 мм, 2-3 мм і більше 3 мм, на висоті 200 мм від корення.

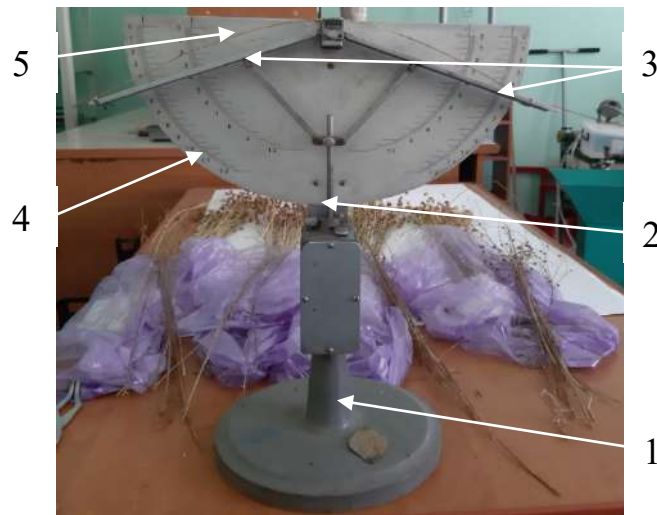


Рисунок 3.12 - Загальний вигляд приладу для визначення кута зламу стебел: 1 – штатив; 2 - натяжний механізм; 3 – фіксуєчі планки; 4 - градуйований сектор; 5 – зафіксоване стебло

Прилад (рис. 3.12) приводили у робоче положення встановленням фіксуєчих планок в горизонтальне положення натяжним механізмом. Вкладали стебло у планки та фіксували його на кінцях. Відпускали зажим натяжного механізму. Планки з стеблом опускалися до моменту їх зупинки або зламу стебла. За допомогою градуйованого сектора фіксували кут максимального прогину або зламу стебла. Кількість повторюваностей по одній групі стебел, за діаметром, дорівнювала п'яти. Проводили оброблення даних та будували графічні залежності кута прогину в залежно від вологості стебел.

3.7 Методика визначення зусилля з'єднання стебел у валках

На початковому етапі досліджень з визначення зусилля з'єднання стебел між собою було проведено моделювання процесу у лабораторних умовах (рис. 3.13). Моделювали процес з'єднання стебел між собою з одного рядка, при об'єднанні стебел з двох і п'ять сусідніх рядків. При цьому враховували відстань між сусідніми рядками (рекомендована відстань для висіву льону 150 мм) та відстань у рядку між стеблами, яка приймалась у межах 80-110 мм. Стебла вкладали на горизонтальну поверхню із зміщенням 80-110 мм на

довжину подвійного перекриття висоти стеблостою. У дослідженнях для льону олійного за висоту стеблостою вважали висоту у межах 600-750 мм. Для льону-довгунця висоту стеблостою необхідно приймати у межах 1000 мм.

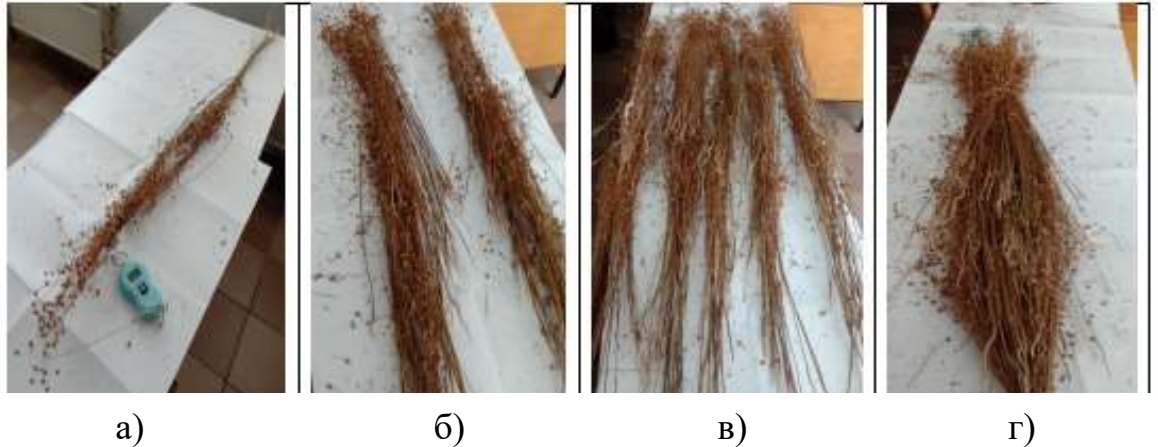


Рисунок 3.13 - Загальний вигляд об'єднання стебел з: (а) одного; (б) - двох; (в, г) - п'яти рядків

Після вкладання стебел верхівки змішували до появи сили зчеплення. Ця дія буда необхідна лише для одного рядка. Об'єднання двох і більше рядків автоматично призводить до з'єднання верхівкових частин між собою та виникнення сили зчеплення. Сформований валок стебел з одного боку жорстко фіксували планкою 1 до горизонтальної поверхні на відстані 80-110 мм, а з іншого - рухомим затискачем на відстанні 80-110 мм. До рухомого затискача через динамометр прикладали зусилля. Початок падіння показника сили, що фіксувалась на динамометрі, вважали зусиллям зчеплення стебел між собою. Досліди проводили з трикратною повторюваністю. Аналогічні досліди були проведені з льоном-довгунцем.

За аналогічним принципом, відповідно до схеми на рис 3.4, у польових умовах перетворення стебел соломи у тресту, були проведені досліди з визначення зусилля розтягу валків. Досліди проводили у збиральних сезонах 2023 р. і 2024 р. При визначенні зусилля змінними були відстань між площинами затискання і захвату валка l та кут прикладання тягової сили

відносно горизонталі. Досліди проводились з п'ятикратною повторюванністю з відповідним обробенням результатів.

3.8 Методика визначення якості волокна льону

Якість волокна залежить від тривалості і умов вилежування трести [97, 98]. Вихід і якість льонотрести і льоноволокна визначають згідно з ДСТУ 4149:2003 «Треста лляна. Технічні умови» і ДСТУ 5015:2008 «Волокно лляне коротке. Технічні умови». Також необхідно керуватись наступними технічними умовами: ТУ У 01.1-2303511525-001:2016 «Солома льону олійного. Технічні умови», ТУ У 01.1-05480298-001:2017 «Треста льону олійного. Технічні умови» і ТУ У 01.1-05480298-002:2018 «Волокно льону олійного. Технічні умови» [32, 33].

У дисертаційній роботі необхідно було оцінити вихід і якість волокна. Вихід волокна з трести та засміченість визначали ваговим методом. Колір волокна - органолептично, відповідно до спеціальних таблиць, вологість - ваговим методом, за допомогою висушування в сушильній шафі, а ступінь вилежаності трести характеризували показником відокремлюваності.

Визначення вмісту волокна у тресті здійснювали шляхом зважування проб після їх обробки на лабораторній м'ялці МЛ-3,6 з точністю визначення 0,1 % з подальшим округленням. Стебла пропускали через м'ялку 5-6 разів, поки вміст костриці не перевищував 50%. Потім струшували і відокремлювали вручну рештки костриці. Вміст волокна в тресті (у відсотках) визначали за формулою:

$$C = \frac{100 \cdot M_1}{M_2}, \% \quad (3.1)$$

де M_1 - маса волокна, г;

M_2 - маса трести, г.

3.9 Методика проведення експериментальних досліджень з визначення якості підбирання валків і зменшення їх щільності

Експериментальний підбирач-розпушувач валків (рис. 3.16) дозволив провести у польових умовах два багатофакторних експерименти та оцінити якість підбирання валків і зменшення їх щільності. Отримані результати дозволили запропонувати рекомендації виробництву з розробки підбирального і розпушувального вузлів.



Рисунок 3.14 – Загальний вигляд експериментального підбирач-розпушувача валків на випробуваннях

Багатофакторні експерименти проводили з використанням симетричного некомпозіційного плану Бокса-Бенкіна другого порядку [47, 102]. Планування експериментальних робіт передбачало етапи: кодування факторів, складання таблиці факторів і рівнів варіювання, складання план-матриці планування (додаток Д 2, табл. Д 2. 1), реалізація плану експерименту згідно з матрицею, визначення коефіцієнтів рівнянь регресії, складання рівнянь регресії, перевірку адекватності отриманих математичних моделей у вигляді рівнянь регресії, розкодування факторів.

Чотирифакторний експеримент дозволив визначити якість підбирання валків. Для його реалізації необхідно було провести 27 дослідів. До факторів було віднесено:

- робочу швидкість агрегата $V_{agr.}$ (швидкість стрічки підбирача), м/с;
- кут нахилу механізму підйому валка α , град. (кут нахилу тягової стрічки);
- відстань між планками із зубами, $l_{пл.}$, мм;
- кількість зубів на одній планці (в одному ряду), $n_з$, шт.

При складанні таблиці факторів і рівнів варіювання (табл. 3.1) враховували результати попередніх досліджень і інформацію, отриману з літературних джерел. План Бокса-Бенкіна розрахований на використання трьох рівнів для кожного фактора – верхнього (+1), основного (0) і нижнього рівня (-1) (додаток В 2).

Таблиця 3.1 - Фактори та рівні варіювання

Рівні варіювання	Фактори			
	Робоча швидкість агрегата $V_{agr.}$, м/с	Кут нахилу механізму підйому валка α , град.	Відстань між планками $l_{пл.}$, мм	Кількість зубів на планці $n_з$, шт.
	x_1	x_2	x_3	x_4
Верхній (+1)	1,15	45	400	8
Основний (0)	0,90	30	225	5
Нижній (-1)	0,65	15	50	2
Інтервал варіювання ε	0,25	15	175	3

Спочатку кодували фактори для переведення натуральних факторів у безрозмірні величини. Зв'язок між кодованими і натуральними значеннями факторів встановлювався залежностями:

$$x_1 = \frac{V_{agr.} - V_{agr.0}}{\varepsilon_1}; \quad x_2 = \frac{\alpha - \alpha_0}{\varepsilon_2}; \quad x_3 = \frac{l_{пл.} - l_{пл.0}}{\varepsilon_3}; \quad x_4 = \frac{n_з - n_{з.0}}{\varepsilon_4}, \quad (3.2)$$

де $V_{\text{агр.0}}$, α_0 , $l_{\text{пл.0}}$, $n_{з.0}$ – значення факторів на основному рівні, відповідно, робоча швидкість агрегата, кут нахилу механізму підйому валка, відстань між планками, кількість зубів на планці.

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$ – інтервал варіювання фактора.

Функція відгуку η_0 в області факторного простору є нелінійною, тому подана у вигляді рівнянь регресії:

$$\begin{aligned} \eta_0 = & b_{o0} + b_{o1}x_1 + b_{o2}x_2 + b_{o3}x_3 + b_{o4}x_4 + b_{o12}x_1x_2 + b_{o13}x_1x_3 + b_{o14}x_1x_4 + \\ & + b_{o23}x_2x_3 + b_{o24}x_2x_4 + b_{o34}x_3x_4 + b_{o11}x_1^2 + b_{o22}x_2^2 + b_{o33}x_3^2 + b_{o44}x_4^2; \end{aligned} \quad (3.3)$$

Коефіцієнти регресії визначаємо згідно з методикою [102].

Довірчі інтервали оцінок коефіцієнтів регресії знаходили за формулою:

$$\Delta_b = t_{\alpha; f_1} S_b \quad (3.4)$$

де $t_{\alpha; f_1}$ – критерій Стьюдента при вибраній довірчій ймовірності α та числі ступенів вільності f_1 ;

S_b – середньоквадратичні помилки оцінок коефіцієнтів регресії.

Коефіцієнти регресії вважаються значущими, якщо виконується умова:

$$b \geq \Delta_b. \quad (3.5)$$

Перевірка адекватності моделей проводили за F -критерієм Фішера. Його розрахункове значення визначаємо за формулою:

$$F_{f_2, f_1}^{\text{розн.}} = \frac{S_{\text{неад.}}^2}{S_y^2}, \quad (3.6)$$

де $S_{неад.}^2$ – дисперсія неадекватності;

S_y^2 – дисперсія досліджу.

Число ступенів вільності:

$$f_2 = N - k' - 1, \quad (3.7)$$

де k' – число значущих коефіцієнтів рівняння регресії.

Величина $S_{неад.}^2$ дорівнює:

$$S_{неад.}^2 = \frac{SS_{неад.}}{f_2}. \quad (3.8)$$

Оскільки один дослід у центрі плану тричі дублюється, сума квадратів $SS_{неад.}$ визначається за формулою:

$$SS_{неад.} = n_o (y_{орозр.} - \bar{y}_o)^2 + \sum_{u=1}^{24} (y_{урозр.} - \bar{y}_{уексп.})^2, \quad (3.9)$$

де $y_{орозр.}$ – розрахункове значення відгуку досліджу в центрі плану;

$y_{урозр.}$ – розрахункове значення відгуку в i – му досліді;

$\bar{y}_{уексп.}$ – середнє експериментальне значення відгуку в u -му досліді.

Модель вважається адекватною, якщо виконується нерівність:

$$F^{розр.} \leq F^{табл.}, \quad (3.10)$$

де $F^{табл.}$ – табличне значення F -критерію для вибраного рівня значущості.

Запропонована методика проведення експерименту за планом Бокса-Бенкіна дозволяє отримати математичну модель для оцінювання якісного показника (чистоти підбирання) в процесі підбирання валків льону запропонованим підбиральним вузлом. Аналіз рівнянь регресії дає можливість оцінити вплив на зміну вказаного показника таких факторів, як швидкість руху агрегату, кута нахилу підбираючого механізму, відстані між планками на тяговій стрічці та кількості зубів на одній планці.

Планування трифакторного експерименту необхідно було провести для дослідження щільності валка в процесі його підбирання. Для цього використовували симетричний некомпозиційний план Бокса-Бенкіна другого порядку. Цей експеримент дозволив встановити зменшення щільності валків. Для його реалізації необхідно було провести 15 дослідів. Вибрані фактори (табл. 3.2):

- частоту обертання бітерів n , об/с;
- висота розташування решітки відносно бітерних кулачків, мм;
- вологість стебел у валку, %.

Таблиця 3.2 - Фактори та рівні варіювання

Рівні варіювання	Фактори		
	Частота обертання бітерів, n об/с.	Висота встановлення обмежуючої решітки h , мм	Вологість стебел у валку W , %
	x_1	x_2	x_3
Верхній (+1)	15,0	55	40
Основний (0)	8,5	30	26
Нижній (-1)	2,0	5	12
Інтервал варіювання ε	6,5	25	14

Дослідження проводили, використовуючи матрицю планування експерименту (додаток В 2, табл. В 2. 1). У розкодованому вигляді матриця планування експерименту представлена у табл. В 2. 2 (додаток В 2). Порядок проведення дослідів встановлювали, використовуючи таблицю випадкових

чисел. Функція відгуку ρ_p , кг/м³ (щільність валка) в області факторного простору подана у вигляді нелінійного рівняння регресії:

$$\rho_p = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{11} x_{12} + b_{22} x_{22} + b_{33} x_3. \quad (3.11)$$

Аналіз рівняння регресії дозволив оцінити вплив частоти обертання бітерів, висоти розташування обмежуючої решітки відносно бітерних кулачків та вологості стебел на якість розпушення злежаного валка.

Запропонована методика проведення експериментів за планом Бокса-Бенкіна дозволяє отримати математичні моделі для оцінювання якісного показника (чистоти підбирання) валків льону і зменшення їх щільності (розпушення) в процесі приготування трести за роздільною удосконаленою технологією збирання льону олійного з низьким зрізанням стеблостою.

3.10 Статистичне оброблення результатів досліджень

З метою забезпечення достовірності висновків було проведене оброблення експериментальних даних згідно з методами математичної статистики з визначенням таких статистичних характеристик [66, 102]:

а) середнє арифметичне значення отриманих даних:

$$x_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.12)$$

де x_i – значення i -го вимірювання;

n – кількість вимірювань;

б) середнє квадратичне відхилення:

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{n-1}}. \quad (3.13)$$

в) коефіцієнт варіації:

$$V = \frac{S_c}{x_{cp}} \cdot 100\%. \quad (3.14)$$

г) похибка досліду:

$$v = \pm \left(\frac{S_c}{x_{cp} \cdot \sqrt{n}} \right) \cdot 100\%. \quad (3.15)$$

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Аналіз результатів оцінювання стеблостою льону на етапі його збирання

Для оцінювання стеблостою льону проводилися спостереження за розвитком посівів, як на дослідних ділянках Луцького національного технічного університету, так і у виробничих умовах. Спостереження проводили за фазами розвитку рослин: «ялинка», «бутонізація», «цвітіння», «фази стиглості» відповідно до методик [67, 70, 113], які показали різницю приросту кожної фази. Це явище пояснюється, як технологічними підходами до вирощування, так і різними погодніми умовами.

Як відомо [10, 20, 40, 41, 52], формування волокна в стеблах льону завершується із закінченням цвітіння. У подальшому весь енергетичний потенціал рослин спрямовується на дозрівання насіння. Тому дозрівання льону олійного поділяють на три фази стиглості: зелену, жовту і повну, а льону-довгунця – на чотири: зелену, раньо-жовту, жовту і повну. Окрім того, цвітіння сортів льону олійного є нерівномірним і розтягнутим у часі.

Серед трьохрічних спостережень, найбільш сприятливий за погодніми умовами для вирощування обох видів льону був 2023 р. Було отримано достаньо високий стеблостій та високий врожай насіння (рис. 4.1), що відображено у табл. 4.1.

Високий стеблостій впливає на формування валка при низькому зрізі роторною косаркою, залежно від її ширини захвату. Якщо ширина захвату 1,65 м, то ширина валка сягає одного метра. При цьому висота валка у центрі дорівнювала 200 мм та 100 мм по краях. Більш низький стеблостій, з тонкими стеблами врожаю 2024 р., дозволив отримати валки за шириною і висотою удвічі менші.

Таблиця 4.1 - Морфологічні показники стеблостою льону на момент збирання

Назва показника	Значення показника							
	Лірина		Міандр		Оберіг		Ангант	
	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>Середня довжина стебла, мм</i>								
загальна	74,2	58,5	97,1	92,3	-	83,2	-	80,5
технічна	58,6	45,8	84,6	72,0	-	69,4	-	66,8
<i>Середній діаметр стебла, мм</i>								
біля окоренка	2,28	1,82	2,55	2,21	-	2,19	-	2,03
середина стебла	1,80	1,48	2,31	2,01	-	2,02	-	1,54
біля суцвіть	1,10	0,97	1,19	1,26	-	1,28	-	1,21
<i>Вага 1 стебла, г</i>								
всього	1,56	1,24	1,63	1,42	-	1,36	-	1,28
після обмолоту	0,96	0,78	0,94	0,81	-	0,82	-	0,74
Середня к-ть насінин у коробочці	7,5	9,2	4,8	6,8	-	9,6	-	9,9
Середня к-ть коробочок на рослині, шт	22,6	21,1	18,6	19,1	-	17,8	-	22,0
Вага 1000 насінин,г	6,37	6,26	6,63	6,74	-	6,9	-	7,4
<i>Урожайність, ц/га</i>								
насіння	25,8	20,6	15,9	14,4	-	13,1	-7	22,5
соломи	40,2	30,5	58,2	47,8	-	49,2	-	33,5
Середня кількість стебел на 1 м ² , шт	400	650	494	915		850		760

Прим.: 1 – 2023 р.; 2 – 2024 р. (роки вирощування)

Аналіз показників, представлених у таблиці 4.1 показує, що 2023 рік був сприятливим роком в отриманні як насіння, так і соломистої маси. Середня урожайність льону олійного, у цьому році, сорту олійного Лірина склала 25,8 ц/га насіння, 40,2 ц/га - соломи. Хорошу врожайність показав новий сорт льону-довгунця Міандр, насіння якого має високі лікувальні властивості. Урожайність склала, відповідно: 15,9 ц/га насіння і 58,7 ц/га соломи. Отже, для даного року якість стеблостою варто оцінити як високою. Ці значення показників насіння (табл. 4.1) вказують на необхідність збереження, у першу чергу, насінневої частини врожаю (рис. 4.1). Відтак, при застосуванні зернозбирального комбайна для обмолочування коробочок, отримуємо неорієнтовану волокнисто-стеблову масу.



Рисунок 4.1 - Насіння льону олійного сорту Лірина врожаю 2023 р.: а - після обмолоту; б - очищене

Для порівняльного оцінювання якості стеблостою, у 2024 році, окрім вище вказаних сортів, додатково висівались ще два сорти: Антант – сорт олійний і Оберіг - сорт льону-довгунця. Згідно з табл. 4.1, у 2024 році, урожайність по насінню сорту Лірина впала до 20,2 %, сорту Міандр до 9,5 %.; по соломі, відповідно, на 24,2 % і 17,9 %. Підтвердженням складних погодних умов стала врожайність сортів: Антант (льон олійного) 22,5 ц/га і Оберіг (льону-довгунець) 13,1 ц/га по насінню та соломі, відповідно: 33,5 ц/га і 49,2 ц/га. Для цього року досліджень, якість стеблостою можна вважати середньою. Зменшення урожайності по соломі вказує на труднощі у виборі технічних засобів збирання урожаю за запропонованою удосконаленою роздільною технологією з низьким зрізом стеблостою.

Вибір роздільної технології з низьким зрізом стеблостою базується на основі тривалих спостережень за збиранням урожаю у виробничих умовах на базі агрофірми «Лугове», Львівської області, ТОВ «Старий Порицьк», СТЗОВ імені Лесі Українки, Волинської ДСГДС с. Брище Волинської області, відповідно до яких найбільші труднощі викликає збирання льону олійного

прямим комбайнуванням [2, 8, 23, 26, 67, 113, 114, 115, 133] за різних погодних умов у цей період збирання.

Агрофірма «Лугове», Львівської області свої зусилля спрямовує на отримання технічного насіння льону олійного. Відтак, стеблостій збирають у фазі ранньої жовтої стиглості рослин після десикації посівів препаратом „Реглон”. При цьому намагаються використовувати потужні зернозбиральні комбайни KLAAS Lexion 770 з шириною захвату жатки до 12 м (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 - Збирання льону олійного у виробничих умовах на полях агрофірми «Лугове» Львівської області

Результати спостережень вказують на наступне. Збирання цим способом спричиняло значну втрату стеблостою – висота стерні залишається у межах 15-17 см, (рис. 4.2). Значні розміри валка (ширина – близько 1м, висота – 40-50 см) не сприяють швидкому перетворюванню соломи у тресту. Був ускладнений процес їх обертання. Утримання валків до листопада призводило до втрати якості трести. Вона набувала темного забарвлення та запаху прілості. Тому валки утилізували шляхом спалювання. Затримання термінів збирання, внаслідок низьких температур та рясних опадів до кінця серпня, призвело до того, що солома перетворилась у тресту на корені. З підвищенням вологості повітря, насінневі коробочки при обмолоті не руйнуються, а різальний апарат, не виконує своє функціональне призначення. Негативні явища також спостерігались у випадках недотримання агротермінів збирання

у СТзОВ ім. Лесі Українки (рис. 4.3, а), Волинської ДСГДС с. Брище у 2023р. (рис. 4.3, б).



Рисунок 4.3 – Збирання врожаю льону олійного у пізні строки на полях: а - СТзОВ імені Лесі Українки; б - Волинської ДСГДС с. Брище

Аналіз результатів спостережень показує, що пряме комбайнування у пізні терміни збирання спричиняє втрати 40-50 % врожаю насіння, а застосування роздільної технології втрати всього врожаю (рис. 4.3,б). Валки із такого стеблостою не формуються. Тому, оцінювання якості стеблостою засвідчило його низьку якість.

Результати спостережень за процесом роздільного збирання органічного олійного льону протягом 2021-2023 рр. у ТОВ «Старий Порицьк» Волинської області мали свої особливості через рішення керівництва не зберігати соломисту частину врожаю, а в процесі збирання її подрібнювати. При цьому налаштування косарки на висоту зрізу не обмежували. Відтак, на полі залишилася стерня висотою вище 15 см.

Проведенні дослідження та порівняльний аналіз морфологічних показників льону олійного, вирощеного на ділянках ЛНТУ у 2023 і 2024 рр., дозволили зробити наступні висновки:

- природно-кліматичні умови Західного Полісся України сприяють в отриманні високого врожаю як насіння та соломи льону;
- відома технологія збирання льону олійного прямим комбайнуванням розв'язує проблему збереження лише насінневої частини врожаю льону за умови застосування десикантів.

4.2 Результати визначення зусиль, які виникають при формуванні валків за роздільною технологією збирання льону

Дослідження, проведені на експериментальних ділянках та у виробничих умовах вказують на можливість застосування роздільної технології збирання врожаю льону, не зважаючи на суттєву різницю погодних умов у різні роки. Цей підхід дозволить отримати високоякісне волокно як у стеблах льону олійного, так і льону-довгунця. Як показує практика, при зрізанні стеблостою косарками можливе висмикування стебел з ґрунт або обривання стебел в окоренковій зоні.

Потреба у використанні запропонованої технології збирання з низьким зрізом підтверджується аналізом змін у кореневій системі льону обох видів у період збирання (рис. 4.4) під впливом кліматичних умов сьогодення.

Згідно, з рис. 4.4 (а і б) [95], корінь льону олійного має мичкувату форму а, корінь льону-довгунця – стрижневу. У досліджуваних зразках (рис.4.4, в) коренева система всіх чотирьох сортів мало відрізняється між собою, що обумовлено умовами вирощування. Оскільки, форма кореня впливає на зусилля брання стебел, то були проведені досліді з визначення сили брання перед зрізанням стеблостою. Досліді проводились на момент зрізання стеблостою. Отримані результати наведені в табл. 4.2.

Аналіз даних у таблиці 4.2 показує, що зусилля брання стебел льону залежать від виду рослини та кількості одночасно захоплених затискачем стебел. Так, при захопленні п'яти стебел сортів льону олійного Антант і Лірина зусилля висмикування у більшості випадків не вдавалося встановити.

Лише при встановленні затискача на рівні поверхні поля середні значення зусилля висмикування стебел сорту Антант становило 49,62 Н, а для сорту Лірина 49,87 Н. Це явище пояснюється наявністю значної кількості бокових корінців (рис. 4.4, б), а їх відсутність на рис. 4.4, в - пояснюється обриванням внаслідок безводного поверхневого шару ґрунту.

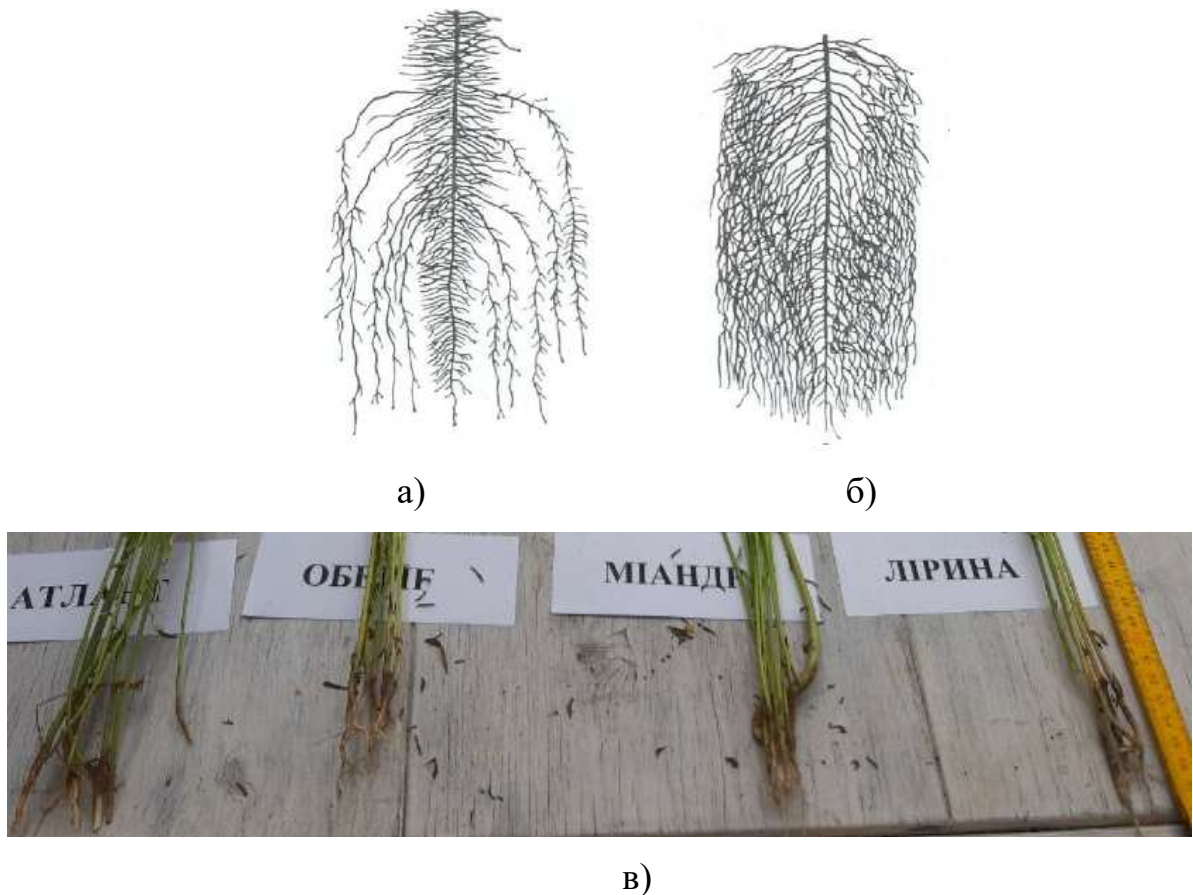


Рисунок 4.4 – Коренева система обох видів льону: а – льон-довгунець; б – льон олійний (згідно джерела [95]), досліджуванні сорти: льон олійний – Антант і Лірина; льон-довгунець – Оберіг і Міандр;

Дещо менші значення зусиль брання стебел льону-довгунця. При висоті захоплення одного стебла від 0 до 50 мм значення зусилля для сортів Оберіг і Міандр коливається у межах похибки і становить 11,60 – 14,32 Н для сорту Оберіг, 11,24 - 13,88 Н для сорту Міандр. Зростання зусиль брання до 50 Н у групах стебел від 3 до 5 пов'язано із силами зчеплення поверхневого шару

грунту навколо коренів стебел, що не сприяє застосування бральних апаратів у технологіях роздільного збирання льону.

