



ЛУЦЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ISSN 2307-1699 (Print)
ISSN 2708-9754 (Online)

AGRICULTURAL MACHINES

А
С М М

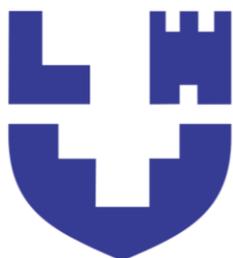
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ
МАШИНИ

AGRICULTURAL MACHINES

2022' 48





**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ**
**ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ISSN 2307-1699 (Print)
ISSN 2708-9754 (Online)



СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

Науково-практичне видання

**Журнал заснований
у 1995 році**

*У журналі відображені науково-
практичні проблеми
сільськогосподарського
виробництва.*

*Журнал призначений для наукових і
науково-педагогічних працівників,
докторантів, аспірантів, а також
усіх зацікавлених у розвитку
сільськогосподарського
виробництва.*

Засновник і видавець:
*Луцький національний технічний
університет*

Випуск 48

ТЕХНОЛОГІЯ

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС

ТЕХНІКА

Луцьк 2022

*Рекомендовано до друку вченою радою
Луцького національного технічного університету
(протокол № 3 від 27.10.2022 р.)*

*Журнал включений до категорії «Б» Переліку наукових фахових видань України,
технічні науки за спеціальностями
133 Галузеве машинобудування та 208 Агроінженерія
(наказ Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 року)*

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
КВ № 24919-14859 ПР від 30.06.2021 р.*

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор:

Ігор ДУДАРЄВ *д.т.н., професор, Луцький національний технічний університет, Україна*

Заступник головного редактора:

Володимир ДІДУХ *д.т.н., професор, Луцький національний технічний університет, Україна*

Відповідальний секретар:

Руслан КІРЧУК *к.т.н., професор, Луцький національний технічний університет, Україна*

Члени редакційної колегії:

Валентин ВЛАДУТ *Ph.D., Національний інститут науково-дослідних розробок машин і установок для сільського господарства та харчової промисловості – INMA, Румунія*

Юрій ГАЙДА *д.с.-г.н., професор, НУ «Чернігівська політехніка», Україна*

Олександр ГЕРАСИМЧУК *к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет, Україна*

Тетяна ГОЛОВЕНКО *д.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет, Україна*

Віктор ЗАХАРЧУК *д.т.н., професор, Луцький національний технічний університет, Україна*

Василь ЗАЯЧУК *к.с.-г.н., доцент, Національний лісотехнічний університет України, Україна*

Олена НАЛОБІНА *д.т.н., професор, Національний університет водного господарства та природокористування, Україна*

Світлана ПАНАСЮК *к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет, Україна*

Лукреція ПОПА *Ph.D., Національний інститут науково-дослідних розробок машин і установок для сільського господарства та харчової промисловості – INMA, Румунія*

Віталій ПУЦЬ *к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет, Україна*

Луїс РІБЕЙРО *Ph.D., професор, Політехнічний інститут Браганса – IPB, Португалія*

Роман РОГАТИНСЬКИЙ *д.т.н., професор, Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя, Україна*

Микола СВІРЕНЬ *д.т.н., професор, Центральноукраїнський національний технічний університет, Україна*

Ірина ТАРАЙМОВИЧ *к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет, Україна*

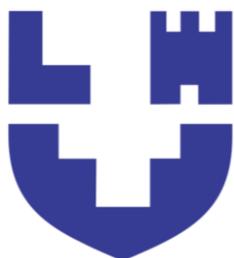
Микола ТОЛСТУШКО *к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет, Україна*

Наталія ТОЛСТУШКО *к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет, Україна*

Павло ХОЄЦЬКИЙ *д.с.-г.н., професор, Національний лісотехнічний університет України, Україна*

Віктор ШЕЙЧЕНКО *д.т.н., професор, Полтавський державний аграрний університет, Україна*

Світлана ЯГЕЛЮК *д.т.н., професор, Луцький національний технічний університет, Україна*



**MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE**

**LUTSK NATIONAL
TECHNICAL UNIVERSITY**

**ISSN 2307-1699 (Print)
ISSN 2708-9754 (Online)**



AGRICULTURAL MACHINES

Scientific and Practical Journal

Founded in 1995

*The scientific and practical problems
of agricultural production are
presented.*

*The Journal is intended for science
officers, lectures, PhD students and
advanced students and for all those
interested in the development of
agricultural production.*

Founder and publisher:
Lutsk National Technical University

Volume 48

TECHNOLOGY

TECHNOLOGICAL PROCESS

MACHINERY

Lutsk 2022

UDC 631.3

Agricultural Machines. Vol. 48. LNTU, Lutsk, 2022. 126 p.

*Academic Council of Lutsk National Technical University
confirmed for printing
(record № 3 dated October, 27, 2022)*

*The Journal is inscribed to the category «Б» of the List of Scientific Professional Publications of Ukraine
(Technical Sciences by Specialties 133 Industrial Mechanical Engineering, 208 Agricultural Engineering)
maintained by order of Ministry of Education and Science of Ukraine № 409 dated March, 17, 2020*

*The State Registration Certificate of Printed Mass Media
KB № 24919-14859 ПП dated June, 30, 2021*

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief:

Igor DUDAREV *D.Sc., Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*

Deputy Editor-in-Chief:

Volodymyr DIDUKH *D.Sc., Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*

Executive Editor:

Ruslan KIRCHUK *Ph.D., Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*

Members of Editorial Board:

Valentin VLADUT *Ph.D., The National Institute of Research-Development for Machines and Installations Designed for Agriculture and Food Industry – INMA, Romania*
Yuriy HAYDA *D.Sc., Professor, Chernihiv Polytechnic National University, Ukraine*
Oleksandr GERASYMCHUK *Ph.D., Assoc. Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*
Tetiana HOLOVENKO *D.Sc., Assoc. Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*
Viktor ZAHARCHUK *D.Sc., Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*
Vasyl ZAYACHUK *Ph.D. Assoc. Professor, Ukrainian National Forestry University, Ukraine*
Olena NALOBINA *D.Sc., Professor, National University of Water and Environmental Engineering, Ukraine*
Svitlana PANASYUK *Ph.D., Assoc. Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*
Lucretia POPA *Ph.D., The National Institute of Research-Development for Machines and Installations Designed for Agriculture and Food Industry – INMA, Romania*
Vitalii PUTS *Ph.D., Assoc. Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*
Luis RIBEIRO *Ph.D., Professor, Polytechnic Institute of Bragança – IPB, Portugal*
Roman ROHATYNSKYI *D.Sc., Professor, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine*
Mykola SVIREN *D.Sc., Professor, Central Ukrainian National Technical University, Ukraine*
Iryna TARAYMOVICH *Ph.D., Assoc. Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*
Mykola TOLSTUSHKO *Ph.D., Assoc. Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*
Nataliya TOLSTUSHKO *Ph.D., Assoc. Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*
Pavlo KHOYETSKYY *D.Sc., Professor, Ukrainian National Forestry University, Ukraine*
Viktor SHEICHENKO *D.Sc., Professor, Poltava State Agrarian University, Ukraine*
Svitlana YAHELIUK *D.Sc., Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*