Таблиця 4.2 - Зусилля брання стебел льону перпендикулярно поверхні поля, Н

Сорт льону	Висота розташування затискача, мм	Кількість стебел		
		1 стебло	3 стебла	5 стебел
Антант (олійний)	н/п	14,80	25,91	49,62
	30	16,35	27,30	∞
	50	23,60	43,74	∞
Оберіг (довгунець)	н/п	11,60	13,19	42,36
	30	12,73	16,83	40,83
	50	14,32	25,63	47,71
Міандр (довгунець)	н/п	11,24	12,19	23,92
	30	10,42	15,25	20,75
	50	13,88	19,40	26,16
Лірина (олійний)	н/п	14,47	26,75	49,87
	30	12,25	44,55	∞
	50	25,92	∞	∞

н/п – на поверхні поля

Загалом зусилля брання стебел льону обумовлюється ґрунтовими умовами на момент збирання. Підвищенні липневі температури 2024 р. спричинили зневоднення поверхневого шару, що зумовило обривання стебел в окоренковій частині. Після витягування стебел з ґрунту, вони швидко втрачають вологість.

У лабораторних умовах проводили дослідження з встановлення зусилля відрізання кореневої частини стебел для обох видів льону. Початкова відносна вологість стебел була у межах 20,3-23,5 %. На основі отриманих даних будувались графічні залежності (рис 4.5).

На зусилля різання стебел льону впливає діаметр стебла у зоні різання, стан стебла, який характеризується ступенем дозрівання окремого сорту та виду льону. Серед сортів, з яким проводились дослідження, зміщена фаза

дозрівання була у сорту льону олійного Антант. У рослин цього сорту першими завершилися фази цвітіння, формування і побуріння насіннєвих коробочок.

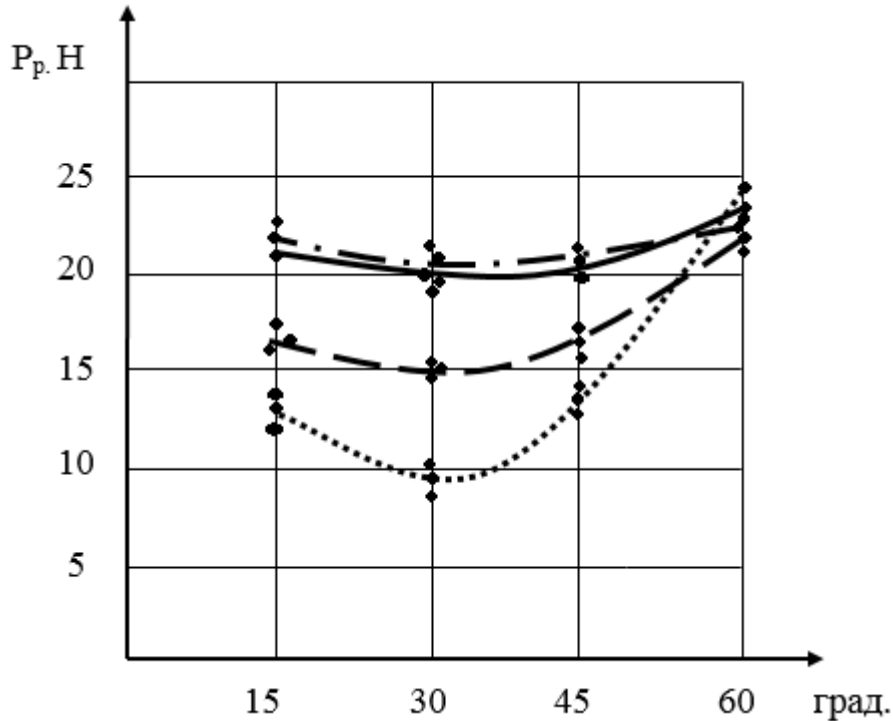


Рисунок 4.5 - Залежність зусилля відрізання кореневої частини стебел льону від кута різання плоским ножом: — сорт Антант; сорт Оберіг; - - - - сорт Міандр; — · — сорт Лірина

Як показали результати проведених досліджень (додаток Г), вказані параметри не є визначальними та суттєво не впливають на силу різання стебел в окоренковій частині. Тому в дослідженнях було звернуто увагу лише на кут різання прямолінійним лезом, що є характерним для роботи ножів у роторній косарці КРН - 1,65, яку використовували в якості базової машини для формування валків у запропонованій технології.

Окрім того, важливо було порівняти зусилля різання стебел льону-довгунця та льону олійного. Як видно з рис. 4.5 для обох видів стебел льону олійного і довгунця раціональним значенням кута різання є кут у межах 30 - 35⁰, за якого зусилля найменше і коливається від 9,18 до 21,98 Н.

Окремим чинником, який може впливати на зусилля різання, є вміст волокна в окоренковій частині стебла. Криві на графіку підтверджують це твердження. Так, незначна кількість волокна в окоренковій частині прослідковується у сортів льону-довгунця - зусилля різання становило 15,10 Н для сорту Оберіг і 9,18 Н – для сорту Міандр. Для льону олійного характерним є наявність і розміщення короткого неорієнтованого волокна до самого кореня, що вказує на деяке зростання зусилля різання стебел: 19,87 Н для сорту Антант і 21,98 Н для сорту Лірина.

4.3 Результати досліджень прогину стебел льону з врахуванням періодів вилежування на полі

Будову стебел льону можна наближено розглядати як циліндричну пустотілу балку, яка здатна нести деяке поперечне навантаження (рис. 1.10). Значення поперечного зусилля залежить від вмісту та розміщення волокон за довжиною стебла (максимальна довжина одиночних волокон льону олійного дорівнює 50 мм, відповідно, льону-довгунця - 500 мм). Таким чином прогин, як одиночних так і груп стебел, буде різний. Досліди проводили на приладі зображеному на рис. 3.12 із закріпленням стебла з однієї сторони за окоренкову частину. Отже досліджувана довжина стебла становила 400 мм. Результати дослідження представлені у табл. 4.3.

Аналіз результатів досліджень проводився з використанням методів математичної статистики та програми Excel. За результатами дослідів будувались діаграми впливу діаметра стебла на значення прогину залежно від стану стебла під час збирання та вилежування (додаток Д).

Результати досліджень вказують, що незалежно від виду льону, стебла можна розглядати як циліндричні армовані пустотілі балки, які здатні витримувати певне навантаження. Ці результати важливо враховувати при забезпеченні умов перетворення стебел соломи у тресту з врахуванням виду льону. Так, одиночні стебла льону-довгунця мають більш пружні властивості,

особливо це прослідковується у сорту Оберіг. Відповідно, у валках цей сорт здатен витримувати навантаження прогину-згину на 10-15% більше незалежно від вологості стебел порівняно з льоном олійним.

Таблиця 4.3 – Значення величин прогину одиночних стебел льону олійного і довгунця з врахуванням їх вологості

Сорт	Вологість W, %	Діаметр $d_{ст.}$, мм	Середнє значення прогину, мм
Антант	56,4	до 1,0	$85,0 \pm 5,0$
		1,1 – 1,5	$53,3 \pm 8,1$
		1,6 – 2,0	$38,3 \pm 6,7$
	12,6	до 1,0	$101,7 \pm 11,7$
		1,1 – 1,5	$67,7 \pm 7,7$
		1,6 – 2,0	$49,3 \pm 4,7$
Оберіг	55,6	до 1,0	$43,0 \pm 3,0$
		1,1 – 1,5	$54,7 \pm 5,3$
		1,6 – 2,0	$30,7 \pm 9,3$
	13,2	до 1,0	$50,3 \pm 2,7$
		1,1 – 1,5	$46,0 \pm 27,0$
		1,6 – 2,0	$37,7 \pm 2,3$
Міандр	54,8	до 1,0	$74,7 \pm 26,3$
		1,1 – 1,5	$74,0 \pm 11,0$
		1,6 – 2,0	$22,3 \pm 4,7$
	12,8	до 1,0	$62,7 \pm 11,3$
		1,1 – 1,5	$70,3 \pm 9,6$
		1,6 – 2,0	$41,3 \pm 16,3$
Лірина	55,5	до 1,0	$46,3 \pm 6,0$
		1,1 – 1,5	$71,3 \pm 8,6$
		1,6 – 2,0	$33,7 \pm 6,3$
	12,1	до 1,0	$82,7 \pm 7,3$
		1,1 – 1,5	$51,0 \pm 11,0$
		1,6 – 2,0	$66,7 \pm 5,3$

Примітка: більше значення вологості відповідає свіжозрізаним стеблам, менше – приготовленій тресті

Свої пружні властивості льон олійний втрачає при зменшенні вологості до 20,0 % - сорт Антант, до 26,3% сорт Лірина. Такі результати можна пояснити довжиною одиночних волокон: у льону олійного характерне коротке волокно, а для льону-довгунця – довге волокно.

4.4 Результати досліджень прогину і згину валків

Отримані значення прогину одиночних стебел не дозволяють характеризувати прогин і згин валка, що виникає у процесі його підбирання. Для оцінювання цих показників проводили досліди у польових умовах (рис. 4.6), згідно зі схемою, представленої на рис. 3.3.



Рисунок 4.6 – Визначення прогину (а) і згину (б) стебел льону

Під час дослідження середня вологість стебел у валках становила 14,12 %. Змінними параметрами у дослідах була відстань між опорами для прогину L , мм та для згину L_1 , мм. Результати дослідів преставлені у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Результати досліджень прогину - згину валків льону

Сорт	Відстань між опорами L , мм	Середня величина прогину / згину $f_{пр.} / f_{зг.}$, мм	S_c , мм	V , %	v , %
Антант	> 400	$10,6 \pm 2,4 / 37,8 \pm 4,1$	20,6 / 3,5	0,13 / 0,08	9,12 / 11,3
	400 - 500	$22,7 \pm 8,3 / 44,3 \pm 6,2$			
	500 - 600	$60,3 \pm 6,7 / 45,5 \pm 8,4$			
Оберіг	> 400	$35,4 \pm 4,6 / 52,3 \pm 7,4$	26,4 / 3,3	0,16 / 0,07	12,6 / 11,5
	400 - 600	$41,8 \pm 5,2 / 58,9 \pm 4,8$			
	600 - 800	$90,6 \pm 8,4 / 60,7 \pm 9,6$			
Міандр	> 400	$30,2 \pm 5,8 / 46,5 \pm 5,5$	20,9 / 6,2	0,14 / 0,10	9,61 / 12,1
	400 - 550	$45,4 \pm 7,6 / 59,2 \pm 5,3$			
	550 - 700	$80,8 \pm 9,2 / 61,5 \pm 4,9$			
Лірина	> 300	$20,1 \pm 3,9 / 28,8 \pm 4,7$	31,5 / 5,0	0,18 / 0,09	13,4 / 11,4
	300 - 400	$35,3 \pm 6,7 / 37,4 \pm 6,2$			
	400 - 500	$95,1 \pm 9,9 / 42,6 \pm 5,7$			

За результатами проведених досліджень побудовано залежності величини прогину (згину) від відстанні між опорами (рис. 4.7 і 4.8).

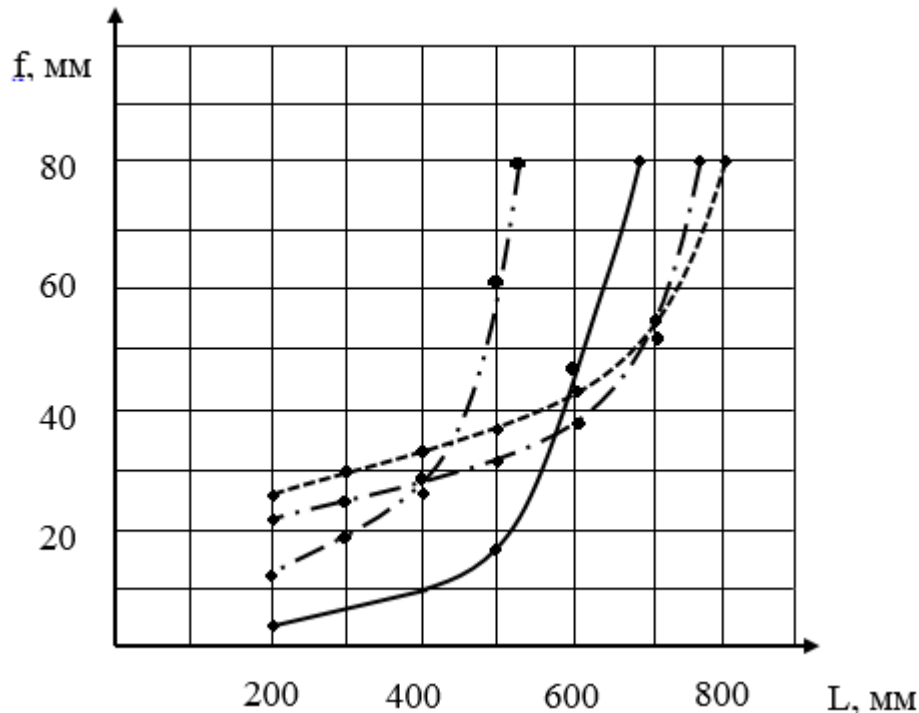


Рисунок 4.7 - Вплив відстані між двома опорами L , мм на прогин валка льону, піднятого на висоту 200 мм: — сорт Антант; — · — сорт Оберіг; - - - сорт Міандр; — · · — сорт Лірина

Як видно з графіків на рис. 4.7, у випадку підняття валка на висоту 200 мм на двох опорах, відбувається прогин валка під дією сили тяжіння. Прогин у валку залежить від відстанні між опорами і має криволінійну залежність для обох видів льону (рис.4.7). При цьому, характерною відстанню, коли валок прогинається найменше до 35,4 мм є відстань менша за 400 мм. Збільшення відстанні між опорами призводить до збільшення величини прогину валка. Максимальне значення прогину спостерігалось для сортів льону олійного 60,3 мм і 95,1 мм, а для сортів льону-довгунця – 80,8 і 60,6 мм.

У свою чергу, згин валка у меншій мірі залежить від відстанні між опорами. Тому у результаті досліджень отримані прямолінійні залежності впливу відстанні між опорами на величину згину (рис. 4.8).

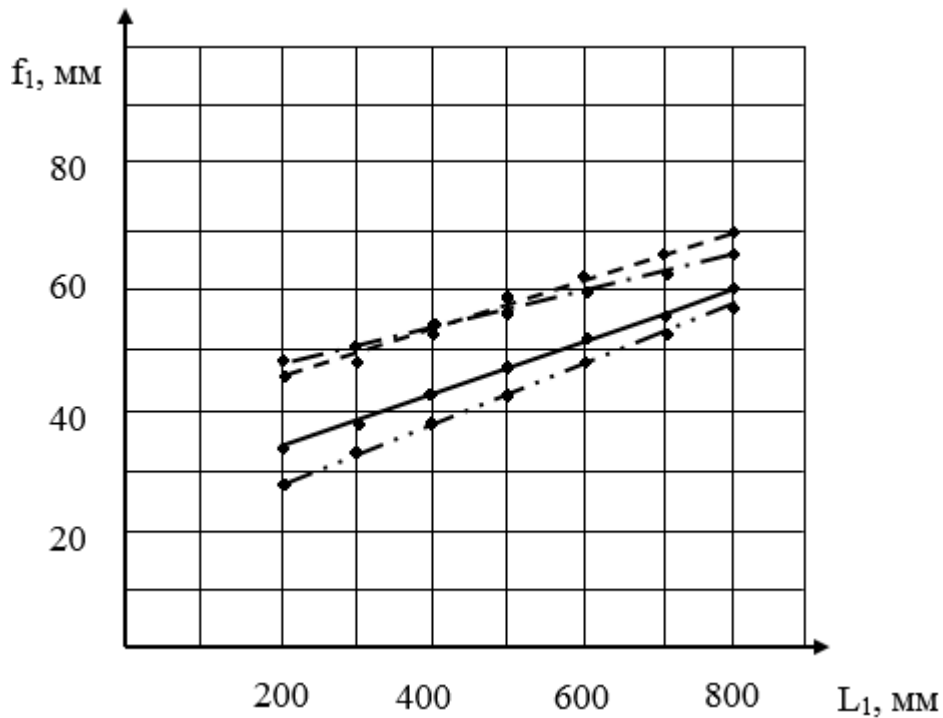


Рисунок 4.8 - Вплив відстані між двома опорами L_1 , мм на згин валка льону, піднятого на висоту 200 мм: — сорт Антант; — · — сорт Оберіг; - - - сорт Міандр; — · · — сорт Лірина

Результати дослідження необхідно використати для вибору конструктивних параметрів підбирача-розрушувача з урахуванням висоти стеблостою. Наприклад, для льону олійного мінімальна відстань між зубовими планками має бути не меншою 50 мм, з урахуванням максимальної довжини короткого волокна. При підбиранні стебел льону-довгунця її варто збільшити до значення, що дорівнює половині висоти стеблостою, тобто до 400 мм. Крім того, аналіз графіків вказує, що діаметр ведучого барабана підбирача не повинен перевищувати 100 мм, оскільки жорсткість валка може спричинити до його руйнування при проходженні у зоні дії ведучого барабану. Для уникнення цього явища рекомендована відстань між опорами (поверхня поля – ведучий барабан) при підбиранні валків з стеблами розташовани вздовж осі валка повинна бути у межах 300-400 мм.

4.5 Результати дослідження зусилля розтягу верхівкової частини стебел

Дослідження з'єднання верхівок стебел проводили у лабораторних умовах згідно з методикою, поданою у п. 3.7 з стеблами льону олійного сорту Лірина. Стебла відбирались із зрізаного стеблостою на дослідній ділянці Луцького національного технічного університету. На момент проведення дослідів їх вологість становила 18,4%, а загальна довжина від 850 до 1000 мм. Кількість насінневих коробочок на стеблах льону становила 17-30 шт. Результати досліджень представлені у табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Результати дослідження зусилля розтягу верхівкової частини стебел льону олійного сорту Лірина

К-ть рядків	К-ть стебел, що взаємодіють між собою	Зусилля розтягу, F_p , Н	Середнє зусилля розтягу, F_p , Н
1	25	11,6	11,93
	30	12,0	
	34	12,2	
2	52	31,0	35,27
	58	35,7	
	63	39,1	
3	69	45,3	48,30
	75	48,4	
	71	51,2	
4	93	50,9	52,83
	101	52,2	
	103	55,4	
5	129	65,3	68,30
	135	68,4	
	141	71,2	

Аналіз даних у табл. 4.5 показує, що у випадку формування валка з одного рядка стебел льону олійного, зусилля розтягу коливається у межах 11,6-12,2 Н, з двох рядків 31,0-39,1 Н, з трьох рядків 65,3-71,2 Н. Додавання

рядків у валок дозволило встановити середнє значення зусилля розтягу F_p . Для чотирьох рядків воно склало 52,83 Н а, для п'яти 68,30 Н. При збільшенні рядків зусилля починає різко зростати і зруйнувати такий валок вкрай складно. Якщо врахувати, що при зрізанні стеблостою льону олійного буде застосована роторна косарка з шириною захвату 1,65 м і ширину міжрядь стеблостою 0,15 м, то у середньому валок формується з десяти рядків. Тоді рівномірно вкладений з високого стеблостою валок у процесі підбирання не можливо розтягнути. У процесі вилежування такий валок ще більше ущільнюється. Відповідно, чим вищий стеблостій і менша відстань між рядками, тим сила зчеплення між стеблами буде більшою.

Спостереження за зрізанням стеблостою роторною косаркою показало, що стебла з'єднуються у суцільний валок саме верхівками. Щоб їх роз'єднати необхідно прикладати значне зусилля. З іншого боку наявність насінневих коробочок при першому підйомі валків є позитивним моментом, оскільки сила зчеплення не дозволяє зруйнувати валок при підбиранні та подачі до механізму відокремлення насіння. Водночас, дана сила F_p ускладнює розпушування валка.

4.6 Аналіз зусиль, які виникають при зчеплені стебел внаслідок вилежування валків

Досліди з визначення зусилля розтягу валка проводили у 2023 р. на зрізаному стеблостої льону олійного сорту Лірина з максимальною висотою 85,0 см і на зрізаному стеблостої льону-довгунця сорту Міандр з середньою висотою 90,2 см. Відповідно, аналогічні досліді проводились у 2024 р. з двома видами льону олійного Антант і Лірина та льоном-довгунцем сортів Оберіг і Міандр. Висота усіх трьох сортів (Антант, Оберіг і Міандр) була у межах 80-92 см. (рис.4.9). Найнижчим був сорт Лірина, висота якого не перевищувала 58 см. У всіх сортів спостерігалися добре розвинені верхівкові частини, але товщина стебел не перевищувала 2 мм. Тому сформовані валки з врожаю у 2024

р. значно відрізнялись від валків попереднього року за об'ємом (рис. 4.10). Відтак, для порівняння значень сили розтягу звертали увагу, переважно, на два сорти: Лірину та Міандр (табл. 4.6).

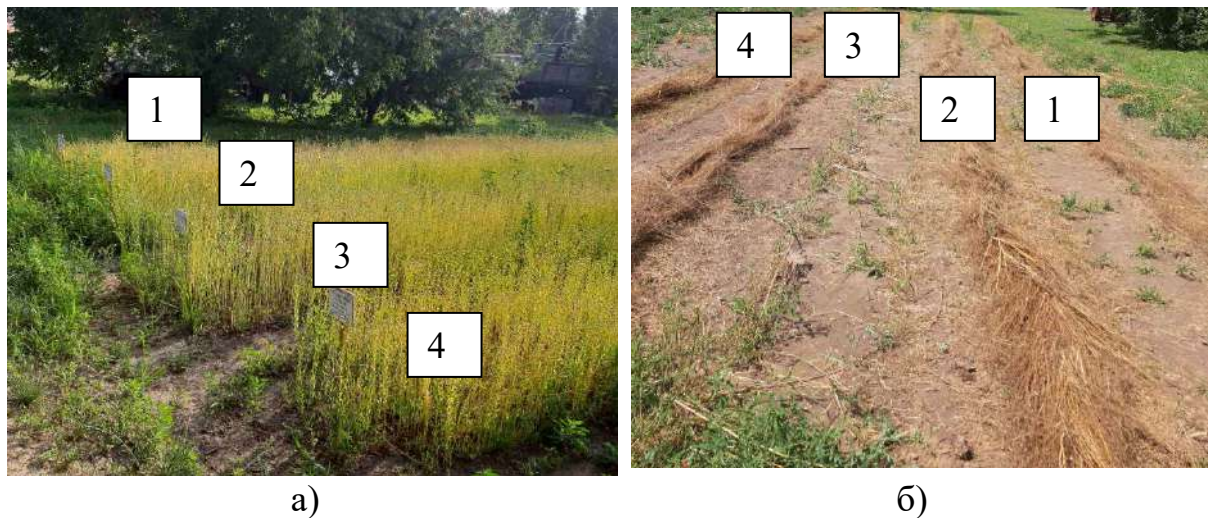


Рисунок 4.9 - Дослідні ділянки 2024 р.: а – стеблостій льону на момент зрізання (1 – Атлант; 2 - Оберіг; 3 – Міандр; 4 - Лірина); б – валки льону після 10 днів вилежування

У 2024 р. урожай соломи усіх чотирьох сортів виявився значно меншим (рис. 4.10, а) у порівнянні з врожаєм 2023 р., що вплинуло на розміри валків (рис. 4.10, б).



Рисунок 4.10 - Проведення дослідів з визначення сили розтягу валка: а – проведення дослідів з сортом льону-довгунця Міандр у 2023 р.; б – проведення дослідів з сортом льону олійного Антант у 2024 р.

Таблиця 4.6 – Зусилля розтягу валків льону олійного сортів Лірина і Антант

Дата/параметри	Кут прикладання зусилля α , град.	Відстань між двома точками фіксування валка L , мм	Зусилля розтягу валка $P_{роз.}$, Н
24.08.2023р. (7 днів вилежування)/ Зменшення товщини валка до 100-140 мм	15 - 16 ⁰	330	89,25
		180	382,06
		450	204,30
	5 - 6 ⁰	190	158,30
		320	243,00
		390	108,40
27.07.2024р. (10 днів вилежування)/ Зменшення товщини валка до 50-100 мм	15 - 17	300	49,25
		280	38,06
		410	54,30
	5 - 7 ⁰	290	58,60
		320	64,35
		390	78,40

Аналіз даних у табл. 4.6 показує, що відстань між фіксуючими елементами має важливий вплив на зусилля розтягу (відповідно ця відстань є визначальною для встановлення кількості зубів у ряд на підбираючому вузлі). Тобто, чим більша відстань, тим більше зусилля. Також варто звернути увагу на кут прикладання зусилля - його зменшення на 10⁰ фактично не впливає на зміну зусилля розтягу.

У випадку незначних габаритних розмірів валків виникає потреба у ретельному виборі конструктивно-технологічних параметрів підбирача розпушувача, оскільки зусилля розтягу коливається у межах 50-80 Н. Це невелике зусилля розтягу, тому у динаміці можливе руйнування валка, що може призвести до втрат врожаю.

Результати, одержані при дослідженні валків льону-довгунця сорту Міандр, представлені у табл. 4.7. Аналіз представлених результатів у табл. 4.7 показує, що коли валок займав більший питомий об'єм стебел, що було характерно у 2023 р., зусилля розтягу становило більше 500 Н. Тобто, довгі стебла забезпечують значну силу зчеплення. Підтвердженням є результати

досліджень 2024 р., відповідно до яких сила зчеплення між стеблами зменшилась у десять разів.

Таблиця 4.7 - Значення зусилля розтягу валків льону-довгунця сортів Міандр і Оберіг.

Дата/параметри	Кут прикладання зусилля α , град.	Відстань фіксування валка L, мм	Зусилля розриву валка $P_{роз.}$, Н
26.08.2023р. (9 днів вилежування)/ Зменшення товщини валка до 120 - 160 мм	17 - 18 ⁰	340	254,30
		200	172,30
		290	400,10
	5 - 6 ⁰	270	504,10
		450	282,40
		160	500,10
27.07.2024р. (10 днів вилежування)/ Зменшення товщини валка до 50-100 мм	15 - 17 ⁰	550	42,20
		580	58,30
		550	44,40
	6 - 7 ⁰	550	41,50
		580	71,70
		650	92,60

Природні умови 2023 р. сприяли не лише формуванню волокна, але й значному гілкуванню стебел, що призвело до формування об'ємних валків. Тому, проблем з такими валками при підніманні їх з поверхні поля не виникало. Відповідно, валки з стеблостою 2024 р., зокрема сорти льону-довгунця, вимагали підвищеної уваги до збирання як насіння, так і стеблової частини врожаю.

4.7 Результати оцінювання якості лляного волокна

Одним із основних показників, що впливають як на процес збирання льону і збереження якісних показників волокна є вологість стебел. Наявність вологи у стеблах сприяє ефективній роботі різальних апаратів, тому що створює ефект мащення ножів. У зрізаних стеблах вологість зменшується через

відсутність джерела вологи, яким є ґрунт. Окрім значення вологості стебел у періоди вилежування при перетворенні соломи у тресту, важливо знати їх вологовіддачу. Графічна інтерпретація зміни вологості стебел при вилежуванні валків представлена у Додатку Е.

Для оцінювання лляної сировини використовуються громіздкі стандарні методики. На основі методики, поданої у п. 3.8 було визначено основні фізико-механічні показники волокна, зокрема:

- вміст волокна в тресті, відокремлюваність;
- вміст костриці та смітних домішок;
- колір волокна;

Експериментальні зразки трести було отримано на дослідних ділянках Луцького національного технічного університету у 2023-2024 рр. Дослідження з виділення волокна було здійснено на базі наукової лабораторії „Механіки рослинних матеріалів та середовищ” кафедри аграрної інженерії ім. проф. Г.А. Хайліса.. У табл. 4.8, подані загальні фізико-механічні показники волокна досліджуваних сортів.

Волокно, отримане у 2023 році мало відокремлюваність у межах 4,1-5,3 одиниці. За кольором волокно обох сортів Лірина та Міандр відповідало IV групі – волокно світло-сіре без блиску. Термін вилежування трести становив 40 діб через відсутність достаньої вологи у навколишньому середовищі. Волокно не мало запаху прілості. Найвищий показник лінійної щільності був у сорту Міандр – 6,94-6,97 Текс, у сорту Лірина - у межах 5,03-5,60 Текс. Отже, досліджуванні сорти продемонстрували посухостійкість та високі показники якості волокна.

Відповідно, отримане волокно у 2024 році мало відокремлюваність в межах 6,2-6,3 одиниці. За кольором волокно усіх чотирьох сортів було віднесено до V групи - волокно світло-сіре з блиском. Термін вилежування трести становив 30 діб з достаньою кількістю вологи. Волокно також не мало запаху прілості внаслідок вчасного відривання валків від поверхні поля та їх розпушування. Найвищі показники лінійної щільності виявлені у сортів льону

довгунця Міандр і Оберіг – 6,94-6,97 Текса, найжчий, у межах 5,03-5,60 Текс, у сортів льону олійного Лірини та Антант.

Таблиця 4.8 – Фізико-механічні властивості волокна льону досліджувальних сортів у сезонах 2023 і 2024 рр.

Сорт льону	Рік збирання	Відокремлюваність, од	Вміст волокна, %	Вміст костриці та смітних домішок, %	Група кольору	Лінійна щільність, Текс	Розривне навантаження, Н
Антант	2023	-	-	-	-	-	-
	2024	5,2	29,62	10,4	IV	6,97	189,1
Оберіг	2023	-	-	-	-	-	-
	2024	4,2	27,68	12,9	III	5,06	88,9
Міандр	2023	4,6	26,25	14,7	III	5,28	97,8
	2024	4,1	24,81	14,1	III	5,61	98,2
Лірина	2023	5,1	26,10	12,3	IV	6,84	109,0
	2024	5,3	25,61	12,5	IV	6,24	109,6

Високі показники лінійної щільності свідчать про недостатнє руйнування зв'язків між волокнами внаслідок нестачі вологи та підвищених температурних показників.

Висновки до розділу 4

1. Порівняльний аналіз морфологічних показників льону показує, що природно-кліматичні умови Західного Полісся України сприяють в отриманні високих врожаїв як насіння, так і соломи. Кліматичні умови суттєво впливають на формування стеблостою у період вегетації льону та вилежування трести, що підтверджується отриманими результатами оцінювання кількісно-якісних параметрів продукції обох видів льону: олійного і довгунця, вирощених на

дослідних ділянках Луцького національного технічного університету у 2023 р. і 2024 р.

2. Запропонована трирівнева система оцінювання якості (п. 4.1) стеблостою на волокно: висока, середня та низька якість. Технологія збирання льону олійного прямим комбайнуванням розв'язує лише проблему збереження насінневої частини врожаю льону за умови застосування десикантів. Для отримання органічної продукції найкраще підходить роздільна технологія збирання з низьким зрізом стеблостою із залишком стерні у межах 30-50мм.

3. За результатами проведених досліджень встановлено, що зусилля брання стебел льону залежить від ґрунтових умов під час збирання. Глобальне потепління не сприяє реалізації цього способу через складність брання, особливо при збиранні льону олійного. Використання роздільної технології пов'язано із зрізанням стебел. Відповідно у сортів льону-довгунця зусилля різання в окоренковій частині стебла становило 15,10 Н для сорту Оберіг і 9,18 Н для сорту Міандр, 19,87 Н для льону олійного сорту Антант і 21,98 Н для сорту Лірина. Більші значення зусиль вказують на наявність значної кількості волокна в окоренковій зоні.

4. Одиночні стебла льону-довгунця вмають більш пружні властивості у порівнянні з стеблами льону олійного. Пружні властивості льон олійний втрачає при зменшенні вологості: для сорту Антант - до 20,0 %, для сорту Лірина - до 26,3%. Величини прогину і згину валків залежить від чистоти стеблостою.

5. Моделювання з'єднання верхівок стебел у лабораторних умовах показало, що у випадку формування валків з стебел льону олійного з одного рядка зусилля розтягу коливається у межах 11,6-12,2 Н, з двох 31,0-39,1 Н, з трьох 65,3-71,2 Н, з чотирьох - 52,83 Н, з п'яти - 68,30 Н. При подальшому додаванні стебел у валок, зусилля розтягу різко зростає і зруйнувати його фактично неможливо. Цей висновок підтверджено дослідженнями з визначення сили розтягу валків у польових умовах. Максимальне зусилля розтягу валка становило більше 500 Н.

6. Запропонована спрощена методика оцінювання якості волокна, отриманого за реалізації роздільної технології збирання льону з низьким зрізом стеблостою, що дозволить реалізувати ідею створення сировинної бази для конкретного виду кінцевої продукції. Ця методика передбачає проведення оцінювання лише основних фізико-механічних показники волокна на етапі збирання трести, а саме:

- вміст волокна в тресті, його відокремлюваність;
- вміст костриці та смітних домішок у стеблах трести;
- колір волокна.

РОЗДІЛ 5

УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

5.1. Обґрунтування роздільної технології збирання льону, вирощеного в умовах Західного Полісся України та технічних засобів для неї

Результати досліджень [2, 6, 23, 115] вказують, що змінити ситуацію з відродженням галузі льонарства на теренах Західного Полісся України можливо за умови комплексного підходу до вирощування обох видів льону (льону олійного, льону-довгунця) та впровадження нових технологій їх збирання для здешевлення собівартості продукції з льону (насіння і волокна). Проблемою збирання льону стали щорічні сезонні відмінності природно-кліматичних умов Західного Полісся України, що можуть спричинити коливань якості стеблостою.

Запропоновано схему [28, 29, 91] адаптованої технології збирання льону олійного, рис. 5.1 (додаток Ж.2), згідно з якою перед зрізанням стеблостою враховують якісні параметри насіння і волокна. Стеблостій зрізують у валок для вилежування, у подальшому піднімають валок, відокремлюють насіння і декортикують стебла, формують паливні рулони або стебла повторно вкладають у валок. Інший варіант технології - зрізують і обмолочують стеблостій, а волокнисто-стеблову масу (ВСМ) вкладають у валки для формування паливних рулонів або залишають для вилежування. Після повторного вкладання стебел у валок, їх обертають для прискорення утворення трести, підбирають валок і декортикують стебла, формують рулони для транспортування до місця отримання однотипного волокна.

У випадку застосування зернозбирального комбайна, після обмолочування волокнисто-стеблову масу (ВСМ) вкладають для вилежування

трести, формують рулони для транспортування до місця отримання однотипного волокна.

При реалізації запропонованої роздільної технології з низьким зрізом стеблостою до основних технологічних операцій необхідно віднести зрізання стеблостою, підбирання валків, відокремлення насіння (обмолот валка), вкладання волокнисто-соломистої маси (обробленого валка) на поле, вилежування трести та підбирання трести.

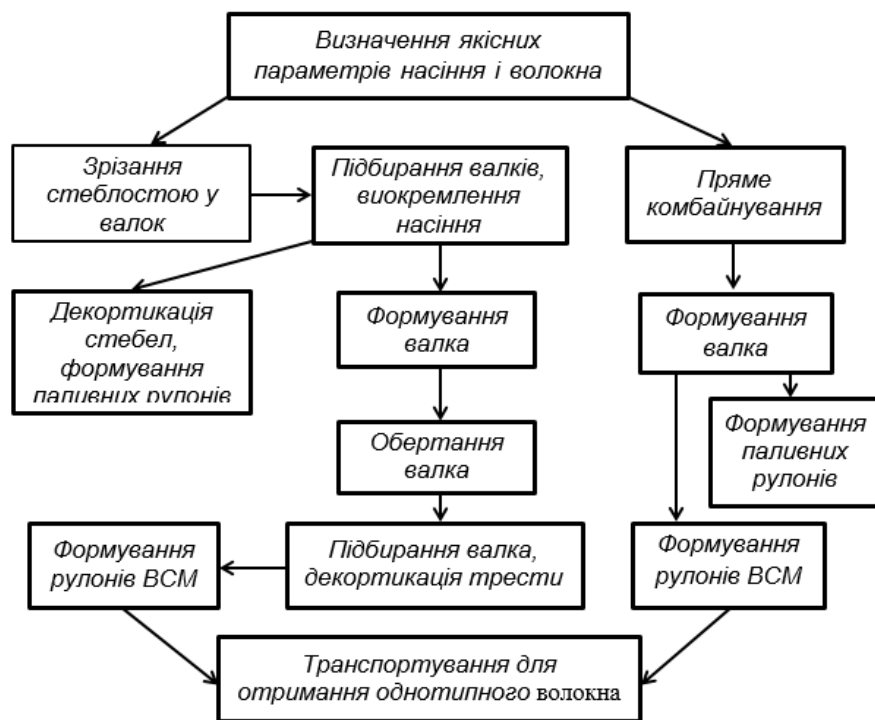


Рисунок 5.1 - Структурна схема запропонованого підходу до збирання льону із збереженням всього біологічного врожаю

Для виконання окремих технологічних операцій необхідне або спеціалізоване, або адаптоване до певних умов технічне забезпечення, оскільки стебла льону змінюють свої властивості внаслідок дії робочих органів машин від моменту зрізання стеблостою та вивезення готової продукції за межі поля.

Найбільш складною технологічною операцією є процес перетворення соломи у тресту. Адже для отримання якісного волокна необхідно у валку створювати умови для життєдіяльності пектиноруйнівних бактерій

забезпечити підведення до стебел вологи і тепла.

Результати проведених теоретичних і експериментальних досліджень дозволили розробити та виготовити експериментальний підбирач-розпушувач валків льону (рис. 5. 2), що містить два основних вузли – підбиральний і розпушувальний. Проведенні польові випробування (додаток 3) підтвердили роботоздатність обох вузлів.

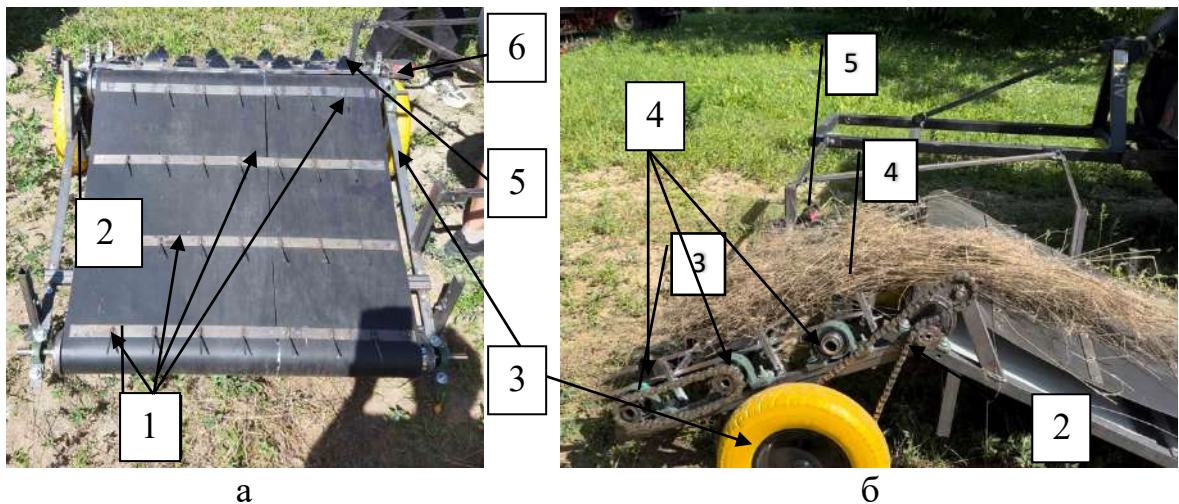


Рисунок 5.2 – Підбирач-розпушувач валків льону: а – підбиральний вузол; б – розпушувальний вузол; 1 – зубова планка; 2 – шестерні та ланцюгова передача 3 - опорно-ходові колеса; 4 – обертові бітери; 5 – бітерні кулачки; 6 – електропривод;

У підбирача-розпушувача окремі приводи робочих органів підбирального і розпушувального вузлів. Привод тягової стрічки підбирача із зубовими планками здійснюється від опорно-ходових коліс за допомогою пар шестерень і ланцюгової передачі. Для приводу бітерів з бітерними кулачками передбачено автономний електропривод, що дозволяє змінювати частоту обертання бітерів. Для усунення намоток з волокнисто-стеблової маси на бітери у просторах між бітерними кулачками встановлено спеціальну обмежувальну решітку.

5.1.1 Вплив параметрів технологічного процесу на якість підбирання валків

Для отримання математичної моделі для визначення якості підбирання валків було проведено чотирифакторний експеримент згідно з методикою, що описана у п. 3.9. Дослідження проводилися на сортах льону олійного Лірина, Анлант і льону-довгунця Оберіг, Міандр. Після проходження агрегата за довжиною гону, стебла, що залишились на полі підбирали та зважували. Розрахункову масу валка за довжиною гону визначали за середнім значенням маси валка на одному погонному метрі та перемножуванням цього числа на довжину гону. Відношенням маси зібраних стебел після проходження агрегата до загальної маси валка у відсотках визначали якість підбирання.

Мета експерименту полягала у визначенні впливу конструктивно-технологічних параметрів підбирального вузла (швидкість руху МТА, кут нахилу механізму підйому, відстань між сусідніми планками із зубами, кількість зубів на одній планці) на чистоту підбирання.

Оброблення результатів чотирифакторного експерименту за допомогою програми, створеної у системі комп'ютерної математики Mathcad (додаток В.1) дозволило отримати наступне регресії з факторами у натуральному вигляді:

$$\eta_0 = 15,167 + 0,004965\alpha^2 - 0,019444\alpha \cdot n_3 - 0,054911\alpha + 0,000004l_{пл.}^2 + 0,03596l_{пл.} + 0,111n^2 - 1,82933n + 5,712V_{agr.}^2 - 10,2816V_{agr.} \quad (5.1)$$

де η_0 – втрата стебел льону після підбирання, %;

$V_{agr.}$ – швидкість руху МТА м/с.;

α – кут нахилу механізму підйому валка, град.;

$l_{пл.}$ – відстань між сусідніми планками із зубами, мм;

n_3 – кількість зубів на одній планці, шт.

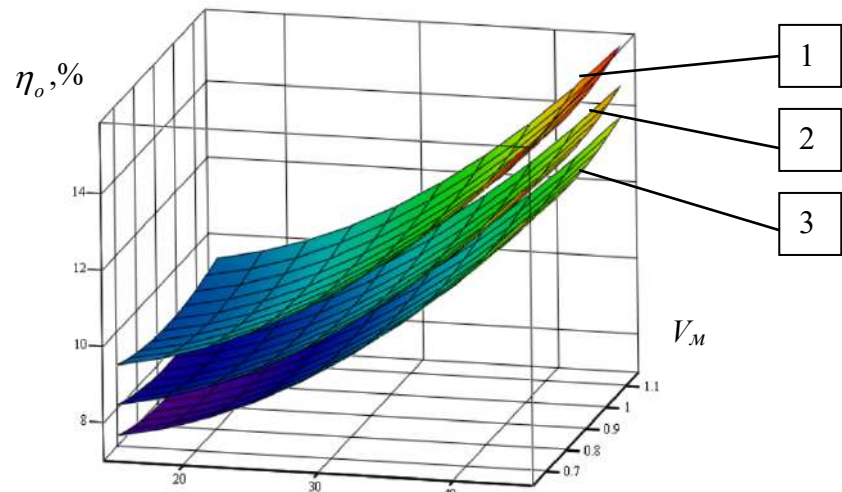
Оцінювання значущості коефіцієнтів регресії проводили за допомогою критерію Стьюдента, табличне значення якого при 5% - му рівні значущості

та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності $f_1 = 2$ складає $t_{0,05;2} = 4,3$ згідно з [103].

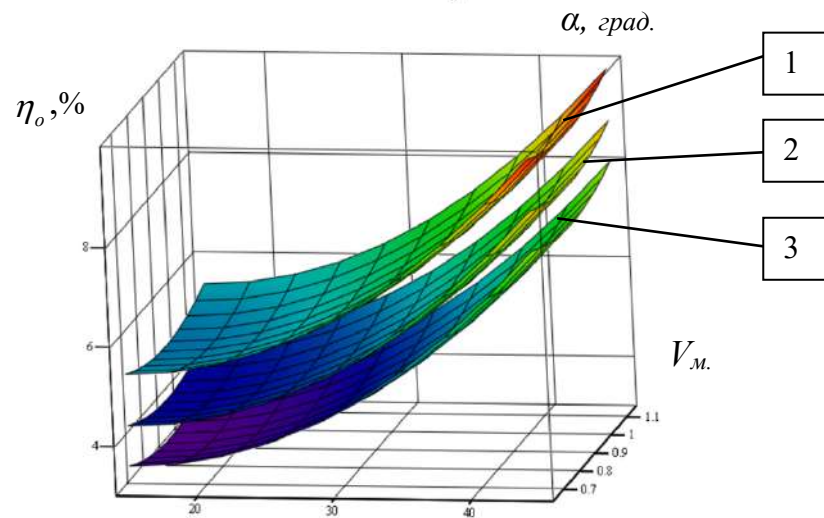
Перевіряння адекватності отриманого рівняння регресії проводили за допомогою F - критерію Фішера. Оскільки розрахункове значення критерію Фішера мало значення, що менше за табличне, то отримана математична модель є адекватною.

За рівнянням регресії (5.1) було побудовано поверхні відгуку (рис. 5.3). Аналіз отриманих результатів показує, що усі розглянуті фактори мають суттєвий вплив на процес підбирання валків льону запропонованим підбиральним вузлом.

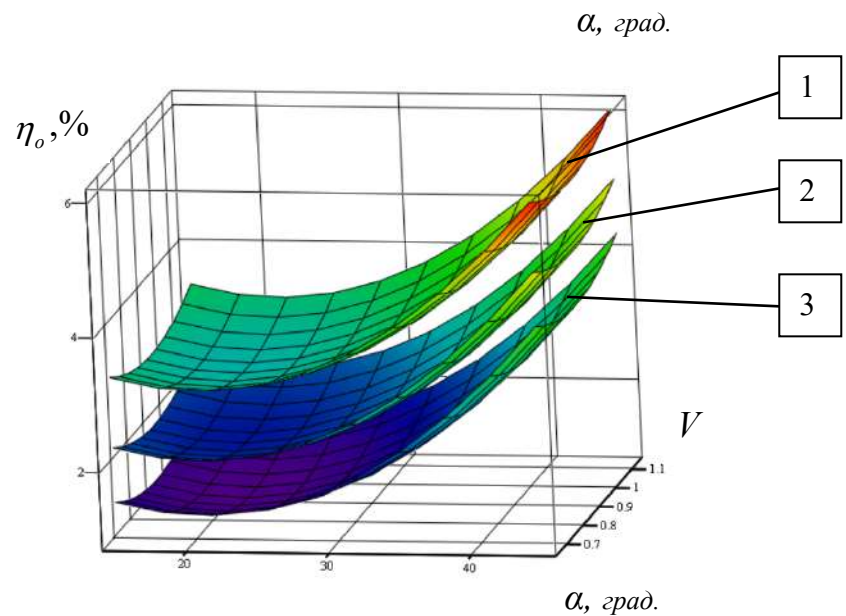
Проаналізуємо вплив досліджуваних факторів на ефективність роботи підбирального вузла. Швидкість руху МТА у меншій мірі впливає на якість підбирання валків через її узгодження з підбирального механізму. Збільшення кута нахилу механізму підйому валка впливає на умови його захоплення. Окрім того, цей параметром є важливим при передачі валка на наступні робочі органи машин. Відстань між сусідніми планками із зубами необхідно змінювати при підбиранні валків з урахуванням довжини стебел, оскільки коротші стебла льону олійного потребують зменшення відстанні між планками. Збільшення кількості зубів на одній планці забезпечує високу якість підбирання валків не залежно від маси валка, але відсутність простору між зубами може ускладнити звільнення механізму підйому валка від стебел на виході. Аналіз отриманого рівняння регресії (5.1) показує, що із збільшенням кута нахилу механізму підйому валка до $\alpha = 45^0$, якість підбирання валків різко знижується. Тому рекомендоване раціональне значення кута нахилу механізму підйому валка $\alpha = 30^0$. При застосуванні підбирача на машині для відокремлення насіння методом плющення насінневих коробочок вальцями, необхідно додатково встановлювати підйомно-подавальний транспортер під кутом 60^0 .



а) $n = 2$, шт.



б) $n = 5$, шт.



в) $n = 8$, шт.

Рисунок 5.3 - Поверхні відгуку показника втрат η_0 стебел льону при підбиранні валків залежно від досліджуваних факторів $V_m = 0,65-1,15$ м/с, $\alpha = 15-45^\circ$, $l_{пл.} = 50-400$ мм (1 – 400 мм, 2 – 225 мм, 3 – 50 мм): а - $n_3 = 2$; б - $n_3 = 5$; в - $n_3 = 8$.

Таким чином, результати проведеного експерименту показали, що запропонований підбиральний вузол забезпечує дотримання агротехнічних вимог [1]. Відсоток втрат стебел, що має місце під час роботи запропонованого підбирача-розпушувача, вказує на те, що його застосування в процесі вилежування трести є актуальним (додаток К).

У результаті проведення багатофакторного експерименту вперше отримано математичну модель, що дозволяє провести оцінювання якісного показника виконання технологічної операції підбирання валків льону.

5.1.2 Вплив параметрів технологічного процесу на зменшення щільності валків льону

Створення сприятливих умов для перетворення стебел льону-довгунця у тресту досягається періодичним перевертанням стрічки з паралельно вкладених льонокомбайном стебел. Спроби отримати тресту з стебел льону олійного, після обмолоту стеблостою зернозбиральним комбайном не принесли позитивного результату. Валки льону олійного, що утворюються при застосуванні широкозахватних жаток, не оброблялись. Тому процес перетворення стебел у тресту затягувався до 3-х місяців, а процес підбирання трести проводили у листопаді-грудні, відповідно, якість волокна втрачалась.

Проведені дослідження показали, що для перетворення стебел у тресту достатньо 30 днів при створенні відповідних умов для розвитку пектино-руйнівних бактерій.

Для отримання математичної моделі, що описує зміну щільності валків внаслідок розпушування, було проведено трьохфакторний експеримент. Дослідження проводилися з сортами льону олійного Лірина і Антант та льону-довгунця Оберіг і Міандр. Щільність визначали у п'яти точках за довжиною гону, до і після проходження МТА із розробленим підбирачем-розпушувачем. Для цього визначали об'єм погонного метра валка до і після роботи підбирача-розпушувача та зважували масу стебел, які знаходились на погонному метрі

досліджуваної ділянки. Порівнювали щільність валка до і після проходження розробленого підбирача-розпушувача.

Мета експерименту полягала у визначенні впливу на щільність валків таких факторів: частота обертання бітерів розпушувального вузла, висота розташування решітки та вологість стебел у валку.

Оброблення результатів трьохфакторного експерименту за трирівневим планом другого порядку проведене з використанням системи комп'ютерної математики Mathcad (додаток В. 2). У результаті отримано рівняння регресії з факторами у натуральному вигляді:

$$f(\rho_p) = 77,5611 - 0,0865 h + 0,6305 n + 0,2416 w + 0,0058 h w - 0,0011 h^2 - 0,0119 n^2 - 0,0062 w^2, \quad (5.2)$$

де ρ_p – щільність валка після проходження підбирача-розпушувача, кг/м³;

n – частота обертання бітерів, об/с.;

h – висота розташування обмежувальної решітки, мм;

W – вологість стебел льону у валку, %.

Оцінювання значущості коефіцієнтів регресії проводили за допомогою критерію Стюдента, табличне значення якого при 5% - му рівні значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності $f_1=30$ складає $t_{0,05;2}=2,0$ згідно з [103]. За рівнянням регресії (5.2) було побудовано поверхні відгуку (рис.5.4).

Аналіз отриманих результатів показує, що усі розглянуті фактори мають суттєвий вплив на щільність валків з льону запропонованим розпушувальним вузлом, про що свідчать відповідні коефіцієнти у рівнянні регресії (5.2).

У результаті проведення багатфакторного експерименту вперше отримано математичну модель для оцінки якості розпушення валків льону. Якщо при відносній вологості стебел $W = 12-40$ %, щільність валків перед

підбиранням склановила $\rho_v = 150 \text{ кг/м}^3$, а після взаємодії з розпушувальним вузлом щільність зменшувалась до $\rho_p = 88,9\text{-}87,4 \text{ кг/м}^3$. Ці параметри відповідають агротехнічним вимогам.

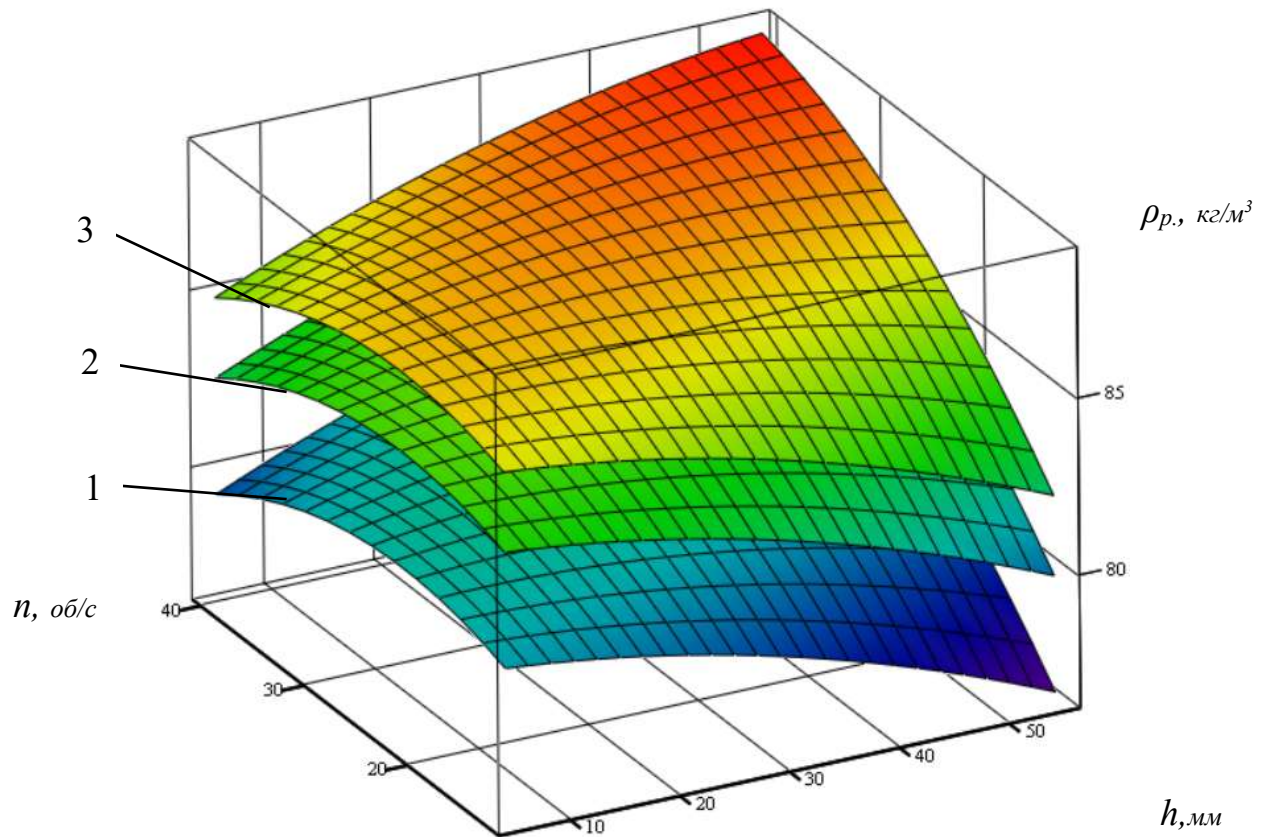


Рисунок 5.4 - Поверхні відгуку щільності валків льону залежно від частоти обертання бітерів, ($n, \text{ об/с}$) та висоти розташування обмежуючої решітки ($h, \text{ мм}$) з урахуванням вологості стебел у валку ($W, \%$): 1 – $W = 12\%$; 2 – $W = 26\%$; 3 – $W = 40\%$

Аналіз поверхонь відгуку(рис. 5.4) та їх двоміних січень (додаток Д. 2) показує, що суттєвий вплив на зменшення щільності валків має вологість стебел. При цьому раціональними конструктивно-кінематичними значеннями розпушувального вузла слід вважати: висоту розміщення обмежуючої решітки $h = 55 \text{ мм}$ та частоту обертання роторів $n = 4,0 \text{ об/с}$ при вологості стебел $W = 12\%$; $n = 25 \text{ об/с}$ для вологості стебел $W = 26\%$; $n = 32 \text{ об/с}$ для вологості стебел $W = 40\%$.