ЗМІСТ

Т.О. Гапонюк, Р.В. Кірчук, Л.Ю. Забродоцька ВИКОРИСТАННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ПАРАМЕТРИЧНОГО ВІБРОЗБУДЖУВАЧА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ.....	7
І.М. Дударєв, А.В. Хомич ТЕХНОЛОГІЯ ЗБИРАННЯ НИЗЬКОЯКІСНОЇ ЛЯНОЇ БІОМАСИ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ ЯК ПАЛИВА: ОГЛЯД.....	15
Д.С. Альбота, М.В. Бодак, В.Ф. Дідух ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПІДБИРАЧА ВАЛКІВ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ДЛЯ РОЗДІЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ.....	30
М.В. Вржєщ, О.П. Герасимчук, Л.М. Дацюк ПОРІВНЯЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ТРАКТОРІЙ РОЗПИЛЮВАННЯ ДЕРЕВИНИ КРУГЛИМИ ПИЛКАМИ.....	38
М.В. Голотюк, А.В. Шимко АНАЛІЗ ДЕФОРМАЦІЙ ГУМОВОЇ ГУСЕНИЦІ З РІЗНИМ МАТЕРІАЛОМ КОРДУ.....	46
О.О. Налобіна, О.З. Бундза ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАВАНТАЖУВАЛЬНО-РОЗПОДІЛЬЧОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОМБІКОРМУ.....	53
С.В. Ягелюк, М.І. Фомич, О.О. Ягелюк СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ БІОМАСИ ЛУБ'ЯНИХ КУЛЬТУР.....	59
О.Л. Ткачук, О.П. Герасимчук, В.В. Резнікова ПНЕВМОТЕРМІЧНИЙ СПОСІБ ОТРИМАННЯ ХВОЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕКСТИЛЬНИХ ВОЛОКОН.....	67
В.С. Пуць, П.П. Мелєсь, В.Л. Мартинюк, А.В. Шимко РОБОЧИЙ ОРГАН НАВАНТАЖУВАЧА ДЛЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ М'ЯКИХ КОНТЕЙНЕРІВ.....	74
С.М. Юхимчук, М.М. Толстушко, С.Ф. Юхимчук КІНЕМАТИКА ДИСКОВО-ПАСОВОГО ЛЬОНОБРАЛЬНОГО АПАРАТА.....	81
Н.П. Ковальчук, Н.О. Толстушко ЛІСОВІ ФІТОЦЕНОЗИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ.....	88
В.В. Сацюк, В.Ф. Дідух, М.А. Федонюк ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРИЙОМУ СИГНАЛІВ GNSS НАВІГАЦІЙНИМ ОБЛАДНАННЯМ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ.....	93
І.М. Дударєв АЛГОРИТМ ОЦІНЮВАННЯ ПРИДАТНОСТІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ЗА ПЕВНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ.....	100
О.А. Мікуліч, В.О. Хвесик МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЗМІНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПІНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ.....	110
С.В. Ягелюк ЕКСПЕРТИЗА ЯКОСТІ ПЛОДОООВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ.....	118

CONTENT

T. Gaponyuk, R. Kirchuk, L. Zabrodotska USING HYDRAULIC PARAMETRIC VIBRATION EXCITER IN AGRICULTURAL ENGINEERING.....	7
I. Dudarev, A. Khomych LOW-QUALITY FLAX STRAW BIOMASS HARVESTING FOR SUBSEQUENT USE AS FUEL: A REVIEW.....	15
D. Albota, M. Bodak, V. Didukh DESIGN REASONING OF OILSEED FLAX WINDROW PICKER FOR TWO-PHASE HARVESTING.....	30
M. Vrzheshch, A. Herasymchuk, L. Datsiuk COMPARATIVE ASSESSMENT OF WOOD SAWING TRAJECTORIES WITH CIRCULAR SAWS.....	38
M. Holotiuk, A. Shymko ANALYSIS OF DEFORMATIONS OF RUBBER TRACKS WITH DIFFERENT CORD MATERIALS.....	46
O. Nalobina, O. Bundza REASONING OF PARAMETERS OF LOADING AND DISTRIBUTION EQUIPMENT FOR COMBINED FEED.....	53
S. Yaheliuk, M. Fomych, O. Yaheliuk THE MODERN TECHNOLOGIES OF BAST CROPS BIOMASS PROCESSING.....	59
O. Tkachuk, A. Herasymchuk, V. Reznikova PNEUMOTHERMAL METHOD OF OBTAINING CONIFEROUS NEEDLES FOR PRODUCTION OF TEXTILE FIBERS.....	67
V. Putz, P. Meles, V. Martyniuk, A. Shymko LOADER WORKING BODY FOR THE SOFT-SIDED STORAGE CONTAINERS LOADING.....	74
S.M. Yukhymchuk, M.M. Tolstushko, S.F. Yukhymchuk KINEMATICS OF THE DISC-BELT FLAX PULLING DEVICE.....	81
N. Kovalchuk, N. Tolstushko FOREST PHYTOCOENOSES OF UKRAINE UNDER CONDITIONS OF MARITAL STATE.....	88
V. Satsiuk, V. Didukh, M. Fedoniuk RESEARCH OF QUALITY INDICATORS OF GNSS SIGNAL RECEIPT BY NAVIGATION EQUIPMENT OF MACHINE-TRACTOR UNITS.....	93
I. Dudarev ALGORITHM FOR ASSESSING THE SUITABILITY OF PLANT RAW MATERIALS FOR PROCESSING ACCORDING TO A CERTAIN TECHNOLOGY.....	100
O. Mikulich, V. Khvesyk METHODOLOGY FOR EVALUATING CHANGES IN PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF FOAM MATERIALS.....	110
S. Yaheliuk THE EXPERTISE OF FRUIT AND VEGETABLE PRODUCTS QUALITY.....	118