5.2 Перспективи використання стеблової частини врожаю льону

Традиційно льон олійний вирощують на насіння, нехтуючи при цьому стебловою частиною врожаю. Проте, в стеблах льону олійного міститься близько 25 % короткого неорієнтованого волокна, яке можна використовувати як у текстильній галузі, так і інших галузях. Дослідженням даної проблеми присвячені численні роботи науковців [11, 46, 61, 62, 82, 98, 101].

Окрім того, особливі природно-кліматичні умови Західного Полісся України дозволяють отримувати високі врожаї льону-довгунця для виробництва довгого волокна. При цьому, якщо врожайність соломи льону олійного знаходиться у межах 35-45 ц/га., то з льону-довгунця вихід соломи дещо більший. Внаслідок зміни кліматичних умов і інших причин, на великих площах виробничих полів ускладнюється процес отримання трести високої якості за традиційними технологіями.

У такому випадку слід реалізовувати нові підходи до процесу збирання стеблостою льону. Запропонована удосконалена роздільна технологія з низьким зрізом стеблостою має низку переваг, зокрема: завчасно розпочати збирання льону шляхом вкладання стебел у валки; забезпечує збереження насінневої частини врожаю після дозрівання 70% насінневих коробочок; дозволяє провести розпушування валків відповідно до вимог із урахуванням погодних умов; дозволяє своєчасно зібрати валки за рулонною технологією до початку осінніх опадів. У такий спосіб створюються ідеальні умови у липні - серпні для отримання високоякісної трести за 25-30 діб.

Дослідження виділення волокна, проведені у вересні-жовтні місяцях дозволили отримати волокно, яке віднесене до четвертої – п'ятої груп, без запаху і інших негативних властивостей. З цього волокна можна отримати целюлозу та нітроцелюлозу. Властивості целюлози одержаної з льону олійного і льону-довгунцю, представлені у табл. 5.1 [61].

Проведені дослідження дозволили виробити рекомендації виробництву, які враховують умови вирощування обох видів льону, природо-кліматичні

умови поточного року, стану стеблостою на момент збирання та коливання цін на продукцію на ринку.

Таблтця – 5.1 Показники целюлози з льону

Показники	Целюлоза льону-довгунцю	Целюлоза льону олійного
Зовнішній вигляд	Рихла маса білого кольору, яка не містить сторонніх домішок	Рихла маса білого кольору, яка не містить сторонніх домішок
Масова частка α -целюлози, %	87-88	88-91
Змочуваність, г	130-135	90-130
Масова частка води, %	7,5	10-11
Масова частка золи, %	1,0-1,1	1,3-1,8
Масова частка залишку, який не розчинився в H_2SO_4 (лігнін), %	0,5	5-12

На основі проведених досліджень рекомендовані конструктивно-технологічні параметри підбирального вузла розробленого підбирача-розпушувача валків льону(табл. 5.2).

Таблиця 5.2 - Рекомендовані конструктивно-технологічні показники підбирального вузла запропонованого підбирача-розпушувача валків льону

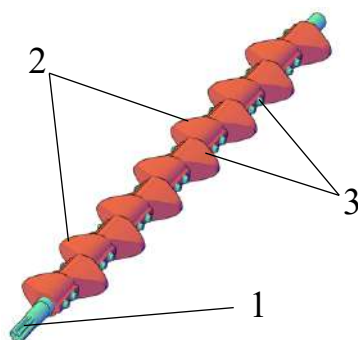
№ п/п	Показник	Од. виміру	Величина
1.	Тип вузла	-	начіпний
2.	Привод тягової стрічки		Опорно-ходові колеса
3	Число валків, що підбираються		один
4	Максимальна ширина захвату	мм	100
5.	Рекомендована швидкість	м/с	0,65-1.15
6.	Зміна кута нахилу тягової стрічки	град.	15-45
7.	Відстань між планками із зубами	мм	50-400
8.	Кількість зубів на планці	шт.	8
9	Міжвісева віддаль тягових барабанів	мм	1200
10.	Діаметри тягових барабанів	мм	100
11.	Габаритні розміри:		
	довжина, висота	мм	1000; 500
12.	Маса з начіпним пристроєм	кг	190
13	Спосіб агрегаткування: трактор	кл.	0,9

Рекомендовані конструктивно-технологічні параметри розробленого розпушувального вузла валків льону подані в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 - Рекомендовані конструктивно-технологічні показники розпушувального вузла запропонованого підбирача-розпушувача валків льону

№ п/п	Показник	Од. виміру	Величина
1.	Тип вузла	-	начіпний
2.	Привод бітерів		Гідромотор
3.	Число бітерів		3
4.	Частота обертання бітерів	об/с.	800
5.	Кількість бітерних кулачків на бітері	шт.	8
6.	Кут розміщення бітерних кулачків	град.	180
7.	Межі регулювання обмежуючої решітки	мм	5-55
8.	Передача між бітерами	-	Ланцюг 12 В-1
9.	Міжвісева віддаль бітерів	мм	200
11.	Габаритні розміри:		
	довжина, висота	мм	600; 500
12.	Маса з приводом	кг	65

Для цього вузла на 3D принтері були виготовлені бітерні кулачки (рис. 5.5, б), які встановлюються на трьох бітерах (рис. 5.5, а). Бітерні кулачки з рекомендованими розмірами дозволили отримати позитивний результат під час розпушування валків, але потребують подальших досліджень з урахуванням фізичних змін у стеблах під дією ударних робочих органів збиральних машин.



а)



в)

Рисунок 5.5 - 3Д модель бітера розпушувального вузла валків льону(а) і бітерний кулачок(в) виготовлений на 3Д принтері: 1 – вал; 2 – кулачки; 3 – фіксатори

5.3 Використання запропонованого підбирального вузла при реалізації роздільної технології з низьким зрізом стеблостою льону

Для реалізації удосконаленої роздільної технології збирання льону і збереження всього біологічного врожаю (насіневої і стеблової частини врожаю), є можливим (необхідно передбачити) три варіанти комплектування сільськогосподарських машин з підбиральним вузлом для взаємодії з валками різного фізичного стану:

а) Комплектування із жаткою зернозбирального комбайна для відокремлення насіння (рис. 5.5).

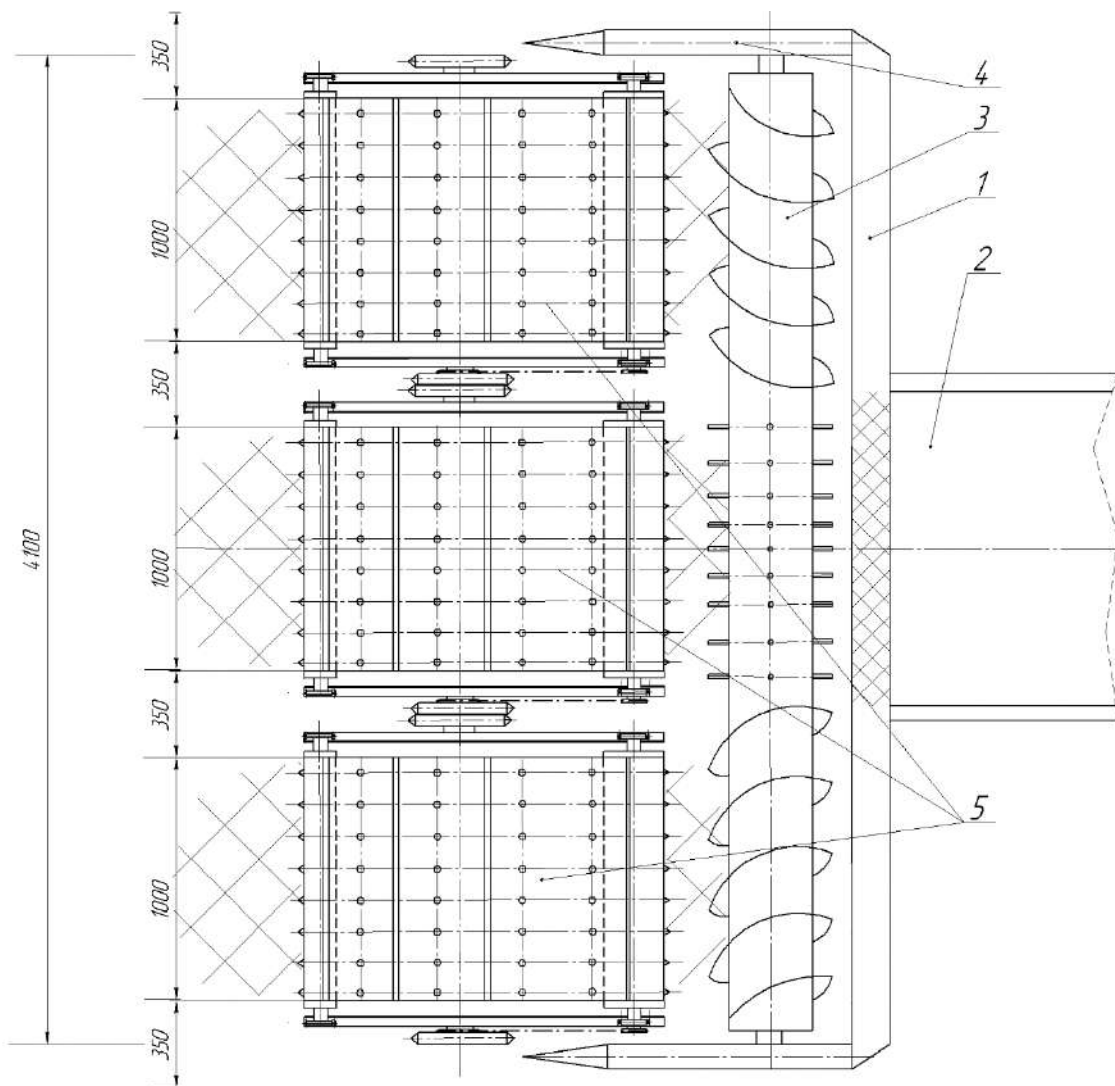


Рисунок 5.6 - Комплектування жатки зернозбирального комбайна з підбиральним вузлом: 1 – корпус жатки; 2 – похила камера; 3 – шнек жатки; 4 – боковина; 5 – підбиральний вузол

Згідно рис. 5.6, на жатну частину зернозбирального комбайна пропонується встановлювати паралельно три підбиральних вузли. Цей варіант необхідний у випадку низької врожайності соломи (низькорослого льону). Одночасне підбирання трьох валків зернозбиральним комбайном дозволяє формувати новий валок із волокнисто-соломистої маси, який можна підбирати стандартними рулоними прес-підбирачами або залишити на полі для вилежування.

Реалізація цього варіанту потребує враховування ширини захвату як роторної косарки і жатки. За ширини захвату роторної косарки 1,35 м загальна ширина зрізаного стеблестою для трьох валків буде 4,05 м з урахуванням відстані між валками 0,35 м. Тому, для цього варіанту підбирання валків підійде жатка з шириною захвату 4,1 м. При цьому важливо, щоб ширина самого валка не перевищувала 1 м. Відповідно, при застосуванні роторних косарок з іншою шириною захвату, необхідно провести узгодження ширини захвату підбирального вузла з жатною частиною зернозбирального комбайна.

б) Комплектування підбирача з спеціальною машиною типу молотарка для відокремлення насіння та вкладання стебел на льонище для перетворення соломи у тресту (рис. 5.7). Цей варіант необхідно застосовувати при високому врожаї льону (високорослому стеблестої) і за належного відношення до приготування трести можна отримати високоякісне волокно. На машину для підбирання валків льону олійного отримано патент на корисну модель України, № 155841 [59].

Така машина дозволить зберегти структуру валка та підготувати стебла до перетворення у тресту. Її застосування не потребує узгодження ширини захвату з роторною косаркою і відстанню між валками, оскільки у такому випадку підбирається лише один валок.

в) Комплектування підбирального вузла з розпушувальним вузлом призначений для випадку отримання трести. Конструктивно-компонувальна схема підбирача-розпушувача представлено у другому розділі (рис.2.11). У

процесі вилежування трести (волокнисто-стеблової маса) валок ущільнюється, що вимагає періодичного зменшення його щільності незалежно від технології перетворення стебел соломи (волокнисто-стеблової маси) у тресту.

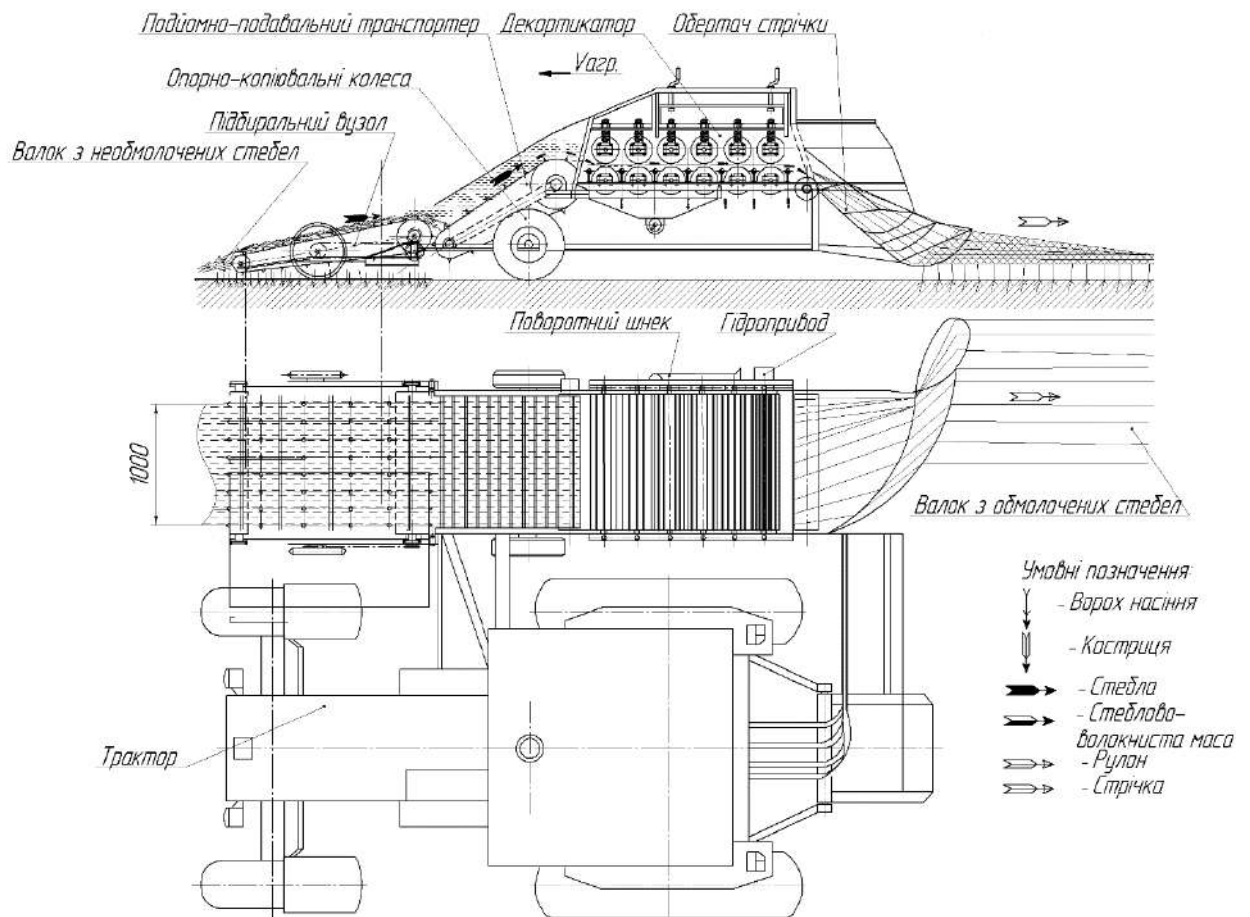


Рисунок 5.7 - Функціональна схема машини для відокремлення насіння льону олійного за роздільною технологією і збереження структури валка

Висновки до розділу 5

1. Технології виробництва льону олійного в умовах Західного Полісся України потребують модернізації операцій збирання льону з урахуванням фази стиглості врожаю та погодних умов поточного вегетаційного періоду. Запропоноване удосконалення роздільної технології з низьким зрізом стеблостою, дозволить зменшити втрати врожаю льону, знизити енерговитрати на процес збирання, максимально зібрати насінневу і стеблову частини врожаю.

2. Проведенні польові дослідження експериментального підбирача-розпушувача валка льону із використанням багатofакторних експериментів дозволили встановити раціональні конструктивно-технологічні параметри підбирача і розпушувача валків для зменшення їх щільності, що є необхідною умовою для забезпечення життєдіяльності пектиноруйнівних бактерій при пертворенні соломи льону у тресту. Напрацьовані рекомендації виробництву для виготовлення розроблених технічних засобів.

3. Для реалізації удосконаленої технології варто передбачити можливість комплектування підбирального вузла із серійними зернозбиральними комбайнами та провести дослідження одновалкової машини для підбирання валків з льону, сформованих в особливих кліматичних умовах, з метою збереження стеблової маси для виробництва целюлози.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Експериментально підтверджено вплив природно-кліматичних чинників на формування показників лубоволокнистої сировини льону на момент її зрізання роторними косарками та вкладання у валки з поздовжнім розташуванням стебел. Ці чинники зумовлюють вибір технічних засобів для відокремлення насінневої частини та перетворення стебел соломи у тресту. Доведено, що формування якості волокна залежить від погодних умов збирального періоду, а спосіб відокремлення насінневої частини має забезпечити збереження якісних показників стебел льону. Запропонована методика трирівневого оцінювання якості стеблостою на волокно. Розроблено та виготовлено експериментальний підбирач-розпушувач валків льону.

2. Удосконалено роздільну технологію збирання льону з низьким зрізанням стеблостою на висоті 30-50 мм, що дозволяє за 25-30 діб отримати тресту за відсутності нічної роси. Визначальним показником роботи різального апарата роторного типу є зусилля різання стебел з раціональним кутом різання в окоренковій частині у межах 30-35°. У фазі ранньо-жовтої стиглості рослин опір різанню стебел в окоренковій частині коливається від 9,18 до 21,98 Н незалежно від виду та сорту льону.

4. Запропоновано теоретичні залежності, що описують переміщення валка на ділянці відривання валка від поверхні поля та визначено раціональну висоту розміщення осі веденого барабана. Експериментально підтверджено, що відстань між опорами не є визначальною для прогину-згину валка і залежить як від вологості стебел, так і наявності включень у вигляді бур'янів. При цьому середня величина прогину коливалась від 31,2 до 55,9 мм а, згину від 36,2 до 57,3мм. Дані значення та зусилля розтягу валка, яке у реальних умовах може зростати до 500 Н забезпечують цілісність валка з початку його відриву від поверхні поля до передачі на наступні робочі органи машин.

5. Розроблена математична модель взаємодії валка з розпушувачем, як тіл з розподіленими масами, на основі принципу Гамільтона. Теоретично визначено збурювальну силу F_a , яка діє на валок з врахуванням кількості бітерних кулачків.

Максимальна збурювальна сила 358,58 Н виникає за наявності в одному ряду 4-х бітерних кулачків масою 0,2 кг, при кутовій швидкості обертання ротора $\omega = 83,73$ рад/с. Трьох – разове зниження щільності валків з 150 кг/м^3 до $88,9\text{-}87,4 \text{ кг/м}^3$ у польових умовах дозволило отримати тресту та волокно з наступними параметрами: відокремлювальність 4,1-5,3 од; вміст волокна 24,81-29,62 %; колір волокна (V група - волокно світло-сіре з блиском). Оцінка проводилась за спрощеною експрес – методикою.

6. Як результат проведення експерименту із застосуванням підбирального вузла у складі підбирача-розпушувача у польових умовах, вперше отримано математичну модель (ф. 5.1), яка характеризує якість підбирання валків, аналіз якої показав, що при швидкості машинно-тракторного агрегату $V_{агр.} = 1,15 \text{ м/с}$, куті нахилу механізму підйому валка $\alpha = 30^0$, відстані між сусідніми планками із зубами $l_{пл.} = 50 \text{ мм}$, кількості зубів на одній планці $n = 8$, забезпечуються наступні значення показника якості підбирання валків з льону $\eta_o = 99,5\text{-}88,3 \%$; що відповідає агротехнічним вимогам і дозволяє визначитися з основними конструктивно-технологічними параметрами підбирального вузла.

7. У результаті проведення експерименту за планом Бокса-Бенкіна було отримано функцію відгуку (ф. 5.2), яка дозволяє встановити раціональні конструктивно-технологічні параметри розпушувального вузла. За результатами оптимізації параметрів встановлено раціональні значення досліджуваних факторів для максимально ефективного перебігу процесу зниження щільності валка до $\rho_p = 80\text{-}90 \text{ кг/м}^3$ при вологості стебел $W = 12, 26 \text{ і } 40 \%$ за рахунок кутової швидкості обертання бітерів відповідно $n = 4,0 \text{ об/с}; 25 \text{ об/с}; 32 \text{ об/с}$ з розміщенням обмежуючої решітки на висоті $h = 55 \text{ мм}$ відносно вершин бітерних кулачків.

8. Економічна ефективність засвідчується доцільністю перетворення стебел льону олійного у тресту, як додаткової сировинної бази різного спрямування. У сучасних технологіях вирощування льону олійного прийнято утилізувати стеблову частину врожаю шляхом її подрібнення або спалювання, що є недопустимим в умовах глобального потепління. Розроблена технологічна

карта вирощування льону олійного (додаток К) дозволяє визначати економічний ефект від виробництва насіння та трести з урахуванням цін поточного часу.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для отримання максимальної кількості якісного волокна з стебел льону олійного із збереженням насіннєвої частини врожаю рекомендовано у виробництво впровадити такі заходи:

- збирання урожаю льону олійного виконувати за роздільною технологією у фазі ранньо-жовтої стиглості з низьким зрізанням стеблостою;

- при вирощуванні льону-довгунця, з метою отримання високоякісного волокна, обробку верхівкової частини стрічки необхідно здійснювати машиною для відокремлення насіння льону за роздільною технологією і збереженням структури валка;

- враховуючи особливості морфологічної будови стебел і технологічних властивостей волокна за довжиною стебла, доцільно отримувати волокно у вигляді однотипної маси;

- з метою прискорення процесу вилежування трести з льону-довгунця олійного доцільно проводити декортикацію стебел перед розстиланням його на полі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В. В., Грицишин М. І. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва. Київ : Аграр. наука, 2012. 416 с.
2. Альбота Д. С., Бодак М. В., Дідух В. Ф. Обґрунтування конструкції підбирача валків льону олійного для роздільної технології. *Сільськогосподарські машини*. 2022. №48. С. 30–37.
3. Біологічні особливості льону олійного. Agrosience. URL: <http://agrosience.com.ua/plant/biologichni-osoblyvosti-lonu-oliinogo> (дата звернення: 20.01.2022).
4. Бобирь С. В. Розроблення технології переробки стебел льону олійного з метою одержання органічного геотекстилю : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.02. Херсон, 2015. 137 с.
5. Бобирь С. В., Кузьміна Т. О. Особливості зберігання соломи льону олійного за рулонною технологією. *Проблеми легкої і текстильної промисловості України: тези док Всеукр. науч.-практ. конф. (г. Херсон, 29-31 окт. 2012 г.)*. Херсон, 2012. С. 100–101.
6. Бодак М. В., Дідух В. Ф. Експериментальні дослідження процесу підбирання валків з стебел льону. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. № 46. С. 212–219.
7. Бодак М. В., Дідух В. Ф. Перспективи використання волокна льону олійного у текстильній галузі. *Якість та безпечність товарів* : зб. матеріалів VI Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Луцьк, 13 травня 2022 р.). Луцьк, 2022. С. 98–100.
8. Бодак М. В. Механізація збирання льону олійного. *Інноваційні технології в АПК*: зб. тез доп. IX Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Луцьк, 7-8 червня 2023 р.). Луцьк, 2023. С. 14–15.
9. Бральний апарат для збирання льону олійного: пат. 129695 Україна: МПК А01D 45/06, А01F 11/02(2006.01). заявл. 25.04.2018; опубл. 12.11.2018, Бюл. № 21. 3 с.
10. Бугай С. М. Рослинництво. Київ: Вища школа, 1978. 384 с.

11. Валько М. І. Наукові основи технологічних процесів одержання модифікованого лляного волокна : дис. ...д-ра техн. наук : 05.18.03. Херсон, 2002. 347 с.
12. Василенко П. М. Введение в земледельческую механику. Київ: Сільгоспосвіта, 1996. 347 с.
13. Волошин В. І. Машини для ворущіння стеблової стрічки льону. *Сільськогосподарські машини*. 2007. № 16. С. 24–27.
14. Гарькавий А. Д., Петриченко В. Ф., Спирін А. В. Конкурентоспроможність технологій і машин : навч. посіб. Вінниця : ВДАУ, 2006. 68 с.
15. Гілязетдінов Р. Н. Розвиток наукових основ створення інноваційних технологій первинної переробки луб'яних культур : дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.01. Глухів, 2009. 329 с.
16. Гевко Б. М., Гевко І. Б., Радик Д. А. Технологія сільськогосподарського машинобудування : підручник. Київ : Кондор, 2006. 496 с.
17. Гевко Р. Б., Некируй Ю. С. Експериментальна установка та методика проведення досліджень канатного механізму для завантаження малих складських приміщень яблуками у тарі. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. 2019. № 67. С. 29–33.
18. Горач О. О. Удосконалення технології одержання трести з соломи льону олійного з використанням штучного зволоження : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01. Херсон, 2009. 206 с.
19. Заїка П. М. Вибрані задачі землеробської механіки : практич. посіб. Київ : УСГА, 1992. 512 с.
20. Дідора В. Г., Малиновський А. С., Дереча О. А. та ін. Льонарство : підручник / за ред. В. Г. Дідори. Житомир : ЖНАУ, 2008. 488 с.
21. Дідух В. Ф., Альбота Д. С., Бодак М. В. Дослідження процесу руйнування стебел льону олійного вальцями з трапецеподібними зубами. *Сільськогосподарські машини*. 2023. №49. С. 31–38.