USING HYDRAULIC PARAMETRIC VIBRATION EXCITER IN AGRICULTURAL ENGINEERING

T. Gaponyuk, R. Kirchuk*, L. Zabrodotska

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES



ABSTRACT

Vibration technology is widely used in mechanical engineering, construction, road building and different sectors of the manufacturing. In agriculture, it is used for dosing feed, cleaning and sorting seeds, digging up root crops, planting potatoes, and transporting bulk materials. Vibrations make the mechanical system more stable in relation to external force disturbances and do not change the technological properties of materials during its movement along the working surfaces. Also, the material passing through the vibration zone is not damaged. A wide range of frequency and amplitude of vibrations provides the possibility of vibration regime varying, and the characteristics of the movement of agricultural plant material on the vibrating working bodies. The analysis of possibility of application of vibrating hydraulic drives as elements of transmission of movement to working bodies of agricultural machines is executed. A historical excursion was conducted and the first mentions of the use of hydraulic drives were pointed out. The estimation of technological processes in agricultural production where it is expedient and possible to use vibration and vibrating drives is made. At the present stage of development of agricultural engineering, using vibrating hydraulic drive is accorded to the basic trends of agriculture machinery development. The stand for conduction of studies of amplitude-frequency characteristics of the vibrating drive with regulated perturbations is offered. A mathematical model is presented, which generally describes the course of the vibration process and estimates the stiffness of the mechanical system. The hydraulic parametric vibration exciter is recommended to use for studying and determination the conditions for the occurrence of parametric vibrations in working body of agricultural machines. Also, using a hydraulic drive makes it possible to simplify the kinematics, reduce metal consumption, increase accuracy, reliability and level of automation of working bodies of agricultural machines.

Key words:

vibration in agricultural engineering,
vibration exciter,
hydraulic drive,
parametric oscillations,
stiffness

Article history:

Received 10.07.2022

Accepted 25.08.2022

***Corresponding author:**

ruslan-mail@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi48.778

To cite this article:

Gaponyuk, T., Kirchuk, R., & Zabrodotska, L. (2022). Using hydraulic parametric vibration exciter in agricultural engineering. *Agricultural Machines*, 48, 7-14. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.778>

УДК 631.3:62-82

ВИКОРИСТАННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ПАРАМЕТРИЧНОГО ВІБРОЗБУДЖУВАЧА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

Т.О. Гапонюк, Р.В. Кірчук*, Л.Ю. Забродоцька

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

AGRICULTURAL MACHINES



СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Вібрація широко використовується в машинобудуванні, будівництві та різних галузях виробництва. У сільському господарстві вібрація використовується для дозування кормів, очищення та сортування насіння, збирання коренеплодів, садіння картоплі, транспортування сипких рослинних матеріалів. Вібрація робить механічну систему більш стійкою відносно зовнішніх силових збурень і не зумовлює зміни технологічних властивостей матеріалів під час їх руху робочими поверхнями. Рослинний матеріал, що проходить через зону вібрації, не пошкоджується. Широкий діапазон зміни частоти та амплітуди вібрації забезпечує можливість варіювання вібраційного режиму і особливостей руху сільськогосподарського рослинного матеріалу на робочих органах. У статті проаналізовано можливості застосування вібраційних гідроприводів як елементів передачі руху робочим органам сільськогосподарських машин. Також проаналізовано технологічні процеси у виробництві сільськогосподарської продукції, де доцільно і можливо використовувати вібрацію та вібраційні приводи. У сільськогосподарському машинобудуванні використання вібраційного гідроприводу є одним із основних напрямів його розвитку. Запропоновано стенд для проведення досліджень амплітудно-частотних характеристик вібраційного приводу з регульованими збуреннями. Представлено математичну модель, яка в загальному вигляді описує перебіг вібраційного процесу і оцінює жорсткість механічної системи. У статті для дослідження умов виникнення параметричних коливань робочих органів машин рекомендовано використовувати гідравлічний параметричний віброзбуджувач. Використання гідроприводу дозволяє спростити кінематику, зменшити металомісткість, підвищити точність, надійність і рівень автоматизації робочих органів машин.

Ключові слова:

вібрація в
сільськогосподарському
машинобудуванні,
віброзбуджувач,
гідропривод,
параметричні коливання,
жорсткість

Історія публікації:

Отримано 10.07.2022

Затверджено 25.08.2022

*Автор для листування:

ruslan-mail@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi48.778

Цитувати цю статтю:

Гапонюк, Т. О., Кірчук, Р. В., & Забродоцька, Л. Ю. (2022). Використання гідравлічного параметричного віброзбуджувача в сільськогосподарському машинобудуванні. *Сільськогосподарські машини*, 48, 7-14. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.778>

INTRODUCTION AND PROBLEM STATEMENT

Agriculture is the most ancient sphere of human activity. Since ancient times, on a subconscious level, a person has used oscillations processes in the production of food, without even comprehending the essence of the physical process. The appearance of water and wind drives made it possible to mechanize technological operations using oscillations and vibration. One of the first references to vibrating machines is in the scientific journal (*The London Journal of Arts, Sciences and Manufactures, and Repertory of Patent Inventions, 1849*) without careful explanations and references to the authors. A detailed analysis of the historical aspects of using vibration machines is made by *Lanets (2008)*. At present, impulse and vibration technology is widely used in mechanical engineering, construction, road building and different sectors of the manufacturing. In agriculture, it is used for dosing feed, cleaning and sorting seeds, digging up root crops, planting potatoes, and transporting bulk materials. The principle of vibration is also used in the development of sowing devices. The main advantages of using vibration are as following (*Povidaylo, 2004; Pogorilec & Volyansky, 2011*):

- vibrations make the mechanical system more stable in relation to external force disturbances;

- vibrations and fluctuations do not change the technological properties of materials during its movement along the working surfaces;

- the material passing through the vibration zone is not damaged;

- a wide range of changes in the frequency and amplitude of vibrations allows us to vary the vibration regimes, and consequently, the characteristics of plant material movement.

The study of the parameters of vibration processes, their analysis and synthesis of energy and motion transmission systems allow us more efficient design of the working bodies of agricultural machines based on working with hydraulic drives.

The Goal of the Study is to analyze the possibility of using vibration hydraulic drives in the working bodies of agricultural machines, to analyze and develop the stand for studying the amplitude-frequency characteristics of a hydraulic drive with disturbing elements.

MATERIALS AND METHODS

The study was carried out by using the developed experimental stand. The technique for analyzing the parameters of the vibrational process of the hydraulic drive was based on the methods of analytical mechanics and hydraulics.

RESULTS AND DISCUSSION

At present, the study of vibrations is very important according to the rapid increase in the capacity of agricultural machines and the speed of movement of their units and mechanisms, the reduction in relative weight, the increase in durability and reliability, and the stability and controllability of mechanical systems. In some cases, the parameters of mechanical systems, such as rigidity or mass, do not remain unchanged, but they are functions of the time. If the equilibrium state of such a system is disturbed, then peculiar oscillations will be made: on the one hand, they cannot be called free, since the system is not autonomous and experiences this external influence in the form of a change in the parameter, and on the other hand, the external influence does not manifest itself in the form of this system strength. These fluctuations are called parametric and, depending on the properties of the system and the nature of the changes in parameters, they can have limited or increasing peak values over time. This is called parametric resonance.

Parametric oscillations can occur where the stiffness of the system and (or) the mass of moving elements that determine the natural frequency of the agricultural machine system periodically changes ω_0 :

$$\omega_0 = (C / m)^{0.5}, \quad (1)$$

where C is the stiffness of the system; m is the mass of moving elements of the system.

This indicates that parametric oscillations can occur where the frequency of the oscillatory system periodically changes ($\omega_0 \pm \Delta\omega_0$).

In the studies of *Pogorilec and Volyansky (2011)*, *Gaponyuk (1998)*, *Kuzmin and Gaponyuk (1997)*, parametric oscillations in machines, aggregates and other mechanisms are considered undesirable.

In a practical sense, these studies are aimed at determining the conditions for the occurrence of parametric oscillations and eliminating their harmful effects. For the purpose of practical using in vibration machines and technologies, the

schemes of parametric vibration exciters will be considered.

The parametric vibration exciter shown in **Fig. 1** contains an elastic element of changeable bending stiffness, which is made in the form of a cantilever beam and non-circular disks. Non-circular disks are connected to the drive shafts. One end of the cantilever beam is rigidly attached to the rack, and the second is connected to the hydraulic damper. During rotation of the disks, the length of the beam periodically changes from the minimum to the maximum value. In this case, the bending stiffness of the elastic beam changes, which causes its parametric bending vibrations and, consequently, vibrations of the object fixed at the end of the beam. The device disadvantage is a narrowly limited range of disturbing frequencies and a decrease in operating efficiency due to the violation of parasitic oscillations.

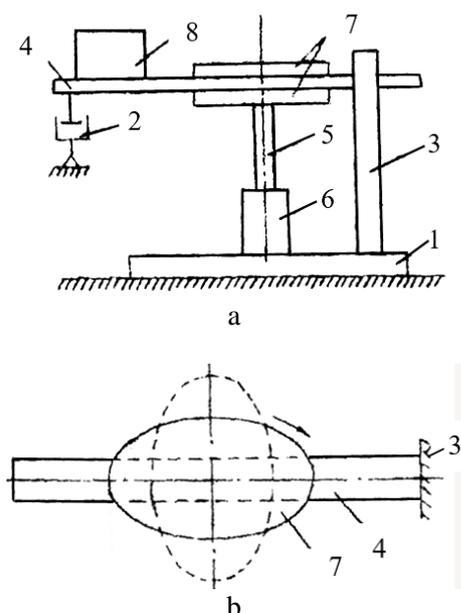


Fig. 1 – Parametric vibration exciter (a) with an elastic element of variable bending stiffness (b):

- 1 – base; 2 – hydraulic damper; 3 – rack;
- 4 – cantilever beam; 5, 6 – drive shaft;
- 7 – non-circular disks; 8 – beam

The parametric vibration exciter shown in **Fig. 2** contains a base and working unit, which is mounted on elastic support elements. The vibration exciter is made in the form of three coaxial shafts. The two extreme shafts are installed on platforms equipped with lifting mechanisms. Elastic elements are fixed on shafts

and connected by means of coupling halves with shaft mounted on the working unit. Between the base and working unit buffer elements and the gap adjustment mechanism are located. The shaft rotation is made by the engine through the clutch.

Due to the different stiffness of the elastic elements in compression and bending, during shaft rotation the stiffness of the vibration device system periodically changes in the vertical direction. For one revolution of the shafts, the change in stiffness occurs twice. When certain frequency ratios are met, in particular, when the frequency of stiffness pulsations is twice the natural frequency of the system, the parametric oscillations of the working unit are disturbed.

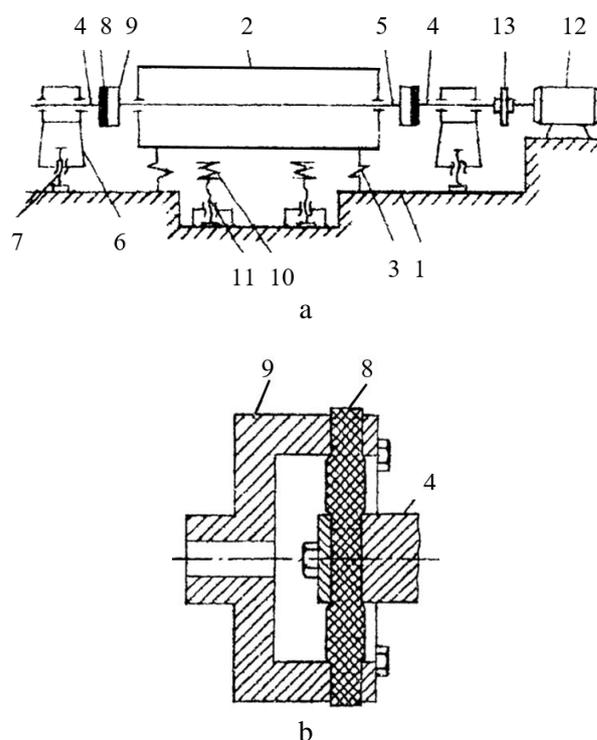


Fig. 2 – Parametric vibration exciter with elastic support elements (a) and elastic support elements (b):

- 1 – base; 2 – working unit; 3 – elastic support elements; 4, 5 – coaxial shafts; 6 – platforms;
- 7 – lifting mechanisms; 8 – elastic elements; 9 – coupling halves; 10 – buffer elements;
- 11 – gap adjustment mechanism; 12 – engine; 13 – clutch

The parametric vibration exciter shown in **Fig. 3** contains two levers, the arms of which are located at an angle, and the central hinges are connected to the base. The elastic element of

exciter can bend. The device has a pin with multidirectional threads. The pin is placed along the axis of the table and is connected to the elastic element and the crossbar.

Depending on the required perturbation frequency, the corresponding initial longitudinal force is set by rotating the pin, which acts on the elastic element, that determines the frequency of its oscillations. When the drive rotation of the thrust is turned on, the two-arm lever moves. The different direction of movement of the levers is provided by the thrust. With such a movement of the two-arm levers, a periodic change in the stress state of the elastic element occurs, which leads to the parametric oscillations of the table. The disadvantages of such parametric vibration exciters include low efficiency due to the complexity of the design and the impossibility of regulating the system during operation.