22. Дідух В. Ф., Бодак М. В. Вибір способу збирання льону олійного для збереження волокна. *The 4th International scientific and practical conference "Eurasian scientific discussions"*. 2022. С.11–17.
23. Дідух В. Ф., Буснюк В. В., Бодак М. В. Обґрунтування обладнання для збирання льону олійного зернозбиральним комбайном. *Збірник наукових праць «Центральноукраїнський науковий» вісник. Технічні науки*. 2022. № 5 (36). С. 226–235.
24. Дідух В. Ф., Дударєв І. М., Кірчук Р. В. Збирання та первинна переробка льону-довгунця. Луцьк : ЛНТУ, 2008. 215 с.
25. Дідух В. Ф., Ковалишин С. Й., Дударєв І. М., Тараймович І. В. Технології вирощування, збирання та переробки льону-довгунця : навч. посіб. Львів : ЛНАУ, 2013. 324 с.
26. Didukh V., Yaheliuk S., Bodak V., Bodak M. & Yaheliuk O. Pulling device for harvesting of Oleaginous Flax. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2024. Vol. 30, No 3. P. 539–546.
27. Дідух В. Ф., Онюх Ю. М., Дуць І. З. Дослідження процесу подрібнення стебел льону олійного. *Сільськогосподарські машини*. 2017. № 39. С. 34–42.
28. Дідух В. Ф., Ягелюк С. В., Онюх Ю. М., Бойчук Б. В. та ін. Технологія переробки стеблової маси льону олійного, отриманої в умовах Західного Полісся. *Сільськогосподарські машини*. 2017. № 38. С. 53–60.
29. Дідух В. Ф., Ягелюк С. В., Онюх Ю. М. Показники споживчих властивостей волокна льону олійного, вирощеного в умовах Західного Полісся. *Сільськогосподарські машини*. 2017. № 38. С. 47–53.
30. Дідух В. Ф., Ягелюк С. В., Онюх Ю. М. Підвищення ефективності збирання льону олійного на територіях Північного Полісся. *Вісник ЛНАУ*. 2017. № 21. С. 155–161.
31. Довідник по технічних культурах : довід./ авт.-упоряд.: В. М. Євмінов та ін. Київ: Урожай, 1989. 256 с.

32. ДСТУ 5015:2008. Волокно лляне коротке. Технічні умови. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
33. ДСТУ 4149:2003. Треста лляна. Технічні умови. [Чинний від 2004-01-01)]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 18 с.
34. Дударев І. М. Розвиток наукових основ ресурсозберігаючої технології первинної обробки луб'яних культур : дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.02. Луцьк, 2016. 370 с.
35. Дударев І. М. Теоретичні основи модернізації машин для виробництва льону : монографія. Луцьк: ЛНТУ, 2015. 268 с.
36. Дудченко І. В., Шевчук М. Й. Технології вирощування екологічно чистих видів рослинницької продукції з основами землеробства : метод. посіб. Луцьк : Надстир'я, 1995. 265 с.
37. Думич В. Аналіз технологій збирання льону олійного в західному регіоні України. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2014. № 18(2). С. 221–227. URL: <http://ndipvt.com.ua/oldsite/konf7/2/dumich.htm> (дата звернення: 15.05.2022).
38. Залужний В., Сидорчук О., Проценко Ю. Перспективні напрямки технологій та розробки машин для приготування і піднімання лляної трести *Вісник сумського національного університету*. 2024. С. 16–18.
39. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин : навч. посіб. в 2 т. Харків : Око, 2004. Т. 2 : Зернозбиральні машини. 404 с.
40. Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножко М. А. Рослинництво : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2001. 591 с.
41. Карпець І. П. Інтенсивна технологія вирощування льону-довгунця. Київ : Урожай, 1990. 112 с.
42. Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин : підручник. Київ : Наукова думка, 2002. 661 с.
43. Козаченко О. В., Пахучий А. М., Шкрегаль О. М., Калайда В. М. та ін. Оптимізація параметрів двобарабанної обчисувальної жнивarki для збирання

насіння льону олійного. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2020. № 22. С. 109–122. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/3042/1/109-122.pdf> (дата звернення: 16.06.2022).

44. Ковбаса В. П., Швайко В. М., Гуцол О. П. *Механіка сільськогосподарських матеріалів та середовищ* : навч. посіб./ за ред. В.П. Ковбаси. Ніжин : ПП Лисенко М. М., 2015. 536 с.

45. Куценко Л. М, Руденко С. Ю. Армування фасонних гумових поверхонь обертання намотуванням кевларової нитки. *Збірник наукових праць «Геометричне та комп'ютерне моделювання»*. 2011. № 29. С. 47–57.

46. Коропченко С. П., Гілязетдінов Р. Н. Вплив різних факторів на процес виділення однотипного волокна льону. *Науковий вісник Національного аграрного університету. Біологія, вирощування, збирання та первинна переробка льону і конопель*. 2002. № 47. С. 127–130.

47. Коломієць Л. В., Воробієнко П. П., Козаченко М. Т. *Метрологія, стандартизація, сертифікація та управління якістю в системах зв'язку* : навч. посіб. Одеса : ВМВ, 2009. 376 с.

48. Кузьміна Т. О. *Розвиток теорії і технології одержання модифікованих лляних волокон функціонального призначення* : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.18.01. Херсон, 2008. 484 с.

49. Кравчук В. І. *Теоретичні основи адаптації сільськогосподарських машин*. Київ : НАУ, 2005. 208 с.

50. Кругла Н. А. *Історія розвитку льонарства в Україні (друга половина XIX–XX століття)* : автореф. дис. ... канд. істор. наук : 07.00.07. Київ, 2022. 20 с.

51. Лінник М. К., Шейченко В. О. Обґрунтування площ посівів льону на волокно і насіння. *Восточно – Європейський журнал передових технологій*. 2010. № 3/10 (45). С. 52–53.

52. Лихочвор В. В., Петриненко В. Ф. *Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур*. Львів : Українські технології, 2006. 730 с.

53. Локоть О. Ю. Агробіологічні та біоенергетичні аспекти оптимізації технологій вирощування льону-довгунця : монографія. Ніжин : Аспект-Поліграф, 2009. 380 с.
54. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О., Човнюк Ю. В., Кадикало І. О. Динаміка й оптимізація підйомно-транспортних машин : монографія. Київ : КОМПРІНТ, 2019. 292 с.
55. Лук'яненко П. В., Шейченко В. О., Василюк В. І. Фізико – механічний склад трести льону-довгунця, отриманої після збирання насіння зернозбиральним комбайном та оцінювання її якості. *Міжвідомчий тематичний збірник «Механізація та електрифікація сільського господарства»*. 2012. № 96. С. 140–148.
56. Макаєв В. І., Гелязетдінов Р. Н. Роздільний спосіб збирання льону та деякі теоретичні основи розробки машини для його здійснення. *Зб. наук. праць «Селекція, технологія виробництва та первинна переробка льону і конопель»*. ІЛК УААН, 2000. С. 129.
57. Мартинців М. П. Розрахунок основних елементів підвісних канатних лісотransпортних установок. Київ : Ясмина, 1996. 175 с.
58. Машини для збирання зернових та технічних культур / за ред. В. І. Кравчука, Ю. Ф. Мельника. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2009. 296 с.
59. 16. Машина для підбирання валків льону олійного: пат. 155841, МПК А01D 45/06, А01D 82/00, (2006.01). заявл. 13.02.2023; опубл. 17.04.2024 Бюл. 16. 4 с.
60. Малиновський А. С., Дідора В. Г., Грищак М. В. та ін. Технічні культури: підручник. / за заг. ред. А. С. Малиновського. Житомир : ДАУ, 2007. 305 с.
61. Меньяло–Батіста І. О. Порівняльні властивості целюлози, одержаної з рослинної сировини. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2012. № 6. С. 124–126.

62. Мохер Ю. В., Жулпатова Л. М., Дудукова С. В., Шевченко Т. В. Нормативне забезпечення виробництва целюлози з лляної та конопляної сировини. Інститут луб'яних культур. Луб'яні та технічні культури. 2017. № 5. С. 202–207. URL: http://znp.abc-naas.com/wp-content/uploads/2020/02/n_5_25.pdf (дата звернення: 14.05.2022).
63. Надикто В. Т., Кюрчев В. М., Семенюк В. Л. Збирання зернових культур роздільним способом : монографія. Запоріжжя : Інтер-М, 2012. 132 с.
64. Налобіна О. О. Механіко – технологічні основи взаємодії робочих органів льонозбирального комбайна з рослинним матеріалом : дис. ...д-ра техн. наук : 05.05.11. Луцьк, 2008. 425 с.
65. Наумов О. Б. Розвиток текстильної промисловості та її сировинної бази : монографія. Херсон : Олді - плюс, 2004. 393 с.
66. Нікулін О. В., Наконечна Т. В. Вища математика : навч. посіб. Дніпропетровськ : Біла К. О., 2015. 188 с.
67. Онюх Ю. М. Удосконалення технології первинної переробки льону олійного, вирощеного в умовах Західного Полісся : дис. ...канд. техн. наук : 05.18.02. Херсон, 2019. 181 с.
68. Онюх Ю. М. Особливості вирощування льону олійного в умовах Західного Полісся. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2017. № 27. С. 37–44.
69. Олійний льон у світі стане дефіцитом. Agroportal. URL: <https://agroportal.ua/news/rastenievodstvo/oliyniy-lon-u-sviti-stane-deficitom> (дата звернення: 24.01.2023).
70. Онюх Ю. М., В. Ф. Дідух, І. В. Тараймович. Дослідження умов вирощування льону олійного. *Сільськогосподарські машини*. 2016. № 34. С. 104–110.
71. Онюх Ю. М., Лалак Ю. Виробництво льону олійного на території Західного регіону України. *Інноваційні технології виробів різного функціонального призначення, їх стандартизація та сертифікація* : матеріали

міжнар. наук.-практ. конф. (м. Херсон, 7 - 9 вересня 2016р.). Херсон, 2016. С. 65–69.

72. Ольшанський В. П., Сліпченко М. В., Ольшанський О. В., Бредіхін В. В. Динаміка імпульсно навантажених нелінійних осциляторів. Харків: Діса плюс, 2021. 264 с.

73. Основні види луб'яних культур та їх використання. Studopedia. URL: https://studopedia.com.ua/1_223674_osnovni-vidi-lubyanih-kultur-ta-yih-vikoristannya.html (дата звернення: 24.04.2022).

74. Павловський М. Н. Теоретична механіка: підручник. Київ : Техніка, 2020. 510 с.

75. Пастухов В. І. Енергетична оцінка механізованих технологій рослинництва. Методи і результати. Харків : Ранок – НГ, 2003. 100 с.

76. Плюси та мінуси десикації. Harvestdiary. URL: <https://harvestdiary.com.ua/ua/plyusyi-i-minusyi-desikatsii/> (дата звернення: 12.03.2023).

77. Поліщук С. О., Поліщук С. С. Напрями досягнення конкурентоспроможності текстильної продукції в обробному виробництві. *Легка промисловість*. 2004. № 2. С. 46.

78. Особливості вирощування олійного льону. Інтерв'ю з Романом Папроцьким. Агроном. URL: <https://www.agronom.com.ua/roman-paprotskyj-dyrektor-pp-lugove/> (дата звернення: 27.04.2023).

79. Субочев О. І., Деркач О. А., Остров І. Ф. Практикум з теорії технічної експлуатації машин : навч. посіб. Дніпро : Літограф, 2017. 120 с.

80. Коновалюк Д. М., Ковальчук Р. М., Фесенко О. О., Шваб'юк В. І. та ін. Прикладна механіка : навч. посіб. Луцьк : ЛДТУ, 2003. 776 с.

81. Присяжнюк М. В., Адамчук В. В., Булгаков В. М., Черниш О. М., Ероменко В. В. Теорія вібраційних машин сільськогосподарського виробництва : монографія. Київ : Аграрна наука, 2013. 440 с.

82. Путінцева С., Чурсіна Л., Тіхосова А. Порівняльна характеристика паперу, отриманого з льону та конопель. *Товарознавчий вісник*. 2021. № 1 (14). С 258–266.
83. Рой О. О. Аналіз фізико - механічних показників льону олійного. *Проблеми легкої і текстильної промисловості України*. 2008. № 1 (13). С. 74–75.
84. Рой О. О., Чурсіна Л. А. Порівняльна характеристика морфологічних та технологічних ознак стебел льону двох груп. *Легка промисловість*. 2007. № 3. С. 38.
85. Рибак Т. І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин. Тернопіль : ТВПК Збруч, 2003. 332 с.
86. Сай В. А., Дідух В. Ф., Тараймович І. В. Перспективи вирощування льону олійного на Волині. *Легка промисловість*. 2009. № 3. С. 10–11.
87. Сай В. А. Технологія вирощування, збирання та первинної переробки льону олійного : монографія. Луцьк : ЛНТУ, 2012. 168 с.
88. Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.
89. Сисолін П. В., Коваль С. М., Іваненко І. М. Машини для збирання зернових культур методом обчісування колосків. Кіровоград : Код, 2010. 112 с.
90. Сиротинський О. А. Основи автоматизації проектування машин : навч. посіб. Рівне : УДУВТП, 2004. 250 с.
91. Спосіб збирання льону олійного: пат. 153643 Україна: МПК А01D 91/04, А01D 45/06 (2006.01) заявл. 06.02.2023; опубл. 02.08.2023, Бюл. № 31. 3 с.
92. Спосіб отримання однотипного волокнистого матеріалу з льону олійного: пат. 133888 Україна: МПК А01 D91/04 № u201811437; заявл. 21.11.2018; опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8. 4 с.
93. Спосіб отримання однотипного волокнистого матеріалу з льону олійного. пат. 123407 України: МПК А01D45/06 D01C1/00. № u201709202; Заявка. 18.09.2017; опубл. 26.02.2018, Бюл. № 4. 2 с.

94. Сидорчук О. В. Інженерія машинних систем : монографія. Київ : ІМЕСГ УААН, 2007. 263 с.
95. Технологія вирощування льону олійного. Kursak. URL: <http://kursak.net/tehnologiya-viroshhuvannya-lonu-olijnogo-kursova/> (дата звернення: 13.01.2022).
96. Шмат К. І., Самарін О. Є., Бондарєв Є. І., О.В. Мигальов О. В. Теорія і розрахунок зернозбиральних комбайнів : навч. посіб. Херсон : Олді-Плюс, 2003. 256 с.
97. Тіхосова Г. А., Бойко Г. А., Головенко Т. М. Фізичні характеристики волокнистої частини стебел соломи льону олійного за довжиною стебел. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2012. № 3. С. 246–249.
98. Тіхосова Г. А., Князєв О. В., Головенко Т. М. Формування якісних характеристик волокна льону олійного в процесі вирощування. *Проблеми легкої і текстильної промисловості України*. 2011. № 1 (17). С. 101–106.
99. Толстушко Н. О., Хайліс Г. А., Толстушко М. М. Рулонні прес – підбирачі : монографія. Луцьк : ЛНТУ, 2018. 164 с.
100. Толстушко М. М., Юхимчук С. Ф., Толстушко Н. О., Мартинюк В. Л. та ін. Дослідження впливу швидкості удару по стеблах та щільності стеблової стрічки на її розтягнутість. *Сільськогосподарські машини*. 2014. № 29. С. 93–96.
101. Хайліс Г. А., Коновалюк Д. М. Розрахунок робочих органів збиральних машин : навч. посіб. Київ : НМК ВО, 1991. 200 с.
102. Хайліс Г. А., Коновалюк Д. М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин : навч. посіб. Київ : НМК ВО, 1992. 320 с.
103. Хайліс Г. А., Федорусь Ю. В. Механіка рослинних матеріалів. Луцьк : ЛДТУ, 2004. 302 с.
104. Хомич А. В. Обґрунтування процесу обробки стрічки льону в технологіях отримання волокна : автореф. дис. ...канд. техн. наук : 05.18.01. Луцьк, 2012. 24 с.

105. Харчовий напрям використання льону олійного. Propozitsiya. URL: <https://propozitsiya.com/ua/harchoviy-napryam-vikoristannya-lonu-oliynogo> (дата звернення: 10.06.2022р.).
106. Чехов А. В., Лапа О. М., Міщенко Л. Ю., Полякова І. О. Льон олійний : біологія, сорти, технологія вирощування. Київ : УААН, 2007. 59 с.
107. Чурсіна Л. А., Тіхосова Г. А., Горач О. О., Янюк Т. І. Наукові основи комплексної переробки стебел та насіння льону олійного: монографія. Херсон : Олді – плюс, 2011. 354 с.
108. Чурсіна Л. А., Тіхосова Г. А., Ляліна Н. П. Термоволога обробка сировини: підручник. Херсон : ХНТУ, 2007. 128 с.
109. Шейченко В. О., Хайліс Г. А. Теорія і розрахунок апаратів для підбирання та обертання. Ніжин : ПП Лисенко М. М., 2020. 240 с.
110. Шейченко В. О., Коропченко С. П., Дудніков Ю. Б., Скоряк Я. М. та ін. Техніко-технологічні рішення інтенсифікації перероблення конопляної сировини. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2023. № 53, С. 85–93
111. Шувар А. М., Войтович, Р. М. Оцінка способів збирання льону олійного. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур*. 2012. № 17, С. 149–153.
112. Щербань В. Ю. Механіка нитки. Київ : Укрбланковидав, 2018. 533 с.
113. Ягелюк С. В. Розвиток наукових основ технологій переробки стебел луб'яних культур, вирощених в умовах Західного Полісся : дис. ...д-ра техн. наук : 05.18.02. Херсон, 2019. 280 с.
114. Didukh V., Yageliuk S., Artyukh T, Albota D, Goliy O. Decrease of elastic properties of oleaginous flax residues by decortication. *Inmateh. Agricultural Engineering*. 2022. Vol. 67, No 2. P. 285–292.
115. Didukh V., Yaheliuk S., Bodak V., Bodak M. & Yaheliuk O. Pulling device for harvesting of Oleaginous Flax. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2024. Vol. 30, No 3. P. 539–546.

116. Barac S., Djokic D., Biberdzic M. and others. Results of the comparative research of grain losses in wheat harvest by wheat combines with tangential harvesting device. *Research people and actual tasks on multidisciplinary sciences*. 2011. Vol. 16, No 1. P. 1–5.

117. Didukh V., Tomyuk V., Onyukh Y., Lalak-Kańczugowska J. Analysis of studies of lake sapropel properties. *TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture*. 2016. Vol. 16, No 3. P. 89–95.

118. Dudariiev I., Kirchuk R. Reasoning of technology and design parameters of oil flax harvesting mashines. *Inmateh. Agricultural Engeneering*. 2011. Vol. 33, No 1. P. 37–42.

119. Yukhymchuk S., Yukhymchuk Sv., Tolstushko M., Tolstushko N. Checking performance of disc-belt flax pulling apparatus. *Proceedings of 23rd International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”*. 2024. Vol. 23. P. 351 – 356.

120. Yukhymchuk Sv., Yukhymchuk S, Tolstushko M., Tsiz I., Tolstushko N. Energetics of pulling flax stalks with a disc-belt flax-pulling apparatus. *Inmateh. Agricultural Engineering*. Vol. 71, № 3. P. 367–378.

121. Flax: The genus *Linum* Medicinal and Aromatic Plants – Industrial. Amazon. URL: <https://www.amazon.com/Flax-Medicinal-Aromatic-Industrial-Profiles-ebook/dp/B00UVACHF0> (date of request: 19.04.2023).

122. Kathleen V. Research on the use of flax as reinforcement for thermoplastic pulltruded composites. *The 1 st Nordic Conference on flax and hemp processing*. Institute of Fiber, Textile and Clothing, Tampere University of Technology. 1998. P. 227–234.

123. Kozłowski R., Mankowaski J. Composite materials strengthened by plants natural fibres for motor industry. *FAO Intercessional Consultation on Fibres*. 1991. URL: <https://lib.vstu.by/jurnal/k/Ref%20sist%20tex%20reg%2035-38.pdf> (date of request: 11.02.2023).

124. Kozłowski R. Manys S. Green Fibres and their Potential And Research Into New Uses. *FAO Intercessional Consultation on Fibres*. 1999. URL: <https://www.fao.org/4/y1873e/y1873e0b.htm> (date of request: 01.03.2023).

125. Langer E. Flax in Germany – New technical and textile applications. *The 1-st Nordic Conference on flax and hemp processing*. Germany, 1998. URL: https://dspace.ksaeu.kherson.ua/bitstream/handle/123456789/7708/65-29-N569-Olga_Gorach.pdf?sequence=1&isAllowed=y (date of request: 21.06.2022).

126. Mieck K.-P., Nechwatal A., Knobelsdorf C. Application of Natural Fibres in Composites. *Techtextil symposium*. 1993. URL: <https://lntu.edu.ua/sites/default/files/sites/default/files/files12/0112u000289-szhatyy.pdf> (date of request: 07.06.2023).

127. Hofman V., Kucera H. Grain harvest losses Dakota State University. 2011. URL: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4NwMWXVI/> (date of request: 08.06.2023).

128. Nyborg E., McColly H., Hinkle R. Grain-combine loss characteristics. *Transactions of the ASAE*. 1969. Vol. 12, No 6. P. 727-732.

129. Gumeniuk L., Fedik L., Didukh V., & Humeniuk P. Analysis and study and rolling parameters of coils on an iclined plane. *Informatyka, Automatyka, Pomiarzy W Gospodarce I Ochronie Środowiska*. 2024. Vol. 14, No 3. P.101–104.

130. Capeletto P. L. Fiber valorization of oilseed flax. *Flax and other Bast Plants Symposium*. 1997. P. 150–151. URL: https://dspace.ksaeu.kherson.ua/bitstream/handle/123456789/7708/65-29-N569-Olga_Gorach.pdf?sequence=1&isAllowed=y (date of request: 08.06.2023).

131. Patel S., Varshney B. Modeling of wheat crop harvesting losses. *Agric Eng Int : CIGR Journal*, 2014. Vol. 16, No 2. P. 97–102.

132. Shi R., Dai F., Zhao W., Liu X. and others. Optimal Design and Testing of a Crawler-Type Flax Combine Harvester. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, No 2. P. 229.

133. Yaheliuk, S., Didukh, V., Busnyuk, V., Boyko, G. and others. Optimization on Efficient Combustion Process of Small-Sized Fuel Rolls made of

Oleaginous Flax Residues. *Inmateh. Agricultural Engineering*. 2020. Vol. 62, No 3. P. 361–368.

134. Yaghelyuk S., Diduh V., Tkachyuk V. Studying the possibilities of producing fuel materials fevrom oil flax wastes in the conditions of Western Pollissya. *Știința agricolă. Universitatea agrară de stat din Moldova*. 2018. No 2. P. 158–163.

135. SWATH UP. CLAAS Сільськогосподарські машини. URL: <https://www.claas.com/uk-ua/sil-skohospodarski-mashyny/zernozbyralni-kombayny/swathup> (date of request: 07.05.2023).

136. У Казахстані високий врожай льону посприяв збільшенню обсягів експорту. Com3s. URL: <https://com3s.com/uk/v-kazahstane-vysokij-urozhaj-lna-posposobstvoval-ovelicheniyu-obemov-eksporta/> (дата звернення: 17.06.2022).

137. Збір урожаю бавовни розпочався на експериментальних полях в Одеській області. Agroportal. URL: <https://agroportal.ua/news/rastenievodstvo/na-odeshchini-startuvav-zbir-eksperimentalnogo-urozhayu-bavovni> (дата звернення: 21.11.2024).

138. Льон — перспективна нішева культура. Growhow. URL: <https://www.growhow.in.ua/l-on-perspektyvna-nisheva-kul-tura/> (дата звернення: 07.05.2023).

139. Технологія вирощування органічного льону. Superagronom. URL: <https://superagronom.com/cards/tehnologiya-viroshchuvannya-organichnogo-lonu-z-dosvidu-svarog-vest-grup-id18452#> (дата звернення: 24.06.2022).

140. Сорт Міандр (льон-довгунець). Agrarii-razom. URL: <https://agrarii-razom.com.ua/culture-variety/miandr> (дата звернення: 14.05.2022).

ДОДАТКИ

Додаток А

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації. Основні положення дисертації викладено у 15 наукових працях, у тому числі статей у фахових наукових виданнях – 5 (в тому числі 1 в закордонному виданні), патентів України на корисну модель – 4, матеріалів доповідей на конференціях – 6.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Дідух В. Ф., Буснюк В. В., Бодак М. В. Обґрунтування обладнання для збирання льону олійного зернозбиральним комбайном. Збірник наукових праць «Центральноукраїнський науковий» вісник. Технічні науки. 2022. № 5 (36). С. 226–235.

2. Альбота Д. С., Бодак М. В., Дідух В. Ф. Обґрунтування конструкції підбирача валків льону олійного для роздільної технології. *Сільськогосподарські машини*. 2022. №48. С. 30–37.

3. Дідух В. Ф., Альбота Д. С., Бодак М. В. Дослідження процесу руйнування стебел льону олійного вальцями з трапецеподібними зубами. *Сільськогосподарські машини*. 2023. №49. С. 31–38.

4. Didukh V., Yaheliuk S., Bodak V., Bodak M. & Yaheliuk O. Pulling device for harvesting of Oleaginous Flax. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2024. Vol. 30, No 3. P. 539–546.

5. Бодак М. В., Дідух В. Ф. Експериментальні дослідження процесу підбирання валків з стебел льону. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. № 46. С. 212–219.

Опубліковані праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації :

1. Бодак М. В., Дідух В. Ф. Аналіз технологій збирання льону олійного в умовах Полісся. *Науковий збірник «Студентський науковий вісник»*. Вип. 44. ч.2 (м. Луцьк, грудня 2021 р.). Луцьк, 2021. С. 68–73.

2. Дідух В. Ф., Бодак М. В. Вибір способу збирання льону олійного для збереження волокна. *The 4th International scientific and practical conference "Eurasian scientific discussions"*. 2022. С.11–17.

3. Бодак М. В., Дідух В. Ф. Перспективи використання волокна льону олійного у текстильній галузі. *Якість та безпечність товарів* : зб. матеріалів VI Міжнар. наук.-практ. конф., (м. Луцьк, 13 травня 2022 р.). Луцьк, 2022. С. 98–100.

4. Бодак М. В. Механізація збирання льону олійного. *Інноваційні технології в АПК*: зб. тез доп. IX Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Луцьк, 7-8 червня 2023 р.). Луцьк, 2023. С. 14–15.

5. Бодак М.В., Дідух В.Ф. Роздільна технологія збирання льону з низьким зрізом стеблостою як спосіб збереження волокна. *Сучасні проблеми землеробської механіки*: зб. тез доп. XXV Міжнар. наук конф. (м. Київ, 17-19 жовтня 2024 р.). Київ, 2024. С. 166–168.

6. М. Бодак. Технологія отримання трести льону для виробництва порошу. *Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні* : тези IV студ. наук.-техн. конф. (м. Луцьк, 15 листопада 2024р.). Луцьк, 2024. С. 65–67.

7. Бодак В. І., Дідух В. Ф. Підбирач-розпушувач для інтенсифікації перетворення соломи льону у тресту. *Інноваційні технології в АПК*: зб. тез доп. X Міжнар. наук.-практ. конф. Луцьк, 2025. С. 13–16.

8. М. Бодак, В Дідух. Підбирач валків льону олійного. «Крамаровські читання»: XII Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Київ, 20-21 лютого 2025р.). Київ, 2025. С. 284–286.

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації :

1. Бральний апарат для збирання льону олійного: пат. 129695 Україна: МПК А01D 45/06, А01F 11/02(2006.01). заявл. 25.04.2018; опубл. 12.11.2018, Бюл. № 21. 3 с.

2. Спосіб збирання льону олійного: пат. 153643 Україна: МПК А01D 91/04, А01D 45/06 (2006.01) заявл. 06.02.2023; опубл. 02.08.2023, Бюл. № 31. 3 с.

3. Машина для підбирання валків льону олійного: пат. 147778, МПК А01D 45/06, А01D 82/00, (2006.01). заявл. 15.02.2021; опубл. 09.06.2021 Бюл. 23. 4 с.

4. Машина для підбирання валків льону олійного: пат. 155841, МПК А01D 45/06, А01D 82/00, (2006.01). заявл. 15.02.2021; опубл. 17.04.2024 Бюл. 16. 3 с.

Додаток Б
СУЧАСНІ ПІДБИРАЧІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ



Рис. Б.1 - Підбирач валків Агріко



Рис. Б.2 – Підбирач валків ПДЕ – 3.4. працює в агрегаті с комбайнами КЗС -
9 "Славутич", John Deere, Dominator, Massey Ferguson, Claas, Case, New

Holland.