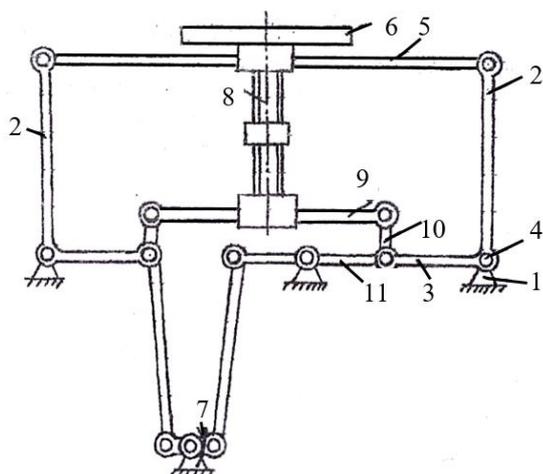


Fig. 3 – Parametric vibration exciter with adjustable parameters:

- 1 – base; 2, 3 – arms; 4 – central hinge;
- 5 – elastic element; 6 – table; 7 – drive; 8 – pin;
- 9 – crossbar; 10, 11 – thrusts

During operation of the parametric vibration exciter, which is shown in **Fig. 4**, its efficiency can be expanded by providing the ability to regulate the elastic system. The vibration exciter consists of a base, vibration table and elastic system consisting of longitudinal bending elastic elements. The mechanism for adjusting the elastic system and the drive are made in the form of an electromagnet. The unit of the electromagnet is fixed in the middle part of the elastic element, and the anchor is fixed on the middle part of the opposite elastic element in such a way that the

longitudinal axis of the electromagnet is perpendicular to the direction of movement of the vibration table. The elastic elements are made in the form of plates, which are pivotally based with the displacement of the centers of hinges relative to the average plane of the plates. The vibration exciter is equipped with additional elastic elements, the characteristics of which are adjustable. Element for testing is installed on the vibration table, the mass of which causes longitudinal deformation of the elastic elements. At the same time, their middle parts move towards each other. The oscillations of the system are supplied with an alternating voltage supply to the coil. The magnitude of the amplitude of voltage fluctuations determines the amplitude of vibrations of the vibration table. By supplying voltage to the electromagnet, it is possible to adjust the deflection of the elastic elements.

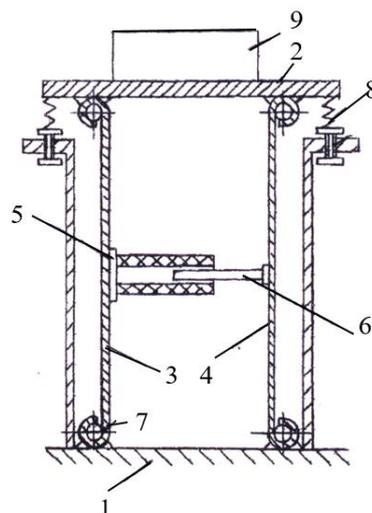


Fig. 4 – Parametric vibration exciter with adjustable elastic system:

- 1 – base; 2 – vibration table; 3, 4 – elastic elements; 5 – unit of the electromagnet;
- 6 – anchor; 7 – hinges; 8 – additional elastic elements; 9 – element for testing

The hydraulic parametric vibration exciter is shown in **Fig. 5**. Between the fixed unit and the working movable element, four elastic support elements, which are elastic high-pressure hoses pre-compressed to an elliptical shape, are clamped and connected by means of hydraulic lines to the cavities of hydraulic cylinders. Plungers are also installed. Conventionally, to simplify the description of the parametric vibration exciter, hydraulic cylinders with plungers, a profiled cam

and parts of hydraulic lines can be combined into one concept as an oscillation generator. And the elastic support elements of the movable working element and the fixed unit can be combined into one concept as the actuator (working element).

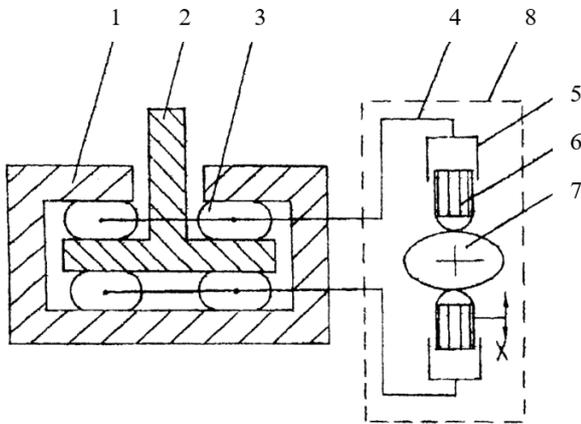


Fig. 5 – Hydraulic parametric vibration exciter:
 1 – fixed unit; 2 – working movable element;
 3 – elastic support elements; 4 – hydraulic lines;
 5 – hydraulic cylinders; 6 – plungers;
 7 – profiled cam; 8 – oscillation generator

Total stiffness C_{Σ} of executive mechanism is determined by the equation:

$$C_{\Sigma} = C_{uu} + C_{p0} + C_{\delta} + C_p, \quad (2)$$

where C_{uu} is self-stiffness of the hose under pressure $p_0 = 0$; C_{p0} is stiffness depends on pressure p_0 ; C_{δ} is additional stiffness associated with an increase in the average pressure in the hoses; C_p is stiffness of the «hydraulic spring» of mechanism.

It can be seen from equation (2) that the total stiffness of the system depends on several parameters, but the most important is the average pressure, which can be easily changed according to any law, including the harmonic one with frequency θ .

When the profiled cam rotates (**Fig. 5**), the plungers push the working fluid out of the cavity of the hydraulic cylinders and supply it through the hydraulic lines to the elastic support elements. In this case, the average fluid pressure increases from the minimum to the maximum value in the elastic elements. This changes the stiffness of the elastic support elements in the vertical direction. For one revolution of the profiled cam, the change in stiffness occurs twice. When certain frequency

ratios are met, in particular, when the frequency of the liquid pulsation is twice the natural frequency of the system, there is a violation of the parametric oscillations of the working body.

The mathematical model of the parametric vibration exciter will correspond to the Mathieu equation with dissipative term (Gaponyuk, 1998):

$$X(t) + 2\varepsilon \dot{X}(t) + \omega_0^2(1 - 2\mu \cdot \cos(\theta t))X(t) = 0, \quad (3)$$

where X is coordinate along the X axis; ε is damping coefficient; μ is perturbation coefficient; t is time.

The perturbation coefficient is determined by the equation (Kuzmin & Gaponyuk, 1997):

$$\mu = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{LEW_1}{C_{\Sigma}W_0}, \quad (4)$$

where L is hose tightening length; E is total modulus of elasticity; W_1 is volume of fluid supplied by the pulsator; W_0 is volume of the working cavity of the actuator (working body).

At certain ratios between the frequency ω_0 of free (natural) oscillations of the movable working body and the frequency of pulsation θ , the form of equilibrium turns out to be unstable and oscillations of the movable working body arise with a sharply increasing amplitude.

Equation (3) has an increasing solution only for sufficiently large values of the parameter μ . So, for the zone of resistance, the equation is as following:

$$\theta = 2\omega_0 \sqrt{1 + \sqrt{\mu^2 - \left(\frac{\Delta}{\pi}\right)^2}}, \quad (5)$$

where Δ is self-oscillation damping decrement.

The self-oscillation damping decrement is determined by the equation:

$$\Delta = \frac{2\pi\varepsilon}{\omega_0}. \quad (6)$$

It follows from the equation (5) that instability is possible only under the condition for the perturbation coefficient:

$$\mu > \mu^* = \frac{\Delta}{\pi}. \quad (7)$$

The uncontrollability of the characteristics of the frequency and amplitude of the pulsations are the disadvantage of parametric vibration exciter. This shortcoming can be easily eliminated if the hydraulic parametric vibration destroyer is converted according to the scheme, which is shown in Fig. 6.

The parametric vibration exciter includes adjustable pump, adjustable hydraulic motor and oscillation generators. Oscillation generators are connected with an adjustable clutch, and are also connected by hydraulic lines with the actuator on the hoses.

Theoretically, a hydraulic drive using an adjustable pump and hydraulic motor has an unlimited range of output speeds of the hydraulic motor (*Bashta, 1974*), and hence the pulsation frequencies of oscillation generators. An infinitely small pulsation frequency corresponds to an infinitely small working volume of the pump at the maximum working volume. And an infinitely large pulsation frequency corresponds to an infinitely small working volume of the hydraulic motor at the maximum value of the working volume of the pump. To adjust the amplitude of the pulsating volume, the adjustable clutch is used.

CONCLUSIONS

The parametric vibration exciter has advantages such as: the simplicity of the design, the relatively simple adjustment of the frequency

and amplitude of vibrations during the operation of the vibration exciter, the absence of friction pairs, low sensitivity to distortions, the high quality of the vibrations of the system. So, it makes possible to use the parametric vibration exciter to study and determine the conditions for the occurrence of parametric vibrations in units and other working body of agricultural machines.

The hydraulic drive is an effective means of transmitting movement to the working bodies of agricultural machines. Using a hydraulic drive makes it possible to simplify the kinematics, reduce metal consumption, increase their accuracy, reliability and level of automation. With the help of a hydraulic drive, translational, rotary and rotating movements of the executive bodies are carried out.

Agricultural engineering is one of the consumers of hydraulic systems. The hydraulic is one of the main trend in the development of agricultural machines, which supports in increasing the number of working bodies, ensuring the movement of working bodies in relation to the machine and the machine itself in relation to the power source with which it is aggregated, automating technological operations to increase productivity and improve working conditions.

The active use of the hydraulic drive in agriculture is determined by its well-known advantages, which, however, can only be realized with proper design and operation.

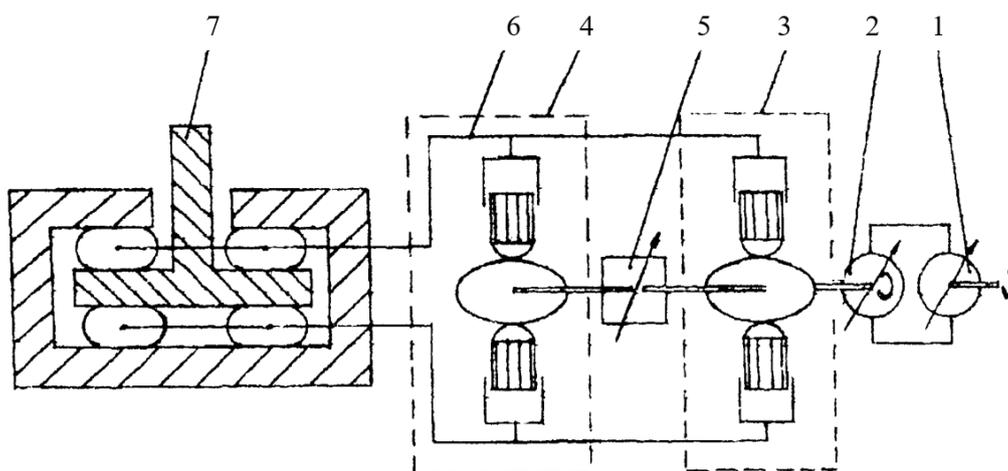


Fig. 6 – Hydraulic parametric vibration exciter with parameter adjustment system:
 1 – adjustable pump; 2 – adjustable hydraulic motor; 3, 4 – oscillation generators;
 5 – adjustable clutch; 6 – hydraulic lines; 7 – profiled cam

REFERENCES

- Bashta, T. M. (1974). *Positive displacement pumps and hydraulic motors (Объемные насосы и гидравлические двигатели)*. Moscow: Mashinostroenie. (in Russian)
- Garonyuk, A. N. (1998). Parametric vibration exciter of oscillations (*Параметрические вибровозбудители колебаний*). *Vibrations in Engineering and Technology*, 5, 6-9. (in Russian)
- Kuzmin, V. O., & Garonyuk, O. M. (1997). Parametric vibration exciter of oscillations (*Параметричний вібробуджувач коливань*). *Journal of Scientific Works of the Lutsk Industrial Institute*. (in Ukrainian)
- Lanets, O. S. (2008). Vibrating machines and vibration technologies (*Вібраційні машини та вібротехнології*). *Automation of Production Processes in Mechanical Engineering and Instrument Engineering*, 42, 3-18. (in Ukrainian)
- Pogorilec, O. M., & Volyansky, M. S. (2011). *Fundamentals of design and calculation of a volumetric hydraulic drive (Основи проектування і розрахунку об'ємного гідропривода)*. Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. (in Ukrainian)
- Povidaylo, V. O. (2004.) *Vibration processes and equipment (Вібраційні процеси та обладнання)*. Lviv: Publishing House of the Lviv Polytechnic National University. (in Ukrainian)
- The London Journal of Arts, Sciences and Manufactures, and Repertory of Patent Inventions. (1949). Conducted by Mr. W. Newton. Vol. XXXIV. London.

LOW-QUALITY FLAX STRAW BIOMASS HARVESTING FOR SUBSEQUENT USE AS FUEL: A REVIEW

I. Dudarev^{1*}, A. Khomych²

¹Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

²Liubeshiv Technical College, Liubeshiv, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES



ABSTRACT

To generate various forms of energy, the plant biomass can be burned directly or after its conversion into carbonized solid fuel, liquid fuel, or gaseous fuel. The yield of plant, which is used as biomass sources, need to be achievable with minimal energy inputs for plant cultivation, planting, harvesting and transporting. Using biomass in original form is very complicated, because of high moisture content, irregular shape and sizes, and low bulk density. Therefore, before removal from the field the biomass densification into bales is conducted. Unfavorable conditions for flax growing, harvesting and dew-retting are the reason for the low-quality flax biomass production. This biomass cannot be processed for fiber or other purposes. Therefore, flax straws are burned in the fields or are used as fertilizer by plowing into the soil, which are not good solutions for the environment and subsequent cultivation operations. The limit values of quality properties of flax stem, flax straw and retted straw for their processing are summarized, which can be used to determine the suitability of flax straw biomass for processing or burning. Low-quality flax biomass is inexpensive, ecofriendly and renewable, it can be used as solid fuel for heating greenhouses or buildings located near the field where the flax is grown. Various techniques of fibre flax and oilseed flax harvesting are presented in the article. The technique of low-quality flax harvesting is recommended, which include flax pulling out or flax cutting, flax threshing, flax straw windrow forming, flax straw natural drying on the field in natural way, flax bale forming, flax bale transporting, flax bale burning. This harvesting technology can be used for low-quality fibre flax and oilseed flax. Flax straw biomass can be baled into three bale types: small rectangular bales, big round bales, and big square bales The main requirements for fuel flax biomass bales are recommended. The boiler for burning flax straw bales must be chosen taking into account the shape and size of the bales. For the efficient operation of boilers, it is necessary to take into account the recommended values of bale bulk density and moisture content of flax biomass.