Рис. Б.3 – Платформа підбирач Sunfloro ПП – 3,4



Рис. Б.4 – Підбирач валків барабанний Fortchritt e 281 Maral 125



Рис. Б.5 –Підбирач валків Pick up 300 фірми «Claas»



Рис. Б.6 - Новий Schwadaufnehmer / Pickup header / Ramasseurs d'andains 3,4 m



Рис. Б.7 - Підбирач валків на Фортшрітт, Джон Дір



Рис. Б.8 - Підбирач валків Krone Easy Flow 300S Inspected



Рис. Б.9 - Підбирач валків New Holland 273



Рис. Б.10 - Стрічковий валкоутворювач-підбирач KUHN MERGE MAXX 950
KUHN MERGE MAXX 950

Додаток В. 1

Таблиця В.1.1 - Матриця планування чотирифакторного експерименту

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_2x_3	x_2x_4	x_3x_4	x_1^2	x_2^2	x_3^2	x_4^2
1	+1	+1	0	0	+1	0	0	0	0	0	+1	+1	0	0
2	-1	+1	0	0	-1	0	0	0	0	0	+1	+1	0	0
3	+1	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	+1	+1	0	0
4	-1	-1	0	0	+1	0	0	0	0	0	+1	+1	0	0
5	0	0	+1	+1	0	0	0	0	0	+1	0	0	+1	+1
6	0	0	-1	+1	0	0	0	0	0	-1	0	0	+1	+1
7	0	0	+1	-1	0	0	0	0	0	-1	0	0	+1	+1
8	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	+1	0	0	+1	+1
9	+1	0	0	+1	0	0	+1	0	0	0	+1	0	0	+1
10	-1	0	0	+1	0	0	-1	0	0	0	+1	0	0	+1
11	+1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0	+1	0	0	+1
12	-1	0	0	-1	0	0	+1	0	0	0	+1	0	0	+1
13	0	+1	+1	0	0	0	0	+1	0	0	0	+1	+1	0
14	0	-1	+1	0	0	0	0	-1	0	0	0	+1	+1	0
15	0	+1	-1	0	0	0	0	-1	0	0	0	+1	+1	0
16	0	-1	-1	0	0	0	0	+1	0	0	0	+1	+1	0
17	+1	0	+1	0	0	+1	0	0	0	0	+1	0	+1	0
18	-1	0	+1	0	0	-1	0	0	0	0	+1	0	+1	0
19	+1	0	-1	0	0	-1	0	0	0	0	+1	0	+1	0
20	-1	0	-1	0	0	+1	0	0	0	0	+1	0	+1	0
21	0	+1	0	+1	0	0	0	0	+1	0	0	+1	0	+1
22	0	-1	0	+1	0	0	0	0	-1	0	0	+1	0	+1
23	0	+1	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0	+1	0	+1
24	0	-1	0	-1	0	0	0	0	+1	0	0	+1	0	+1
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблиця В. 1.2 - Планування експерименту

Номер дослід	Фактори			
	$V_{\text{гр.}}$, м/с	α , град.	$l_{\text{пл.}}$, мм	n_z , шт.
1	1,15	45	225	5
2	0,65	45	225	5
3	1,15	15	225	5
4	0,65	15	225	5
5	0,90	30	400	8
6	0,90	30	50	8
7	0,90	30	400	2
8	0,90	30	50	2
9	1,15	30	225	8
10	0,65	30	225	8

11	1,15	30	225	2
12	0,65	30	225	2
13	0,90	45	400	5
14	0,90	15	400	5
15	0,90	45	50	5
16	0,90	15	50	5
17	1,15	30	400	5
18	0,65	30	400	5
19	1,15	30	50	5
20	0,65	30	50	5
21	0,90	45	225	8
22	0,90	15	225	8
23	0,90	45	225	2
24	0,90	15	225	2
25	0,90	30	225	5
26	0,90	30	225	5
27	0,90	30	225	5

Отримання рівняння регресії

Чотири факторний експеримент

Вихідні дані до розрахунку:

Кількість експериментів: $n = 27$

Кількість повторюваностей: $m = 3$

Таблиця планування експерименту:

X :=

	0	1	2	3
0	1	1	0	0
1	-1	1	0	0
2	1	-1	0	0
3	-1	-1	0	0
4	0	0	1	...

Таблиця результатів експерименту:

Y :=

	0	1	2
0	9.3	9.4	9.1
1	7.9	8.6	9.2
2	5	4.7	4.6
3	4.1	3.7	4.3
4	3.3	2.9	3.2
5	1.9	1.7	2.3
6	10.4	11.2	...

Кількість дослідів у центрі плану: $n_0 = 3$

Табличне значення критерію Ст'юдента: $t = 4.3$

Табличне значення критерію Кохрена: $Граб = 0.318$

Результати розрахунку:

Матриця середніх значень результатів експерименту:

Коефіцієнти регресії:

$$\begin{aligned}
 & \hat{p}_0 \quad b_0 = 5.1 \quad \hat{p}_1 \quad b_1 = 0.297 \quad \hat{p}_2 \quad b_2 = 2.214 \quad \hat{p}_3 \quad b_3 = 0.925 \\
 & \hat{p}_3 \quad b_3 = -3.908 \quad \hat{p}_{12} \quad b_{12} = -8.333 \quad \hat{p}_{13} \quad b_{13} = 0.175 \quad \hat{p}_{14} \quad b_{14} = 0.225 \\
 & \hat{p}_{23} \quad b_{23} = 0.058 \quad \hat{p}_{24} \quad b_{24} = -0.875 \quad \hat{p}_{34} \quad b_{34} = -0.108 \\
 & \hat{p}_{11} \quad b_{jj_0} = 0.357 \quad \hat{p}_{22} \quad b_{jj_1} = 1.124 \quad \hat{p}_{33} \quad b_{jj_2} = 0.115 \quad \hat{p}_{44} \quad b_{jj_3} = 0.999
 \end{aligned}$$

Критерій Кохрена: $Гроз = 0.175 \quad Граб = 0.318$

Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії:

$\Delta b_0 = 0.646$ $\Delta b_j = 0.32$ $\Delta b_{jr} = 0.56$ $\Delta b_{jj} = 0.485$

Число ступенів вільності дисперсії неадекватності - відтворюваності експерименту

$f_2 = 18$
 $f_1 = 2$

Дисперсія відтворюваності експерименту:

$S_{y2} = 0.068$

Дисперсія неадекватності:

$S_{неад2} = 0.18$

Критерій Фішера:

$F_{розр} = 2.655$

Сіа+аііү öóíêö³¿
ä³ääóéó íöðeia³ çà ð-íyi
ðääðañ³¿:

Гіпотезу адекватності рівняння регресії приймаємо коли $F_{розр} < F_{таб}(0,05, f_2, f_1)$

Остаточні значення коефіцієнтів регресії:

$b_0 = 5.1$	$b_1 = 0$	$b_2 = 2.214$	$b_3 = 0.925$	$b_4 = -3.908$
$b_{12} = 0$	$b_{13} = 0$	$b_{14} = 0$	$b_{23} = 0$	$b_{24} = -0.875$
$b_{34} = 0$	$b_{11} = 0.357$	$b_{22} = 1.124$	$b_{33} = 0.115$	$b_{44} = 0.999$

Розрахункові вирази:

Інтервали зміни індексів:

$$d = 0..m-1 \quad i = 0..n-1 \quad j = 0..3 \quad u = n-3..n-1$$

$$q = 0..m-1$$

Середнє значення функції
відгуку:

$$YCER_i := \frac{\left(\sum_q Y_{i,q} \right)}{3}$$

Коефіцієнти регресії:

$$b0 := \frac{\sum_u YCER_u}{n0} \quad b_j := \frac{\sum_i (X_{i,j} \cdot YCER_i)}{12} \quad b12 := \frac{\sum_i (X_{i,0} \cdot X_{i,1} \cdot YCER_i)}{4}$$

$$b13 := \frac{\sum_i (X_{i,0} \cdot X_{i,2} \cdot YCER_i)}{4} \quad b14 := \frac{\sum_i (X_{i,0} \cdot X_{i,3} \cdot YCER_i)}{4} \quad b23 := \frac{\sum_i (X_{i,1} \cdot X_{i,2} \cdot YCER_i)}{4}$$

$$b24 := \frac{\sum_i (X_{i,1} \cdot X_{i,3} \cdot YCER_i)}{4} \quad b34 := \frac{\sum_i (X_{i,2} \cdot X_{i,3} \cdot YCER_i)}{4}$$

$$bjj_j := \left[\frac{\sum_i [(X_{i,j})^2 \cdot YCER_i]}{8} \right] - \left[\frac{\sum_j \sum_i [(X_{i,j})^2 \cdot YCER_i]}{48} \right] - \frac{b0}{2}$$

Дисперсія результатів і-го досліджу:

$$Sy2_i := \frac{\sum_d (Y_{i,d} - YCER_i)^2}{m-1}$$

Критерій Кохрена:

$$G_{роз} := \frac{\max(Sy2)}{\sum_i Sy2_i} \quad fl = (n0 - 1)$$

Дисперсія відтворюваності
експерименту:

$$Sy2 := \frac{\sum_u (YCER_u - b0)^2}{fl}$$

$$YCER_i := \text{if}(G_{роз} > G_{таб}, 0, YCER_i)$$

Дисперсії коефіцієнтів
регресії та їх коваріації:

$$Sbo2 := \frac{Sy2}{3}$$

$$Sbj2 := \frac{Sy2}{12}$$

$$Sbjr2 := Sy2 \cdot 0.25$$

$$COVb0bjj := -0.16667 \cdot Sy2 \quad COVbjjbr := 0.0625 \cdot Sy2 \quad Sbjj2 := 0.1875 \cdot Sy2$$

Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії:

$$\Delta b_0 := t \cdot \sqrt{S_{b_0^2}} \quad \Delta b_j := t \cdot \sqrt{S_{b_j^2}} \quad \Delta b_{jr} := t \cdot \sqrt{S_{b_{jr}^2}} \quad \Delta b_{jj} := t \cdot \sqrt{S_{b_{jj}^2}}$$

Число ступенів вільності дисперсії неадекватності:

$$b_j := \text{if}(\Delta b_j > |b_j|, 0, b_j) \quad \underline{b_{12}} := \text{if}(\Delta b_{jr} > |b_{12}|, 0, b_{12}) \quad \underline{b_{13}} := \text{if}(\Delta b_{jr} > |b_{13}|, 0, b_{13})$$

$$\underline{b_{14}} := \text{if}(\Delta b_{jr} > |b_{14}|, 0, b_{14}) \quad \underline{b_{23}} := \text{if}(\Delta b_{jr} > |b_{23}|, 0, b_{23}) \quad \underline{b_{24}} := \text{if}(\Delta b_{jr} > |b_{24}|, 0, b_{24})$$

$$\underline{b_{34}} := \text{if}(\Delta b_{jr} > |b_{34}|, 0, b_{34})$$

$$n_1 := \left(\sum_j \text{if}(b_j \neq 0, 0, 1) \right) \quad n_2 := \text{if}(b_{12} \neq 0, 0, 1) \quad n_3 := \text{if}(b_{13} \neq 0, 0, 1) \quad n_4 := \text{if}(b_{23} \neq 0, 0, 1)$$

$$n_5 := \text{if}(b_{14} \neq 0, 0, 1) \quad n_6 := \text{if}(b_{24} \neq 0, 0, 1) \quad n_7 := \text{if}(b_{34} \neq 0, 0, 1)$$

$$f_2 := 27 - (15 - n_1 - n_2 - n_3 - n_4 - n_5 - n_6 - n_7)$$

Рівняння регресії:

$$YR_i := [b_0 + [b_0 \cdot (X_{i,0})] + [b_1 \cdot (X_{i,1})] + [b_2 \cdot (X_{i,2})] + [b_3 \cdot (X_{i,3})] + [b_{j0} \cdot (X_{i,0})^2] + [b_{j1} \cdot (X_{i,1})^2] + [b_{j2} \cdot (X_{i,2})^2]$$

Дисперсія неадекватності:

$$S_{неад^2} := \frac{\sum_i (YR_i - YCER_i)^2}{f_2}$$

Критерій Фішера:

$$F_{розр} := \frac{S_{неад^2}}{S_y^2}$$

$$S_{y^2} = \begin{pmatrix} 0.023 \\ 0.423 \\ 0.043 \\ 0.093 \\ 0.043 \\ 0.093 \\ 0.163 \\ 0.063 \\ 0.123 \\ 0.053 \\ 0.16 \\ 0.323 \\ 0.07 \\ 0.01 \\ 0.063 \\ 0.023 \\ 0.063 \\ 0.07 \\ 0.023 \\ 0.043 \\ 0.043 \\ 0.04 \\ 0.063 \\ 0.023 \\ 0.103 \\ 0.07 \\ \dots \\ 0.103 \end{pmatrix}$$

Додаток В.2

Таблиця В.2.1 - Матриця планування трьохфакторного експерименту

№	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2
1	+1	+1	0	+1	0	0	+1	+1	0
2	-1	+1	0	-1	0	0	+1	+1	0
3	+1	-1	0	-1	0	0	+1	+1	0
4	-1	-1	0	+1	0	0	+1	+1	0
5	+1	0	+1	0	+1	0	+1	0	+1
6	-1	0	+1	0	-1	0	+1	0	+1
7	+1	0	-1	0	-1	0	+1	0	+1
8	-1	0	-1	0	+1	0	+1	0	+1
9	0	+1	+1	0	0	+1	0	+1	+1
10	0	-1	+1	0	0	-1	0	+1	+1
11	0	+1	-1	0	0	-1	0	+1	+1
12	0	-1	-1	0	0	+1	0	+1	+1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблиця В.2.2 - Планування експерименту

Номер досліджу	n , об/с.	h , мм	W ,%
1	15	5	26
2	2	55	26
3	15	5	26
4	2	5	26
5	15	30	40
6	2	30	40
7	15	30	12
8	2	30	12
9	8,5	55	40
10	8,5	5	40
11	8,5	55	12
12	8,5	5	12
13	8,5	30	26
14	8,5	30	26
15	8,5	30	26

Отримання рівняння регресії

Значення функції відгуку
отримані за рівням регресії:

$YR_i =$

86.742
81.192
86.742
81.192
87.55
82
84.867
79.317
84.608
84.608
81.925
81.925
85.144
85.144
85.144

Число ступенів вільності
дисперсії неадекватності - $f_2 = 8$
відтворюваності
експерименту - $f_1 = 2$

Критерій Фішера: $F_{розр} = 11.601$

Гіпотезу адекватності рівняння регресії приймаємо, коли
 $F_{розр} < F_{таб}(0,05, f_2, f_1)$

Остаточні значення коефіцієнтів
регресії:

b_0 $b_0 = 85.144$ b_1 $b_0 = 2.775$ b_2 $b_1 = 0$ b_3 $b_2 = 1.342$
 b_{12} $b_{12} = 0$ b_{13} $b_{13} = 0$ b_{23} $b_{23} = 2.033$

Результати розрахунку:

Матриця середніх значень
результатів експерименту:

Коефіцієнти регресії:

b_0 $b_0 = 85.144$ b_1 $b_0 = 2.775$ b_2 $b_1 = -0.15$ b_3 $b_2 = 1.342$
 b_{12} $b_{12} = 0.1$ b_{13} $b_{13} = 0.533$ b_{23} $b_{23} = 2.033$
 b_{11} $b_{jj_0} = -0.506$ b_{22} $b_{jj_1} = -0.672$ b_{33} $b_{jj_2} = -1.206$

Критерій Кохрена: $G_{розр} = 0.202$ $G_{таб} = 0.335$

Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії:

$\Delta b_0 = 0.663$ $\Delta b_j = 0.40$ $\Delta b_{jr} = 0.574$ $\Delta b_{jj} = 0.597$

$Y_{CER}_i =$

85.967
80.033
87.7
82.167
88.9
82.467
83.333
79.033
86.4
81
81.467
84.2
84.9
84.733
85.8

Дисперсія
відтворюваності
експерименту:

$S_{y^2} = 0.329$

Дисперсія
неадекватності:

$S_{неад^2} = 3.82$

Значення функції відгуку
отримані за рівням регресії:

$YR_i =$

86.742
81.192
86.742
81.192
87.55
82
84.867
79.317
84.608
84.608
81.925
81.925
85.144
85.144
85.144

Число ступенів вільності
дисперсії неадекватності - $f2 = 8$
відтворюваності
експерименту - $f1 = 2$

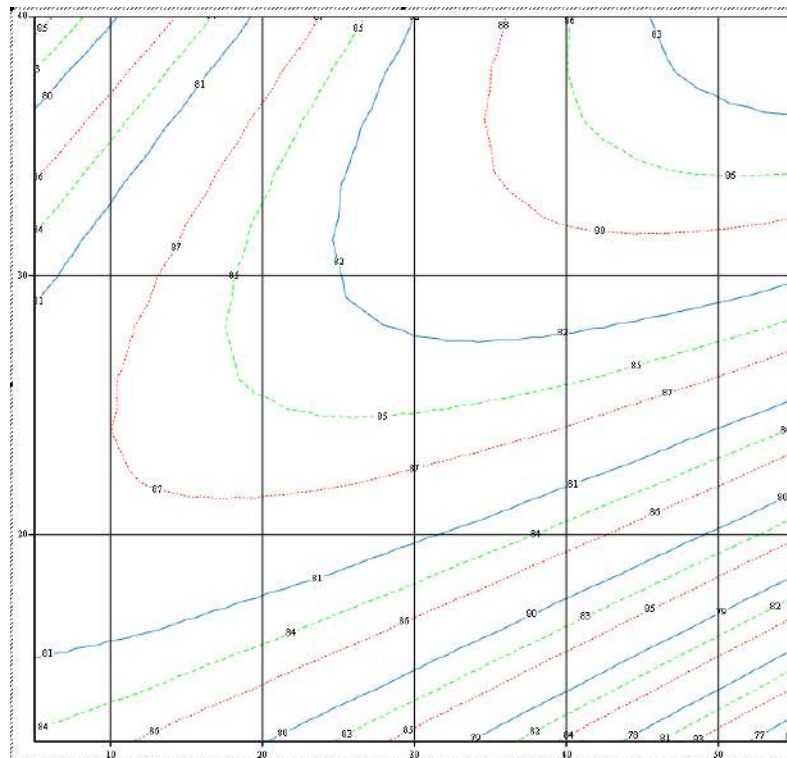
Критерій Фішера: $F_{розр} = 11.601$

Гіпотезу адекватності рівняння регресії приймаємо, коли
 $F_{розр} < F_{таб}(0,05, f2, f1)$

Остаточні значення коефіцієнтів
регресії:

$b_0 = 85.144$ $b_1 = 2.775$ $b_2 = 0$ $b_3 = 1.342$
 $b_{12} = 0$ $b_{13} = 0$ $b_{23} = 2.033$

Двомірні січення поверхонь відгуку



Додаток Г

ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЛЯ БРАННЯ ТА РІЗАННЯ

Таблиця Г.1 – Зусилля брання стебел

Сорт	Виривання зусилля		
	1 ст.	3 ст.	5 ст.
Атлант (750 ст/м ²)	16,35 Н	27,3 Н	∞
Оберіг (850 ст/м ²)	19,5 Н	16,25 Н	46,8 Н
Міандр (1115 ст/м ²)	10,2 Н	15,25 Н	20,75 Н
Лірина (654 ст/м ²)	12,25 Н	44,5 Н	∞

Таблиця Г.2 – Зусилля різання стебел у окоренковій частині

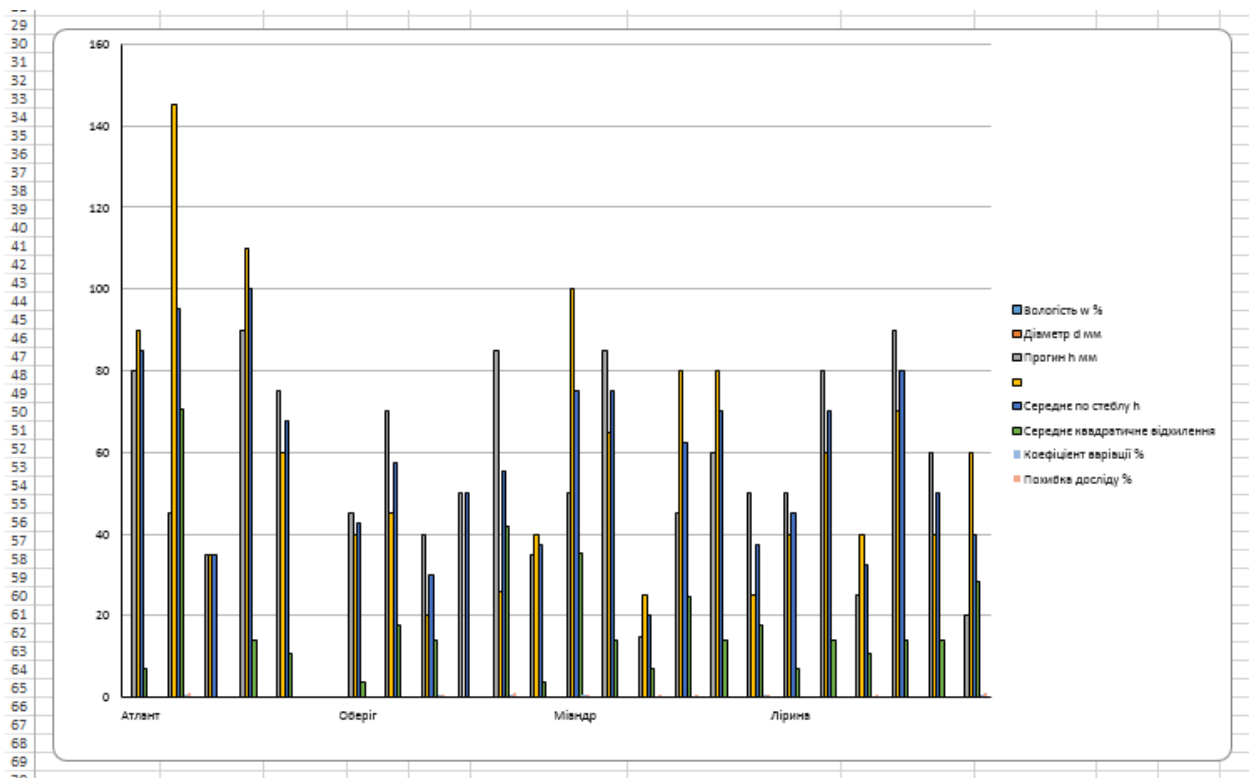
Зусилля на зрізання									
Сорт	Кут 30°		Кут 45°		Сорт	Кут 30°		Кут 45°	
Лірина	1 р.	21 Н	1 р.	16 Н	Атлант	1 р.	16 Н	1 р.	22 Н
	2 р.	15 Н	2 р.	15 Н		2 р.	15 Н	2 р.	24 Н
	3 р.	30 Н	3 р.	28 Н		3 р.	28 Н	3 р.	20 Н
Міандр	1 р.	14 Н	1 р.	21 Н	Оберіг	1 р.	17 Н	1 р.	13,5 Н
	2 р.	5 Н	2 р.	21 Н		2 р.	22 Н	2 р.	20 Н
	3 р.	8Н	3 р.	14 Н		3 р.	13 Н	3 р.	12 Н

ДОДАТОК Д

ПАРАМЕТРИ ПРОГИНУ-ЗГИНУ ВАЛКІВ

Таблиця Д.1 – Обробка значень прогину-згину валків у програмі Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
4			1,5-2,0 мм	35	35	35	0	0	0
5	Атлант		до 1 мм	90	110	100	14,14213562	0,141421356	0,2
6		126/10	1-1,5 мм	75	60	67,5	10,60660172	0,15713484	0,222222222
7			1,5-2,0 мм						
8			до 1 мм	45	40	42,5	3,535533906	0,083189033	0,117647059
9		56.4	1-1,5 мм	70	45	57,5	17,67766953	0,307437731	0,434782608
10	Оберіг		1,5-2,0 мм	40	20	30	14,14213562	0,471404521	0,665666656
11			до 1 мм	50		50		0	0
12		126/10	1-1,5 мм	85	26	55,5	41,71930009	0,751699101	1,063063061
13			1,5-2,0 мм	35	40	37,5	3,535533906	0,094280904	0,133333333
14			до 1 мм	50	100	75	35,35533906	0,471404521	0,666666656
15		56.4	1-1,5 мм	85	65	75	14,14213562	0,188561808	0,265666656
16	Міандр		1,5-2,0 мм	15	25	20	7,071067812	0,353553391	0,499999999
17			до 1 мм	45	80	62,5	24,74873734	0,395979797	0,559999999
18		126/10	1-1,5 мм	60	80	70	14,14213562	0,202030509	0,285714285
19			1,5-2,0 мм	50	25	37,5	17,67766953	0,471404521	0,666666656
20			до 1 мм	50	40	45	7,071067812	0,15713484	0,222222222
21		56.4	1-1,5 мм	80	60	70	14,14213562	0,202030509	0,285714285
22	Лірина		1,5-2,0 мм	25	40	32,5	10,60660172	0,326356976	0,461538461
23			до 1 мм	90	70	80	14,14213562	0,176776695	0,25
24		126/10	1-1,5 мм	60	40	50	14,14213562	0,282842712	0,399999999
25			1,5-2,0 мм	20	60	40	28,28427125	0,707106781	0,999999998
26									



Додаток Е

**ГРАФІЧНА ІНТЕПРЕТАЦІЯ ВИЛЕЖУВАННЯ ТРЕСТИ З
ВРАХУВАННЯМ ЗМІНИ ВОЛОГОСТІ СТЕБЕЛ У ВАЛКАХ**

Таблиця Е.1 – Визначення вологості стебел льону

Досліди на вологість стебла льону				
12.07.2024				
Сорт	Вага тари, г	Вага до сушіння, г	20 хв. сушіння, г	40 хв. сушіння, г
Лірина	19,2	22,3	-	20,6
Міандр	27	29,25	-	28
Атлант	19,2	21,98	-	20,4
Оберіг	19	22,44	-	20,4
27.07.2024				
Лірина	19,2	22	20,7	20,6
Міандр	27	30,5	29,1	29,1
Атлант	19,2	22,2	20,83	20,8
Оберіг	19	22,4	21,2	21,1
12.08.2024				
Лірина	19,2	22,4	21,6	21,6
Міандр	19,6	22,65	22	22
Атлант	19	23,7	22,9	22,9
Оберіг	19	23,4	22,5	22,5

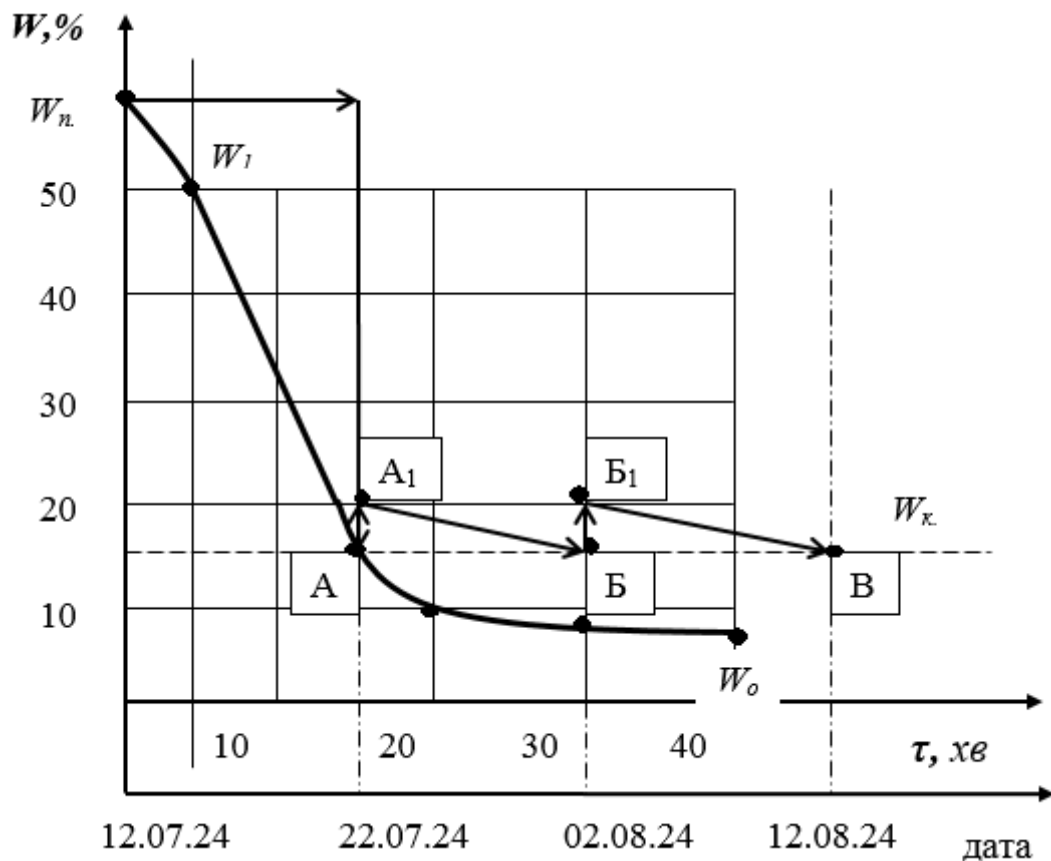


Рисунок Е.1 – Крива сушіння стебел льону та значення вологості стебел відповідно до дат підбирання та розпушування валків

На момент зрізання стеблостою вологість стебел в окоренковій зоні була $W_{\text{від.}} = 55,67\%$. Відносно даного значення досліджувалась вологовідача стебел льону під час пертворення стебел соломи у тресту. Для цього будували криву сушіння та накладали значення вологості у дні підбирання з ропушуванням валків.

Середня початкова вологість вказаних сортів льону 22.07.2024 р. склала 16,45 %, 2.08.2024 р. - 14,12 %, а кінцеве значення вологості готової трести, на момент завершення процесу, 12.08.2024 р. – 12,86 %.

Додатки Ж

ТЕХНІЧНА НОВИЗНА ПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

Додаток Ж. 1



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **129695** (13) **U**

(51) МПК

A01D 45/06 (2006.01)**A01F 11/02** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

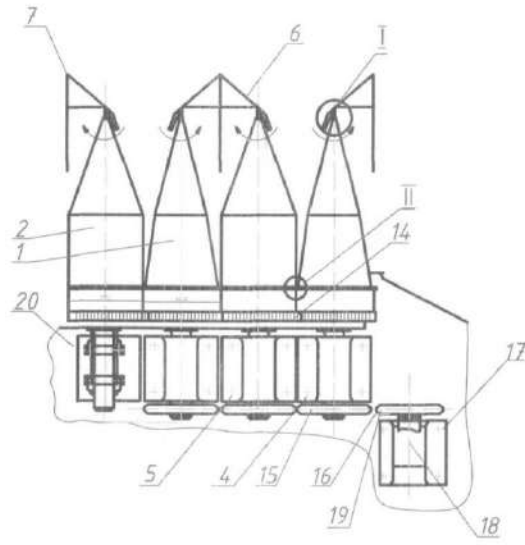
(21) Номер заявки: u 2018 04573	(72) Винахідник(и): Буснюк Віталій Васильович (UA), Дідух Володимир Федорович (UA), Бодак Максим Володимирович (UA)
(22) Дата подання заявки: 25.04.2018	(73) Власник(и): ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43018 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 12.11.2018	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 12.11.2018, Бюл.№ 21	

(54) БРАЛЬНИЙ АПАРАТ ДЛЯ ЗБИРАННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО**(57) Реферат:**

Бральний апарат для збирання льону олійного містить пари вальців з міжсекційними подільниками відповідно ширині захвату жатки, які забезпечені ланцюговою передачею з гідравлічним мотором. При цьому робочі поверхні ведучих вальців обмежені кільцевими виступами, розташованими опозитно канавкам на ведених вальцях, окрім того подільники встановлені на конусній частині вальців.

UA 129695 U

UA 129695 U



Фиг. 1

UA 129695 U

Корисна модель належить до галузі сільськогосподарського машинобудування і може бути використана як вузол зернозбирального комбайна.

Відомий вальцьовий льонобральний апарат, що містить бральні секції, розміщені на рамі льонозбирального агрегата. Кожна бральна секція містить пару вальців з прогумованою поверхнею, один з яких виконано гладким, а другий з багатозахідним гвинтовим пазом, причому другий виконано довшим і він виступає зі сторони входження стеблостою у міжвальний простір. Вальці мають горизонтальні осі обертання, що спрямованні вздовж напрямку руху льонобрального агрегата. Крім цього апарат обладнано подільниками стеблостою, спрямовувачими прутками на двох рівнях у вертикальній площині та поперечним транспортером з пальцями [див. Пат. України № 103445, кл. A01D 45/00, A 01D 45/06, A01F 11/00, 2013 р.].

Недоліком вальцьового льонобрального апарата є вузькі функціональні можливості збирання сільськогосподарських культур, мала продуктивність, а наявність багатозахідного паза обмежує одночасний захват декількох стебел льону за шириною розміщення, створює несприятливі умови для витягування стебел з ґрунту.

Також одним з аналогів є вальцьовий льонобральний апарат, що містить бральні секції, виконані у вигляді розміщених попарно між подільниками стеблостою вальців з конусоподібними наконечниками з можливістю обертання назустріч один одному, а також встановлений за бральними секціями поперечний транспортер, напрямну доріжку і спрямовуючі прутки. Пари вальців бральної секції виконані без зазору, гладкий валець виконано прогумованим, а профіль гвинтового паза вальця виконано напівкруглим, крім цього, валець з гвинтовим пазом виконано довшим за гладкий валець і він виступає як з боку входження стебел у бральну секцію, так і з боку виходу стебел з робочої зони вальців [див. Пат. України № 106681, кл. A01D 45/00, A01D 45/06, A01F 11/00, 2013 р.].

Недоліком вальцьового льонобрального апарата є складність конструктивного виконання подільників, неможливість якісного брання стебел у різних стадіях стиглості через забивання і сплющення у зоні циліндричних поверхонь стебел.

Найбільш близький до запропонованої корисної моделі вальцьовий льонобральний апарат, який обладнаний парами вальців відповідно ширині захвату жатки, одні з яких ведучі і мають конічну форму, а інші є веденими і мають циліндричну форму, при цьому привід ведучих вальців забезпечений гідромотором і ланцюговою передачею, окрім того ведені вальці виконані з можливістю обертання за рахунок вінцевого зачеплення з ведучими вальцями. Вальці мають горизонтальні осі обертання, що спрямовані вздовж напрямку руху льонозбирального агрегата. Крім цього апарат обладнано подільниками стеблостою, спрямовувачими прутками на двох рівнях у вертикальній площині та поперечним транспортером з пальцями [див. Пат. України № 115374, кл. A01D 45/06, A01D 45/06, A01D 41/14, 2016 р.].

Недоліком вальцьового льонобрального апарата є складність конструктивного виконання подільників, неможливість якісного брання стебел у різних стадіях стиглості, через забивання і сплющення у зоні циліндричних поверхонь стебел.

Задачею, на вирішення якої заявлена корисна модель, є завдяки зміні конструкції вальцьового льонобрального апарата забезпечити можливість якісного брання стебел льону олійного у різних стадіях його стиглості та усунення забивання стеблами зони циліндричної поверхні вальців.

Поставлена задача вирішується наступним чином.

У бральному апараті для збирання льону олійного, що містить пари вальців з подільниками відповідно ширині захвату жатки, які забезпечені ланцюговою передачею з гідравлічним мотором, відповідно до запропонованої корисної моделі, робочі поверхні ведучих вальців обмежені кільцевими виступами, розташованими опозитно канавкам на ведених вальцях, окрім того подільники встановлені на конусній частині вальців.

На приведених кресленнях на фіг. 1 зображено вальцьовий льонобральний апарат, фіг. 2 - кільцевий виступ з канавкою, фіг. 3 - подільник потоку, фіг. 4 - підшипниковий вузол.

Бральний апарат для збирання льону олійного містить парну кількість ведучих вальців 1 і ведених вальців 2 з конусними наконечниками відповідно до ширини захвату жатки, причому ведучі вальці 1 виконано конічними і вони містять кільцеві виступи 3 відповідно канавок на ведених вальцях 2. Ведучі вальці 1 і ведені вальці 2 встановлені в опорах 4 і 5 з можливістю обертання назустріч один одному за рахунок вінцевого зачеплення, причому ведучі вальці 1 обертаються проти годинникової стрілки, а ведені вальці 2 обертаються за годинниковою стрілкою. Ведучі вальці 1 і ведені вальці 2 мають горизонтальні осі обертання, що спрямовані вздовж руху брального апарата. Між сусідніми парами ведучих вальців 1 і ведених вальців 2 розміщені міжсекційні подільники 6 та бокові подільники 7. Міжсекційні подільники складаються з лижі 8, опорних прутів 9 і спрямовувачів 10. Міжсекційні подільники кріпляться на конусній

UA 129695 U

частині ведучих вальців 1 і ведених вальців 2 за допомогою вальця 11, підшипника 12 і штопорного кільця 13, захисної кришки 14. Привід ведучих вальців 1 забезпечений ланцюговою передачею, яка містить привідні зірочки 15 ведучих вальців 1, ланцюг 16, опору приводу 17, гідромотор 18 та привідну зірочку 19, встановлену на гідромоторі 18. Опори 4 і 5 та опора приводу 17 розміщені на платформі 20.

Вальцьовий бральний апарат для збирання льону олійного працює наступним чином.

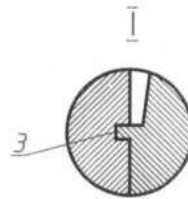
Під час руху брального апарата полем міжсекційні подільники 6 та бокові подільники 7 розділяють стеблостій льону олійного, відповідно до кількості секцій брального апарата. Конусні наконечники спрямовують стебла у простір між ведучими вальцями 1 і веденими вальцями 2 і внаслідок обертання ведучих вальців 1 і ведених вальців 2 назустріч один одному стебла витягуються з ґрунту та переміщуються вгору.

Наявність у бральному апараті для збирання льону олійного кільцевих виступів і канавок у робочій зоні вальців створює сприятливі умови для збирання льону олійного незалежно від стадії його стиглості та густоти розміщення на полі.

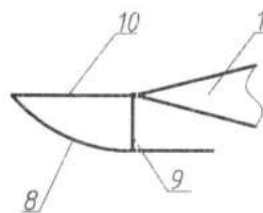
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Бральний апарат для збирання льону олійного, що містить пари вальців з міжсекційними подільниками відповідно ширині захвату жатки, які забезпечені ланцюговою передачею з гідравлічним мотором, який **відрізняється** тим, що робочі поверхні ведучих вальців обмежені кільцевими виступами, розташованими опозитно канавкам на ведених вальцях, окрім того подільники встановлені на конусній частині вальців.

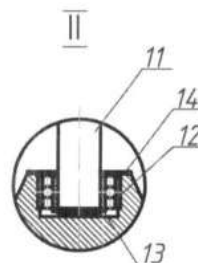
UA 129695 U



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Комп'ютерна верстка С. Чулій

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

Додаток Ж. 2





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **153643** (13) **U**
 (51) МПК
A01D 91/04 (2006.01)
A01D 45/06 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
 ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
 "УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
 ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2023 00411</p> <p>(22) Дата подання заявки: 06.02.2023</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 03.08.2023</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 02.08.2023, Бюл.№ 31</p>	<p>(72) Винахідник(и): Дідух Володимир Федорович (UA), Бодак Максим Володимирович (UA), Ягелюк Олександр Олександрович (UA), Ягелюк Світлана Володимирівна (UA)</p> <p>(73) Володілець (володільці): ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43018 (UA)</p>
---	--

(54) СПОСІБ ЗБИРАННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО**(57) Реферат:**

Спосіб збирання льону олійного, при якому зрізують стеблостій з настанням сприятливої фази стиглості, відділяють насіння і проводять механічну обробку стебел, вкладають зруйновані стебла у валки і, після вилежування, формують рулони для транспортування додатковими технічними засобами до місця отримання однотипного волокна або використання як паливних рулонів. Перед зрізанням стеблостою враховують якісні параметри насіння і волокна, зрізують стеблостій у стрічку для вилежування, у подальшому піднімають стрічку, відділяють насіння і декортикують стебла, формують паливні рулони або стебла повторно вкладають у стрічку чи зрізують і обмолочують стеблостій, а волокнисто-стеблову масу (ВСМ) вкладають у валки для формування паливних рулонів або залишають для вилежування.

1. Спосіб збирання льону олійного, при якому зрізують стеблостій з настанням сприятливої фази стиглості, відділяють насіння і проводять механічну обробку стебел, вкладають зруйновані стебла у валки і, після вилежування, формують рулони для транспортування додатковими технічними засобами до місця отримання однотипного волокна або використання як паливних рулонів, який **відрізняється** тим, що перед зрізанням стеблостою враховують якісні параметри насіння і волокна, зрізують стеблостій у стрічку для вилежування, у подальшому піднімають стрічку, відділяють насіння і декортикують стебла, формують паливні рулони або стебла повторно вкладають у стрічку чи зрізують і обмолочують стеблостій, а волокнисто-стеблову масу (ВСМ) вкладають у валки для формування паливних рулонів або залишають для вилежування.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що після повторного вкладання стебел у стрічку її обертають для прискорення утворення трести, підбирають стрічку і декортикують стебла, формують рулони для транспортування до місця отримання однотипного волокна.
3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що після вкладання волокнисто-стеблової маси (ВСМ) у валки до утворення трести, після вилежування, формують рулони для транспортування до місця отримання однотипного волокна.

U
UA 153643

Корисна модель належить до сільського господарства та може бути використана в рослинництві для збирання льону олійного з фази ранньої стиглості, а також для максимального використання стеблової частини врожаю.

Відомий спосіб збирання льону олійного, що включає обмолочування стеблостою льону олійного на корені, після чого його зрізують або беруть, після чого стебла льону олійного вкладають для вилежування на поле, в процесі якого стрічку піддаються ворущінню а, після вилежування, з трести формують рулони чи тюки, придатні для транспортування на льонопереробне підприємство. [Патент України № 112461, кл. A01D45, A01D91/04, 2016 р]. Недоліками даного способу є потреба у значній кількості технічних засобів для його виконання, складність отримання волокна високої якості.

Відомий спосіб збирання льону олійного, який передбачає використання зернозбирального комбайна, що зрізує льон та обмолочує хаотично подану рослинну масу молотильним апаратом, здійснює первинне очищення насіння, а також вкладає обмолочену масу у валок або подрібнює і розкидає її по поверхні поля. [див. Чехов А.В. Льон олійний: біологія, сорти технологія вирощування: Науково-методичне видання /А.В. Чехов, О.М. Лапа, Л.Ю. Міщенко, І.О. Полякова. - Київ: Видавництво "Універсал-Друк", 2007. - 56 с, стор. 36-37, 51-52].

Недоліком такого способу є те, що після обмолоту утворюється валок значної товщини, що ускладнює його перевертання для отримання трести та викликає втрату якості волокна у стеблах, а подрібнення засмічує ґрунт волоком.

Відомий спосіб збирання олійного льону, що передбачає зрізування і формування стрічки з паралельних необмолочених стебел для визрівання насіння та подальшим її підбиранням і обмолочуванням з плющенням льоносоломки та розстиланням на полі одним агрегатом для вилежування. Під час вилежування стрічки льоносоломки передбачено її обертання або ворущіння у різній послідовності, а після утворення трести формують рулони чи тюки, придатні для транспортування. [Патент України № 100762, кл. A01D45/06, A01D91/04, 2013 р.].

Недоліком такого способу є складність паралельного вкладання необмолочених стебел у стрічку через розгалуженість верхівкової частини та витримування паралельності після обертання або ворущіння.

Відомий спосіб отримання однотипного волокнистого матеріалу з льону олійного, що передбачає зрізання або брання стеблової частини льону залежно від фази стиглості стеблостою, відділення насіння та руйнування стебел шляхом механічної обробки для видалення костриці, вкладання стебел у валки для вилежування, після чого зрілий волокнистий матеріал формують у рулони і транспортують до місця отримання однотипного волокна. [Патент України № 123407А, кл. А01D45/06, D01C1/00, 2018 р.].

Недоліком даного способу є спрямування лише на отримання однотипного волокна, що вимагає значного часу на перетворення стебел у тресту та залежить від погодних умов.

Найбільш близьким аналогом до запропонованого способу є спосіб отримання однотипного волокнистого матеріалу з льону олійного, коли зрізують стеблості з настанням фази ранньо-жовтої стиглості або беруть стебла у фазі повної стиглості, з подальшою їх механічною обробкою з виділенням насіння та костриці, а зруйновані стебла вкладають у валки для вилежування, після вилежування та дозрівання їх волокнистого матеріалу з якісного матеріалу додатковими технічними засобами здійснюють формування рулонів з наступним транспортуванням їх до місця отримання однотипного волокна, а з неякісного волокнистого матеріалу формують паливні рулони або зруйновану стеблову частину льону зі зрілим якісним волоком формують у рулони з наступним транспортуванням їх до місця отримання однотипного волокна. [Патент України № 133888А, кл. А01D91/04, А01D45/06, D01C1/00, 2019 р.].

Даний спосіб спрямований на отримання однотипного волокна, ускладнює оцінку якості волокна на етапі перетворення у тресту, вимагає додаткових технічних засобів. Застосування даного способу неможливе у встановленні агротерміні збирання льону олійного відповідно до фази стиглості для повноцінного збереження всіх складових врожаю.

В основу корисної моделі поставлена задача у способі збирання льону олійного шляхом зміни виконання послідовності операцій з настанням сприятливої фази стиглості досягти зменшення кількості технічних засобів для повноцінного використання всього врожаю та отримання різного виду продукції.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі збирання льону олійного, який полягає у зрізанні стеблостою з настанням сприятливої фази стиглості, виділенні насіння і проведенні механічної обробки стебел, вкладанні зруйнованих стебел у валки і, після вилежування, формуванні рулонів для транспортування додатковими технічними засобами до місця отримання однотипного волокна або використання як паливних рулонів, згідно з корисною моделлю перед зрізанням стеблостою у стрічки для вилежування враховують якісні параметри насіння і волокна, у подальшому піднімають стрічку, відділяють насіння і декортикують стебла, формують паливні рулони або стебла повторно вкладають у стрічку чи зрізують і обмолочують стеблості, а волокнисто-стеблову масу (ВСМ) вкладають у валки для формування паливних рулонів або залишають для вилежування, або після повторного вкладання стебел у стрічку її обертають для прискорення утворення трести, підбирають стрічку і декортикують стебла, формують рулони для транспортування до місця отримання однотипного волокна, а після вкладання волокнисто-стеблової маси (ВСМ) у валки до утворення трести, після вилежування, формують рулони для транспортування до місця отримання однотипного волокна.

На запропонованій схемі зображено структурну схему послідовного виконання технологічних операцій способу збирання льону олійного.

Запропонований спосіб збирання льону олійного передбачає збирання стеблостою з настанням сприятливої фази стиглості.

У фазі ранньої стиглості стеблостою після оцінювання якісних параметрів насіння та волокна виконують наступні етапи проведення технологічних операцій: зрізання стеблостою з вкладанням стебел у стрічку для вилежування, подальше підбирання стрічки, відділення насіння, проведення декортикації стебел і формування паливних рулонів або після вилежування підбирання стрічки, відділення насіння, повторне вкладання стебел у

стрічку, обертають стрічку, підбирають стрічку з утвореної трести, проводять декортикацію стебел трести, формують рулони з волокнисто-стеблової маси (ВСМ) і транспортують їх до місця отримання однотипного волокна.

У фазі раньо-жовтої стиглості стеблостою після оцінювання якісних параметрів насіння та волокна виконують наступні етапи проведення технологічних операцій прямим комбайнуванням: стебла льону зрізують жатною частиною, обмолочують стеблову масу, волокнисто-стеблову масу (ВСМ) вкладають у валок з подальшим формуванням паливних рулонів додатковим технічним засобом або залишають валок для вилежування. Після утворення трести у валку формують волокнисто-стеблову масу (ВСМ) у рулони і транспортують їх до місця отримання однотипного волокна.

Реалізація запропонованого способу збирання льону олійного дозволить зменшити втрати волокна, знизити енерговитрати на процес, підвищити ефективність техніки, повноцінно використати всі складові врожаю та отримати різного виду продукцію.



Додаток Ж. 3





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **147778** (13) **U**
 (51) МПК (2021.01)
A01D 45/06 (2006.01)
A01D 82/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
 "УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ"

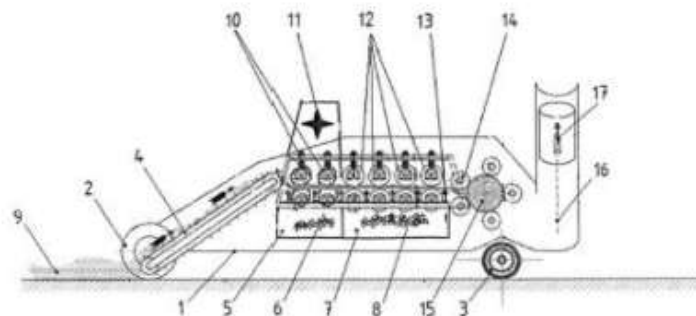
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2021 00637	(72) Винахідник(и): Дідух Володимир Федорович (UA), Ягелюк Світлана Володимирівна (UA), Альбота Дмитро Сергійович (UA), Бодак Максим Володимирович (UA)
(22) Дата подання заявки: 15.02.2021	(73) Володілець (володільці): ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43018 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 10.06.2021	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 09.06.2021, Бюл.№ 23	

(54) МАШИНА ДЛЯ ПІДБИРАННЯ ВАЛКІВ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО

(57) Реферат:

Машина для підбирання валків льону олійного містить раму з опорними колесами, підбирач, пресувальну камеру, транспортер для вивантаження готових рулонів і приводи. Причпна рама розміщена на ходових колесах, на яку додатково встановлені плющильні вальці насінневих коробочок, вентилятор очистки насіння, бункер насіння, декортикатор з м'яльними вальцями для зменшення пружних властивостей стеблової частини урожаю, бункер-вловлювач частинок обробки валка льону із зрізаного стеблостою. При цьому приводи механічні.



Фіг. 1

UA 147778 U

UA 147778 U

Корисна модель належить до галузі сільськогосподарського машинобудування та може бути використана для збирання льону олійного роздільним способом.

Відомий пристрій для подачі і плющення стебел льону в льонозбиральному комбайні, який містить механізм приводу, транспортер і розміщені один під одним плющильні вальці, один з яких підпружинений, обладнаний додатковим транспортером, виконаним у вигляді розміщених паралельно один одному декількох клиновидних пасів, до яких кріпляться пластини, при цьому як ведучий барабан, використано нижній плющильний валець, а ведений барабан виконано у вигляді співвісно розміщених роликів [Патент України № 47044, А01D45/06, 2002р.].

Недоліком пристрою для подачі і плющення стебел льону є вузькі функціональні можливості використання врожаю льону, складність конструкції та непристосованість для одночасної обробки стебел з насіннєвими коробочками.

Відомий льонопідбирач-молотарка, що містить підбиральний пристрій, затискний транспортер, плющильні вальці, обчисувальний апарат, обертальний пристрій, терковий апарат, грохот, вентилятор, елеватор, бункер. [Патент України № 18416, А01D45/06, 2006р.].

Недоліком пристрою є складність конструктивного виконання механізму відділення насіння від стебел і неможливість збирання всього врожаю льону за один прохід агрегату.

Найближчим аналогом до запропонованої машини є машина для формування паливних рулонів, що містить опорні колеса, на яких встановлена рама з розміщеними на ній підбирачем, механізмами приводів, а також пресувальною камерою змінного об'єму. До рами додатково прикріплені подрібнювач, формувач шару та транспортер для вивантаження готових рулонів. [Патент України № 135725, А01D45/06, А01D43/04, А01F15/07, 2019р.].

Недоліком такої машини для формування паливних рулонів є неможливість виділення насіння при підбиранні валків із зрізаного стеблостою, втрата волокна при подрібненні стебел, значне навантаження навіски енергетичного засобу, потреба у додатковому гідравлічному обладнанні для приводу робочих органів.

Задачею, на вирішення якої направлена корисна модель, є зміна конструкції, завдяки чому отримати машину, яка забезпечить можливість виділення насіння при підбиранні валків із зрізаного стеблостою, мінімізувати втрати волокна при руйнуванні стебел, зменшити навантаження навіски енергетичного засобу, спростити привід на робочі органи машини.

Поставлена задача вирішується тим, що у машині для підбирання валків льону олійного, що містить раму з опорними колесами, підбирач, пресувальну камеру, транспортер для вивантаження готових рулонів і приводи, згідно з корисною моделлю причіпна рама розміщена на ходових колесах, на якій додатково розміщені плющильні вальці насіннєвих коробочок, вентилятор очистки насіння, бункер насіння, декортикатор з м'яльними вальцями для зменшення пружних властивостей стеблової частини врожаю, бункер-вловлювач частинок обробки стеблостою, при цьому приводи механічні.

Пристрій пояснюється кресленнями, де на фіг. 1 зображена схема машини для підбирання валків льону олійного, вигляд збоку, фіг. 2 - машина для підбирання валків льону олійного з енергетичним засобом, вигляд зверху, фіг. 3 - вузол обробки валка, фіг. 4 - вивантажувальний ланцюговий транспортер циліндричних пакунків (поперечне січення).

Машина для підбирання валків льону олійного складається з причіпної рами 1 з опорними 2 і ходовими 3 колесами, шарнірно з'єднаного з рамою підбирача 4, бункера 5 насіння 6, бункера-вловлювача 7 частинок 8 обробки валка льону 9 із зрізаного стеблостою, плющильних вальців насіннєвих коробочок 10, вентилятора очистки насіння 11, декортикатора з м'яльними вальцями 12 для зменшення пружних властивостей стеблової частини врожаю, струшувачів 13, формувача 14 пакунків циліндричної форми 15, вивантажувального ланцюгового транспортера 16 з голками 17.

Запропонована машина для підбирання валків льону олійного працює наступним чином.

Після приєднання машини для підбирання валків льону олійного до енергетичного засобу перед валком 9 із зрізаного стеблостою встановлюють опорні колеса 2 у робоче положення. Під час руху агрегату валок 9 із зрізаного стеблостою розміщують між опорними колесами 2. Шарнірно з'єднаним підбирачем 4 з причіпною рамою 1 валок 9 із зрізаного стеблостою льону піднімають з поля і спрямовують у міжвальковий простір плющильних вальців насіннєвих коробочок 10. Після руйнування насіннєвих коробочок, насіння звільняють від стеблостою струшувачами 13, очищають повітряним потоком вентилятора очистки насіння 11 і подають у бункер 5 насіння 6. Стебла без насіння 6 направляють у міжвальцеві простори декортикатора з м'яльними вальцями 12, зменшують пружні властивості стебел та обробляють струшувачами 13. Виділені частинки обробки валка 9 льону із зрізаного стеблостою вентилятором очистки насіння 11 і струшувачами 13 спрямовують у бункер-вловлювач 7 частинок 8 обробки валка 9. Стебла із зменшеними пружними властивостями стеблової частини урожаю льону спрямовують

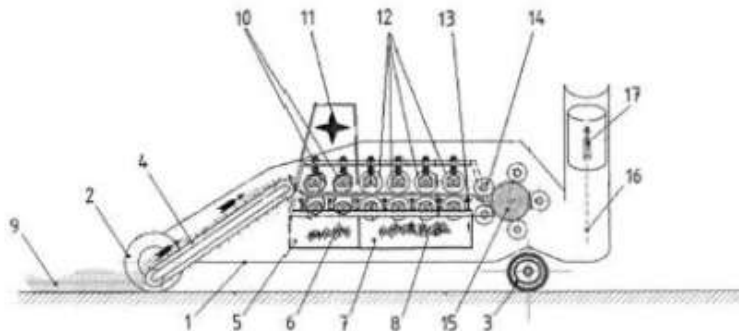
UA 147778 U

у формувач 14 пакунків циліндричної форми 15. Пакунки циліндричної форми 15 падають на голки 17 вивантажувального ланцюгового транспортера 16 і спрямовують у додатковий транспортний засіб. При розворотах машину для підбирання валків 9 льону олійного спирають на ходові колеса 3. Приводи на робочі органи механічні від енергетичного засобу.