Key words:

flax harvesting,
flax biomass,
flax straw bale,
flax straw burning,
solid fuel

Article history:

Received 22.07.2022

Accepted 25.08.2022

*Corresponding author:

i_dudarev@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi48.779

To cite this article:

Dudarev, I., & Khomych, A. (2022). Low-quality flax straw biomass harvesting for subsequent use as fuel: a review. *Agricultural Machines*, 48, 15-29. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.779>

УДК 631.558:677.11

ТЕХНОЛОГІЯ ЗБИРАННЯ НИЗЬКОЯКІСНОЇ ЛЛЯНОЇ БІОМАСИ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ ЯК ПАЛИВА: ОГЛЯД**І.М. Дударев^{1*}, А.В. Хомич²**¹Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна²Любешівський технічний коледж, Любешів, Україна

AGRICULTURAL MACHINES

**А
С М**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Несприятливі умови для вирощування льону, його збирання та вилежування є причиною отримання низькоякісної біомаси льону. Ця біомаса не може бути перероблена на волокно чи інші цілі. Тому низькоякісну льоносолому спалюють на полях або використовують як добриво шляхом заорювання в ґрунт, що зумовлює негативний вплив на навколишнє середовище та ускладнює проведення подальших технологічних операцій з ґрунтом. У статті представлені граничні значення якісних показників стебел льону, льоносоломи та лляної трести, за яких вони придатні для промислового перероблення або отримана лляна біомаса придатна лише для використання у вигляді палива. Низькоякісна лляна біомаса є недорогою, екологічною та відновлюваною сировиною, яку можна використовувати як тверде паливо для опалення теплиць або будівель, що розташовані поблизу поля, де вирощують льон. У статті представлені різні технології збирання льону-довгунця та льону олійного. Також рекомендується технологія збирання низькоякісного льону, що передбачає технологічні операції: брання або скошування льону, обмолочування льону, формування валка льоносоломи, природне сушіння льоносоломи на полі, формування тюків льоносоломи, транспортування тюків льоносоломи, спалювання тюків льоносоломи. Цю технологію збирання можна використовувати для льону-довгунця та льону олійного, що мають низьку якість. Лляну біомасу можна спресовувати у три типи тюків: малі прямокутні тюки, великі круглі тюки (рулони) та великі квадратні тюки. У статті рекомендовані основні вимоги до паливних тюків лляної біомаси. У статті також зазначено, що котел для спалювання льоносоломи необхідно вибирати з урахуванням форми і розміру тюків. Для ефективної роботи котлів необхідно враховувати рекомендовані значення щільності тюків і вологості лляної біомаси.

Ключові слова:

збирання льону,
лляна біомаса,
тюки льоносоломи,
спалювання лляної соломи,
тверде паливо

Історія публікації:

Отримано 22.07.2022

Затверджено 25.08.2022

***Автор для листування:**

i_dudarev@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi48.779

Цитувати цю статтю:

Дударев, І. М., & Хомич, А. В. (2022). Технологія збирання низькоякісної лляної біомаси для подальшого її використання як палива: огляд. *Сільськогосподарські машини*, 48, 15-29. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.779>

INTRODUCTION AND PROBLEM STATEMENT

Human energy consumption can be broadly grouped under three headings: heat, grid electricity, and transportation fuels (*Gomez et al., 2008*). Plant biomass, which is inexpensive, ecofriendly and renewable, can be converted to various forms of energy through numerous thermochemical conversion processes, depending upon the type of energy desired (*Tushar et al., 2010*). Using biomass materials in their original form, in particular transport, store, and utilize, is very complicated, because of high moisture content, irregular shape and sizes, and low bulk density (*Kaliyan & Vance Morey, 2009*). Therefore, before removal from the field the biomass densification into bales is conducted.

Using biomass reduces the consumption of fossil fuels and limits the emission of CO₂, SO_x, NO_x and heavy metals (*Naik et al., 2010*). To generate energy, the plant biomass can be burned directly or after its conversion into carbonized solid fuel (biochar), liquid fuel (bioethanol, biodiesel, bio-oil), or gaseous fuel (biogas) (*Ioelovich, 2015*). Pyrolysis is one of the most promising thermo-chemical process, which converts biomass to liquid, gaseous and solid fractions under an oxygen absence condition (*Zhao et al., 2011*).

Plant biomass in the form of wood and fibers are utilized as raw materials for burning for energy and considered as an important renewable source of biofuels (*Demura & Ye, 2010*). For example, co-products, which are obtained during hemp processing, contain cellulose and hemicellulose and can be profitably processed for producing 2nd generation bioethanol, which is used to produce energy for the industrial (*Zatta et al., 2010*). Also, for different crops, straw briquetting is an effective way of utilization of straw resources, because after biomass compressing its density is increased to about 1000–1200 kg/m³, and its volume is reduced by 8–10 times (*Chen et al., 2022*). The following types of fuel briquettes are produced: rectangular bricks with a dimensions of 65×95×150 mm; round cylindrical briquettes with a diameter of 60–90 mm and length of 50–300 mm; polyhedron briquettes (Pini-Kay) with a hole in the center and dimensions 50–80×200–300 mm (*Pavlov, 2020*). Calorific value of biomass from different plant is as following: wheat straw 20.3±0.2 MJ/kg, barley straw 15.7±0.3 MJ/kg, flax straw 17.0±0.2 MJ/kg,

timothy grass 16.7±0.3 MJ/kg, pinewood 19.6±0.2 MJ/kg (*Naik et al., 2010*).

Plant biomass contains lignocellulose, which forms the structural framework of plants consisting of cellulose, hemicellulose and lignin, and which is broken down and hydrolyzed into simple fermentable sugars, which upon fermentation form biofuels such as ethanol (*Chaturvedi & Verma, 2013*). The sources of biomass for biofuels need to be produced in a sustainable way and before the potential biomass production in a particular region it is important to identify the degree of climatic adaptation by most suitable plant species for this purpose (*Kerckhoffs & Renquist, 2013*). The yields of crops, which are used as biomass sources, need to be achievable with minimal energy inputs for crop cultivation, planting, nutrient production and application, harvesting and transporting (*Henry, 2010*). Also, it is necessary to consider that food crops rich in starch and sugar, which is basically used for biofuel production, can cause an imbalance in the food and feed supply chain (*Ning et al., 2021*).