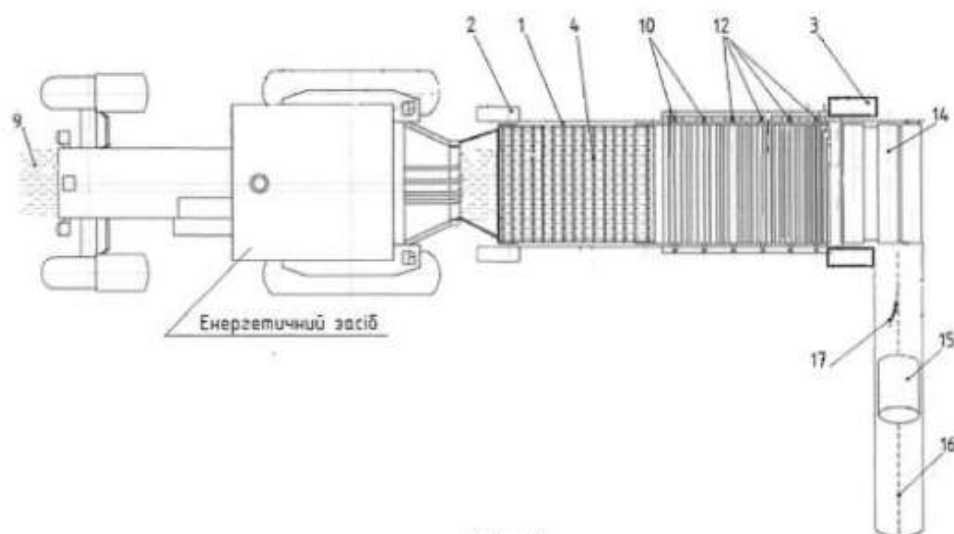
5 Використання рами з ходовими колесами зменшить навантаження на навіску і гідросистему енергетичного засобу та забезпечить роздільне збирання насінневої і стеблової частини врожаю льону олійного з валків із зрізаного стеблостою, мінімізує втрати волокна при руйнуванні стебел.

10 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

15 Машина для підбирання валків льону олійного, що містить раму з опорними колесами, підбирач, пресувальну камеру, транспортер для вивантаження готових рулонів і приводи, яка відрізняється тим, що причіпна рама розміщена на ходових колесах, на яку додатково встановлені плющильні вальці насінневих коробочок, вентилятор очистки насіння, бункер насіння, декортикатор з м'яльними вальцями для зменшення пружних властивостей стеблової частини урожаю, бункер-вловлювач частинок обробки валка льону із зрізаного стеблостою, при цьому приводи механічні.

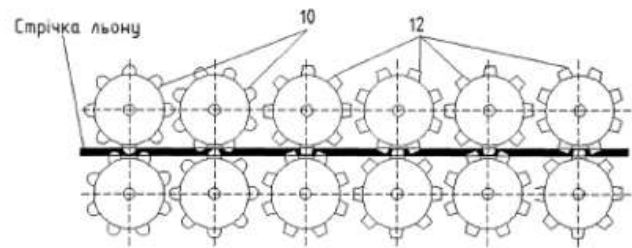


Фиг. 1

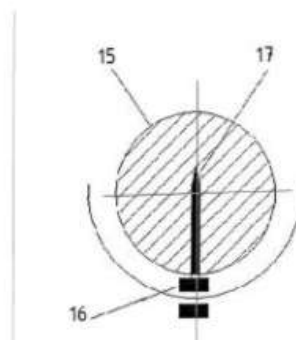


Фиг. 2

UA 147778 U



Фиг. 3



Фиг. 4

Комп'ютерна верстка М. Шамоніна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

Додаток Ж 4



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **155841** (13) **U**
 (51) МПК (2024.01)
A01D 45/06 (2006.01)
A01D 82/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
 ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
 "УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
 ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

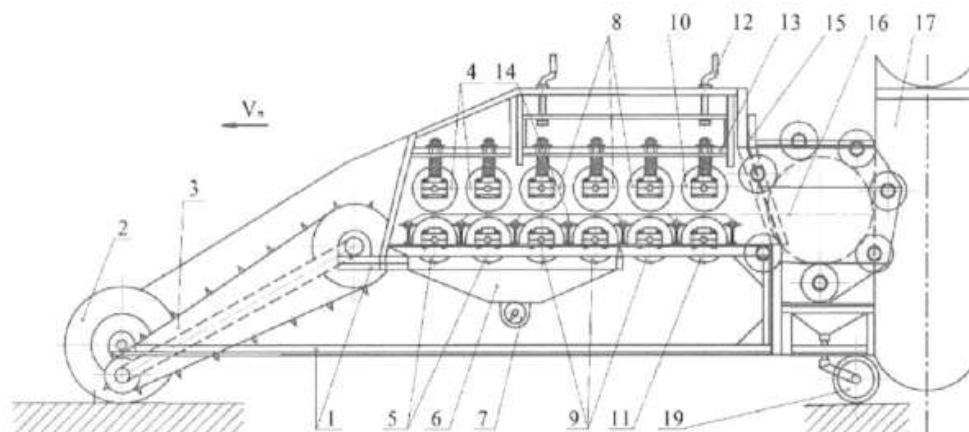
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2023 00516	(72) Винахідник(и): Дідух Володимир Федорович (UA), Бодак Максим Володимирович (UA), Ягелюк Олександр Олександрович (UA), Бодак Володимир Іванович (UA)
(22) Дата подання заявки: 13.02.2023	(73) Володільць (володільці): ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43018 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 18.04.2024	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 17.04.2024, Бюл.№ 16	

(54) МАШИНА ДЛЯ ПІДБИРАННЯ ВАЛКІВ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО

(57) Реферат:

Машина для підбирання валків льону олійного містить раму з опорними колесами, підбирач, пресувальну камеру, плющильні вальці насінневих коробочок, бункер насіння, декортикатор, транспортер для вивантаження готових рулонів і механічні приводи. До базової рами з опорними колесами з підбирачем, плющильними вальцями, бункером вороху насіння і декортикатором з гладкими вальцями і механічними приводами приєднано з можливістю від'єднання пресувальну камеру, ланцюговий з зубами транспортер з механічними приводами, які розміщено на рамі з самовстановлюючим колесом.



Фиг.1

UA 155841 U

UA 155841 U

Корисна модель належить до галузі сільськогосподарського машинобудування та може бути використана для збирання льону олійного роздільним способом.

Відомий пристрій для подачі і плющення стебел льону в льонозбиральному комбайні, що містить механізм приводу, транспортер і розміщені один під одним плющильні вальці, один з яких підпружинений, обладнаний додатковим транспортером, виконаним у вигляді розміщених паралельно один одному декількох клиновидних пасів, до яких кріпляться пластини, при цьому як ведучий барабан використано нижній плющильний валець, а ведений барабан виконано у вигляді співвісно розміщених роликів [патент України № 47044, МПК А01D 45/06, 2002 р.].

Недоліком пристрою для подачі і плющення стебел льону є вузькі функціональні можливості використання врожаю льону, складність конструкції та непристосованість для одночасної обробки стебел з насіннєвими коробочками.

Відома льонопідбирач-молотарка, що містить підбиральний пристрій, затискний транспортер, плющильні вальці, обчісувальний апарат, обертальний пристрій, терковий апарат, грохот, вентилятор, елеватор, бункер [патент України № 18416, МПК А01D 45/06, 2006 р.].

Недоліком пристрою є складність конструктивного виконання механізму відділення насіння від стебел і неможливість збирання всього врожаю льону за один прохід агрегату.

Відома машина для формування паливних рулонів, що містить опорні колеса, на яких встановлена рама з розміщеними на ній підбирачем, механізмами приводів, а також пресувальною камерою змінного об'єму. До рами додатково прикріплені подрібнювач, формувач шару та транспортер для вивантаження готових рулонів [патент України № 135725, МПК А01D 45/06, А01D 43/04, А01F 15/07, 2019 р.].

Недоліком такої машини для формування паливних рулонів є неможливість виділення насіння при підбиранні валків із зрізаного стеблостою, втрата волокна при подрібненні стебел, значне навантаження навіски енергетичного засобу, потреба у додатковому гідравлічному обладнанні для приводу робочих органів.

Найбільш близьким аналогом корисної моделі є машина для підбирання валків льону олійного, у котрій причіпна рама розміщена на ходових колесах, на яку додатково встановлені плющильні вальці насіннєвих коробочок, вентилятор очистки насіння, бункер насіння, декортикатор з м'яльними вальцями для зменшення пружних властивостей стеблової частини урожаю, бункер-влівлювач частинок обробки валка льону із зрізаного стеблостою. При цьому приводи механічні [патент України № 147778, МПК А01D 45/06 (2006.01), А01D 82/00, 2021 р.].

Недоліком такої машини є вузьке функціональне призначення при підбиранні валків із зрізаного стеблостою, складність комплектування з енергетичним засобом, значна металоємкість, втрата волокна при несвоєчасних механічних діях на стебла.

В основу корисної моделі поставлена задача, завдяки зміні конструкції, отримати машину, яка дозволить розширити її функціональні можливості, забезпечити виділення насіння при підбиранні валків із зрізаного стеблостою, мінімізувати втрати волокна при руйнуванні стебел, зменшити навантаження навіски енергетичного засобу, спростити привід на робочі органи машини.

Поставлена задача вирішується тим, що у машині для підбирання валків льону олійного, що містить раму з опорними колесами, підбирач, пресувальну камеру, плющильні вальці насіннєвих коробочок, бункер насіння, декортикатор, транспортер для вивантаження готових рулонів і механічні приводи, згідно з корисною моделлю, до базової рами з опорними колесами з підбирачем, плющильними вальцями, бункером вороху насіння і декортикатором з гладкими вальцями і механічними приводами приєднано з можливістю від'єднання пресувальну камеру, ланцюговий з зубами транспортер з механічними приводами, які розміщено на рамі з самовстановлюючим колесом, а на декортикаторі з м'яльними і гладкими вальцями встановлено механізм переведення верхніх вальців у неробочий стан.

Корисна модель пояснюється кресленнями, де на фіг. 1 зображена схема машини для підбирання валків льону олійного з одночасним формуванням рулонів, вигляд збоку, на фіг. 2 - машина для підбирання валків льону олійного з одночасним формуванням рулонів, вигляд зверху.

Машина для підбирання валків льону олійного складається з базової рами 1 з опорними колесами 2, шарнірно з'єднаної з підбирачем 3, плющильних верхніх 4 і нижніх 5 вальців насіннєвих коробочок, бункера 6 вороху насіння, вивантажувальних шнеків 7, верхніх 8 і нижніх 9 м'яльних вальців для зменшення пружних властивостей стеблової частини урожаю, верхнього 10 і нижнього 11 гладких вальців для вирівнювання обробленого валка, механізму 12 переведення у неробочий стан верхніх вальців декортикатора 13, струшувачів 14, рами 15 пресувальної камери 16 і ланцюгового транспортера 17 з зубами 18, самовстановлюючого колеса 19, механічних приводів 20 і 21, навіски 22.

UA 155841 U

Машина для підбирання валків льону олійного працює наступним чином.

Після з'єднання базової рами 1 з рамою 15 пресувальної камери 16 і ланцюгового транспортера 17 з зубами 18, самовстановлюючого колеса 19 і приєднання машини для підбирання валків льону олійного через навіску 22 до енергетичного засобу, встановлюють опорні колеса 2 і самовстановлююче колесо 19 у робоче положення. Під час руху агрегату валок льону олійного розміщують між опорними колесами 2. Шарнірно з'єднаним підбирачем 3 валок льону олійного піднімають з поверхні поля і спрямовують у простір плющильних верхніх 4 і нижніх 5 вальців насінневих коробочок. Після руйнування насінневих коробочок, насіння звільняють від стебел струшувачами 14 і подають у бункер вороху насіння 6. Ворох насіння з бункера 6 вивантажується шнеками 7. Стебла без насіння направляють у простір з верхніх 8 і нижніх 9 м'яльних вальців декортикатора 13, зменшують пружні властивості стебел та обробляють струшувачами 14. Стебла із зменшеними пружними властивостями стеблової частини урожаю льону спрямовують у міжвальцевий простір верхнього 10 і нижнього 11 гладких вальців для вирівнювання обробленого валка і подачі у пресувальну камеру 16. Сформовані пакунки скидають на зуби 18 ланцюгового транспортера 17 і направляють у додатковий транспортний засіб. Механічні приводи 20 і 21 робочих органів працюють від енергетичного засобу.

Для вкладання стеблової маси на поверхню поля при заготівлі трести, після відділення насіння, машина для підбирання валків льону олійного працює наступним чином.

Після від'єднання від базової рами 1 рами 15 пресувальної камери 16 і ланцюгового транспортера 17 з зубами 18, самовстановлюючого колеса 19 і приєднання машини для підбирання валків льону олійного через навіску 22 до енергетичного засобу, встановлюють опорні колеса 2 у робоче положення, а верхні м'яльні вальці 8 і верхній гладкий валець 10 декортикатора 13 механізмом 12 переводять у неробоче положення. Під час руху агрегату валок льону олійного розміщують між опорними колесами 2. Шарнірно з'єднаним підбирачем 3 валок льону олійного піднімають з поверхні поля і спрямовують у простір плющильних верхніх 4 і нижніх 5 вальців насінневих коробочок. Після руйнування насінневих коробочок, насіння звільняють від стебел струшувачами 14 і подають у бункер вороху насіння 6. Ворох насіння з бункера 6 вивантажується шнеками 7. Стебла без насіння нижніми м'яльними вальцями 9 і нижнім гладким вальцем 11 декортикатора 13 направляють на поверхню поля. Після визрівання трести і з'єднання рами 15 пресувальної камери 16 і ланцюгового транспортера 17 з зубами 18, самовстановлюючого колеса 19 з базовою рамою 1 машини для підбирання валків льону олійного виконують всі дії формування пакунків.

Використання рамного з'єднання дозволить розширити функціональні можливості машини для підбирання валків льону олійного, забезпечити виділення насіння при підбиранні валків льону олійного, вкладати незруйновані стебла льону олійного після відділення насіння на поле для отримання трести, мінімізувати втрати волокна при обробці стебел, зменшити навантаження навіски енергетичного засобу, спростити привід на робочі органи машини.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Машина для підбирання валків льону олійного, що містить раму з опорними колесами, підбирач, пресувальну камеру, плющильні вальці насінневих коробочок, бункер насіння, декортикатор, транспортер для вивантаження готових рулонів і механічні приводи, яка **відрізняється** тим, що до базової рами з опорними колесами з підбирачем, плющильними вальцями, бункером вороху насіння і декортикатором з гладкими вальцями і механічними приводами приєднано з можливістю від'єднання пресувальну камеру, ланцюговий з зубами транспортер з механічними приводами, які розміщено на рамі з самовстановлюючим колесом.
2. Машина за п. 1, яка **відрізняється** тим, що на декортикаторі з м'яльними і гладкими вальцями встановлено механізм переведення верхніх вальців у неробочий стан.

UA 155841 U

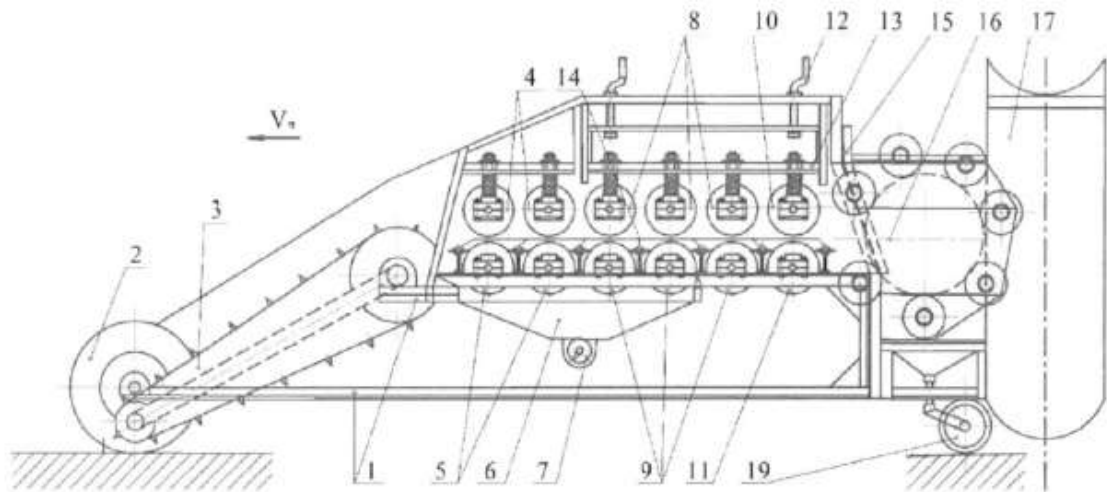


Fig. 1

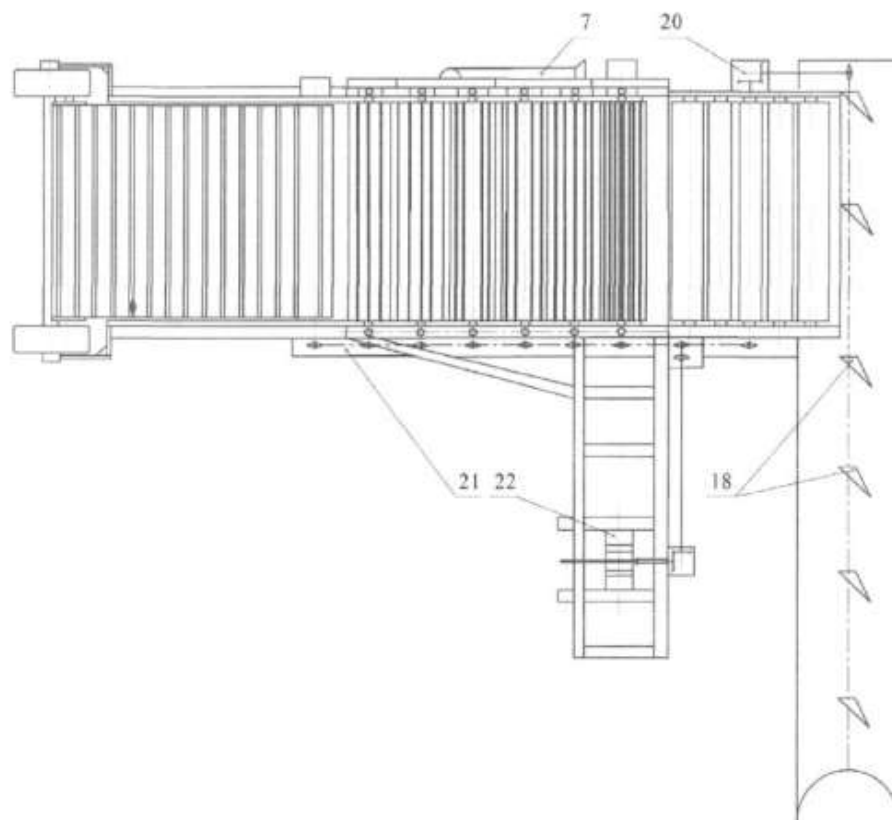


Fig. 2

Комп'ютерна верстка М. Шамоніна

ДО "Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій", вул. Дмитра Годзенка, 1, м. Київ – 42, 01601

Додаток 3

ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
„КОМПАНІЯ АЛТЕКС”

45007, Україна, Волинська обл.,
м. Ковель, вул. Варшавська, 1;
телефакс (03352) 6-10-22
тел. для довідок: 6-10-02
e-mail: altex.zbut@gmail.com

р/р UA563282090000026005000035095
в Акціонерний Банк "Південний"
код ЄДРПОУ 35823953
e-mail: altexcompany.main@gmail.com
e-mail: 3582alt@gmail.com

Від 84.12.24 № 82

ДОВІДКА

Видана кафедрі аграрної інженерії імені професора Г.А. Хайліса Луцького національного технічного університету про те, що передані матеріали теоретичних і експериментальних досліджень аспіранта Болака Максима Володимировича, щодо обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів підбирача валків льону олійного для збирання за роздільною технологією з низьким зрізанням до 50 мм стеблостою отримані ТОВ «КОМПАНІЯ АЛТЕКС», при вивченні схвалені і можуть бути використанні для проектування підбирача валків льону.

Технічний директор  Михайло Заїкін



УКРАЇНА
Товариство з обмеженою
відповідальністю
«КОМПАНІЯ АЛТЕКС»
35823953
Волинська область
місто Ковель

3. 2

**ТОВ "Старий Порицьк"**Волинська обл, Володимирський р-н, с. Старий Порицьк
e-mail: porutsk@ukr.netЄДРПОУ 37040033 Р/р UA32300614000002600200306750
АТ "Креді Агріколь Банк" МФО 300614

Вих №115

від 10.12.2024

ТОВ «Старий Порицьк» щорічно вирощує льон олійний на площах до 50 га.
На даний час відсутні технології для отримання якісної сировини зі
стеблової частини льону олійного.

Тому наукові дослідження за темою «Обґрунтування параметрів підбирача
для роздільної технології збирання льону олійного» є необхідними для галузі
льопарства та будуть використані підприємством у своїй діяльності.

ТОВ «Старий Порицьк» планує подальшу співпрацю з Луцьким
національним технічним університетом та підтверджує правильність вибраного
напряму досліджень.

Директор



Юсковець М.І.

3.3



УКРАЇНА

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43018, тел.: +38(0332)74-61-03

e-mail: rector@lntu.edu.ua, web: www.lntu.edu.ua

код ЄДРПОУ 05477296

27.03.2025 р. № 574/01-14

на № _____ від _____

ДОВІДКА

дана здобувачу кафедри аграрної інженерії ім. проф. Г.А. Хайліса Луцького національного технічного університету Бодаку Максиму Володимировичу про те, що результати його досліджень з вдосконалення роздільної технології збирання льону з низьким зрізанням стеблостою, розробки та використання підбирача валків з стебел льону, розміщених у поздовжній площині, використовуються у навчальному процесі для викладання освітньої компоненти «Проектування інноваційних технологій та обладнання для АПВ» при підготовці фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня магістр за спеціальністю 208 «Агроінженерія» і освітньої компоненти «Сучасні напрямки розвитку техніки та технологій АПК» при підготовці фахівців освітньо - наукового рівня доктор філософії за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування».

Ректор



Ірина ВАХОВИЧ

Завідувач кафедри

аграрної інженерії ім. проф. Г.А. Хайліса

Сергій ХОМИЧ

Додатки К

Додаток К. 1

Технологічна карта виробництва насіння (розрахунок собівартості насіння)

Назва робіт	Од. виміру	Об'єм робіт	Склад агрегату			Норма виробітку	Кількість нормозмін	Затрати праці (люд-год)		Заробітна плата по тарифу на весь об'єм, грн.		За класність, грн	Всього заробітна плата з нарахуваннями, грн.		Кількість		Пальне		Всього, грн	
			Назва трактору та с/г машини	Обслуг. персонал				механізатори	Ін.працівники	механізатори	Ін.працівники		механізатори	Ін.працівники	Тонно-кілометрів	кВт-год	Кількість, кг			Вартість, грн
				Механіза-	Ін.праців-												На од.робіт	На весь об'єм роботи		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
I. Основний обробіток ґрунту																				
Дискування	га	100	Т-150 К БДЛП-8	1	-	33,8	2,96	21	-	261,66	-	52,33	319,99	-	-	-	4,52	452	22595,5	22915,47
Внесення гербіцидів суцільної дії	га	100	МТЗ-82 ОПШ-2000-21,6	1	-	96,0	1,04	6,3	-	95,60	-	19,12	114,72	-	-	-	0,66	66	3299,34	3414,06
Транспортування води до 5 км	т/км	125	МТЗ-82 ЗЖВ-3,2	1	-	224,8	0,56	-	4,45	-	49,24	-	-	49,24	125	-	0,2	25	1298,75	1298,99
Оранка	га	100	ХТЗ-181 ППО-6-40	1	-	10,4	9,64	8,1	-	850,00	-	170,0	1020,00	-	-	-	15,1	1510	75484,9	76504,9
Всього по I періоду													1454,71	49,24					102629,47	104133,42
II. Підготовка ґрунту та посів																				
Навантаження міндобрив	т	38,6	МТЗ-82 ПКУ-08А	1	-	294,4	0,13	1,1	-	11,59	-	2,32	13,91	-	-	-	0,1	3,86	192,96	206,87
Транспортування і внесення міндобрив	га	100	МТЗ-82 МВУ-5А	1	-	52,0	1,92	15,4	-	169,73	-	33,95	203,68	-	-	-	1,0	100	4999,00	5202,68

Продовження додатка К. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Закриття вологи	га	100	ХТЗ-181 СГ-21-01 БЗТС-1,0	1	-	99,2	1,01	8,1	-	89,28	-	17,86	107,14	-	-	-	1,2	120	5998,80	6105,94
Передпосівна культивування з боронуванням	га	100	Т-150К «АгроКог»	1	-	30,48	3,28	26,2	-	290,03	-	58,01	348,04	-	-	-	11,6	1160	57988,40	58336,44
Струювання насіння	т	6	АИР-2001Д ПК-20 Супер.	-	1	107,2	0,06	-	0,45	-	4,56	-	-	4,56	-	2,5	5,5	2,5	124,96	129,54
Навантаження насіння	т	6	ЗПС-30	-	1	45,6	0,13	-	1,05	-	9,65	-	-	9,65	-	5,8	5,5	5,8	298,94	299,59
Транспортування насіння	т/км	30	МТЗ-82 ПТС-4	1	-	455,2	0,07	0,53	-	4,96	-	0,99	5,95	-	30	-	0,2	6,0	299,94	305,89
Посів	га	100	МТЗ-82 СА-1.01 СПУ-6Л	1	-	43,2	2,31	18,52	18,52	208,45	169,46	41,69	250,14	419,60	-	-	1,9	190	9498,1	10167,84
Всього II періоду													928,86	433,81					79401,1	80763,77
III. Догляд за посівами																				
Обприскування посівів проти бур'янів	га	100	МТЗ-82 ОП-2000	1	-	45	2,22	15,4	-	204,06	-	40,81	244,87	-	-	-	0,66	66	3299,34	3544,21
Транспортування води	т/м	125	МТЗ-82 ЗЖВ-3,2	1	-	224,8	0,56	-	4,45	-	49,24	-	-	49,24	125	-	0,20	25	1249,45	1298,99
Десикація	га	100	МТЗ-82 ОП-2000	1	-	45	2,22	15,4	-	204,06	-	40,81	244,87	-	-	-	0,66	66	3299,34	3544,21
Всього по III періоду													489,74	49,24					7848,13	8387,11
IV. Збирання урожаю																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Брання льону комбайнами	га	100	КЗС-1218 «Палесье» GS12	1	-	17,6	5,68	45,45	-	522,11	-	104,42	626,53	-	-	-	21,7	2170	108478,3	109133,83
Транспортування насіння	т/м	1500	DAYUN CGC1120	1	-	1368	1,10	8,77	-	96,71	-	-	96,71	-	1500	-	0,2	300	14997,00	15093,71
Сушіння насіння	т	150	АИР-180М4 ОСВ-60	-	1	35,2	4,26	-	34,09	-	306,38	-	-	306,38	-	525	3,5	525	26244,75	26551,13
Всього по IV періоду													723,24	306,38					149720,05	150758,67
Всього за усіма періодами													3596,55	838,67					339598,75	334033,97

Додаток К. 2
Технологічна карта виробництва лубоволокнистої сировини

Назва робіт	Од. виміру	Об'єм робіт	Склад агрегату			Норма виробітку	Кількість нормозмін	Затрати праці (люд-год)		Заробітна плата по тарифу на весь об'єм, грн.		За класність, грн	Всього заробітна плата з нарахуваннями, грн.		Кількість	Пальне			Всього, грн	
			Назва трактору та с/г машини	Обслуг. персонал				механізатори	Ін.працівники	механізатори	Ін.працівники		Тонно-кілометрів	кВт-год		Кількість, кг		Вартість, грн		
				механізатори	Ін.працівники											На од.робіт	На весь об'єм роботи			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Перетворення соломи у тресту	т	200	ХТЗ – 2511 Підбирач - розпушувач	1	-	17,8	33	4,44	-	491,5	-	98,30	589,80	-	-	-	2,08	416	20795,8	21393,8
Збирання льонотрести в рулони	т	200	МТЗ-82 ПРП-1,6М	1	-	36	5,56	4,44	-	491,5	-	98,30	589,80	-	-	-	1,79	358	17896,4	18495,2
Навантаження рулонів	т	200	МТЗ-82 ПФ-0,5 ППЛ-0,5	1	-	101,6	1,57	15,75	-	138,79	-	71,43	428,57	-	-	-	0,1	20	999,8	1428,37
Транспортування рулонів на льонозавод	т/км	4000	DAYUN CGC1120	-	1	1369	2,52	-	23,39	-	221,56	-	221,56	-	400	-	0,1	400	19996,0	20217,56
Всього													1829,73						41691	43520,73

Додаток L

СЕРТИФІКАТИ ПРО УЧАСТЬ У ВИСТУПАХ НА КОНФЕРЕНЦІЯХ

L. 1



CERTIFICATE
is awarded to
Bodak Maksim

for being an active participant in
IV International Scientific and Practical Conference
“EURASIAN SCIENTIFIC DISCUSSIONS”
24 Hours of Participation
(0,8 ECTS credits)

BARCELONA
8-10 May 2022

sci-conf.com.ua



L.2



L.3