Biofuels are classified as primary, which are used in an unprocessed form mainly for heating, cooking (wood chips and pellets, fuelwood), and secondary, which are produced by processing of biomass (ethanol biodiesel etc.) and classified as first, second, and third generation biofuels depending on the kind of raw material used and the technology employed for their production (*Chakraborty et al., 2012*).

There are two types of flax, oilseed flax (linseed) and fibre flax, which are different in their botany, morphogenesis, environment requirements, and techniques of cultivation and harvesting (*Anthony, 2005; Heller et al., 2015*). Fibre flax is mainly cultivated for its fiber (*Omer et al., 2020*). The oilseed flax is predominantly the source of valuable oil, which is contained in seeds and is the source of omega-3 fatty acids (*Zuk et al., 2015*). Also, seeds are a source of protein, soluble polysaccharides, phenolic acids and flavonoids and other biologically active components (*Vinogradov et al., 2012*). Oilseed flax stems make up a considerable part of the oilseed flax biomass, that are considered a by-product of no value (*Sankari, 2000*). But, oilseed flax stems are rich in high potential fibers (*Bar, 2022*), which is shorter in length than long line fiber from fibre flax. In general, oilseed flax straws are buried in the fields or burnt, which are not good solutions for the environment and from

an economical point of view (*Khan et al., 2021*). The tough stem fibers in flax straw decay slowly, creating a difficult condition for farming, as a result, farmers traditionally burn flax straw after raking it into piles (*Harry et al., 2014*). Smoke from flax straw fires may obscure public roadways and compromise the health of neighboring residents (*Chen et al., 2005*). Burning flax straw biomass residue also has agronomic disadvantages including loss of 98 to 100% of nitrogen (N), 70 to 90% of sulfur (S), and 20 to 40% of phosphorus (P) and potassium (K) (*Heard et al., 2006*).

The entire flax yield can be used to produce various types of fuel. Flax seeds are a raw material for the production of biodiesel, which can be used as one of the alternative fuel in diesel engines (*Asokan et al., 2021*). Flax biomass, which is cheap and available raw material, can also be used as fuel. Flax straw biomass contains cellulose (27.4 wt%) and hemicellulose (24.8 wt%) and lignin (21.2 wt%) (*Mukhambet et al., 2022*). During the extraction of flax fibers, a by-product, flax shives, is obtained, which is a lignified part of the flax stem and which has a calorific value of 17.25 kJ/g (*Lugovoy et al., 2021*). Flax shives are used for burning in burners or for producing fuel pellets and briquettes (*Rentsen, 2010*), which have a calorific value of 18 MJ/kg (*Komlajeva & Adamovics, 2012*). In addition, liquid bio-fuel can be produced using flax shives (*Mohabeer et al., 2019*), in particular the second generation ethanol can be produced (*González-García et al., 2009*).

In case of unfavorable weather conditions during the cultivation and harvesting of flax, the morphological characteristics and properties of the flax stalks may not be acceptable for the extraction of fiber. Therefore, according an economic point of view, it is better to use low-quality flax straw as fuel after seed separating. In particular, low-quality flax straw can be formed into fuel bales (*Yaheliuk et al., 2020*). For farmers, to collect their own or neighbors' flax straw and burn it in burners of large barn or greenhouse can be profitable. But, if the distance between the field and the place of flax bale using is significant, the transport costs may overtake cost savings of using flax straw (*Flax straw and fibre past and present uses, n.d.*). Also, flax straw biomass utilization is linked to the problems of its harvesting (cutting, baling), transporting and storage (*Mladenović et al., 2009*).

The Goal of the Study is to review the fibre flax and oilseed flax harvesting, as well as the harvesting technique of low-quality flax straw, which can be used as solid fuel.

FLAX

The quality and yield of flax are varied greatly in response to weather conditions, soil type, varieties, cultivation techniques and other factors (*Casa et al., 1999; Pisupati, 2021*). Fibre flax stems have a diameter about 1.4–1.6 mm and a total height of 1.1–1.2 m (*Nag et al., 2015*), and one of the highest slenderness factor (i.e. the ratio between height and diameter of the stem) among botanical herbs and trees, which is about 365 ± 33 (*Goudenhoft et al., 2019*). In the world, the yield of fibre flax straw is varied widely from 220 kg/ha to 4370 kg/ha depending on the country and weather conditions of cultivation (*Zajac et al., 2012*). The seed yield is ranged from 270 kg/ha to 890 kg/ha (*Dmitrevskaya et al., 2016*).

Lodging is a major problem for fibre flax as it complicates the harvesting, causes damage to the flax stems and can cause the impossibility of extracting fiber. The risk of flax lodging increases with rainfall, wind, and a high slenderness ratio due to self-weight and additional loads such as rain (*Goudenhoft et al., 2019*). Also, the flax stability to lodging is strongly linked to the seeding rate, flax varieties and nutrients availability, especially to high nitrogen amounts (*Gibaud et al., 2015*). For fibre flax, a seeding rate of 1800 seeds/m² is the better compromise long fibre yield, fibre mechanical performances and stem stability to lodging (*Bourmaud et al., 2016*). In the case of significant lodging of flax, further its processing is complicated, therefore it is advisable to use its biomass as fuel.

Oilseed flax plants are typically shorter than the fibre flax plants due to their branched growth (*Kymalainen et al., 2004*). Oilseed grows to a height of 0.40 to 0.91 m (*Anthony, 2005*). To obtain increased seed yield, oilseed flax is sown with a density 25–55 kg/ha, as in this case stem branching is stimulated (*Nag et al., 2015*). The seed yield of oilseed flax is varied widely from 202 kg/ha to 1991 kg/ha depending on the country and weather conditions of cultivation (*Lafond et al., 2008; Zajac et al., 2012; Zhang et al., 2020*) and the straw yield is ranged from 2360 kg/ha to 3190 kg/ha (*Rudik, 2016*). The seeds of both the fibre flax and oilseed flax contain 20–40% oil and can be used to obtain oils (*Zhang et al., 2011*).

FIBRE FLAX HARVESTING

Nowadays, the technological level of flax harvesting systems may be considered advanced enough to fully exploit the crop to harvest seeds and retted stems at the same time (Pari *et al.*, 2015). The sequence of technological processes during flax harvesting depends on the flax destination and whether it is fibre flax or oilseed flax. Let's consider the sequence of processes for fibre flax harvesting.

The combine harvesting is the most common technology for fibre flax harvesting (Fig. 1). This technology makes it possible to obtain flax raw material for the production of long and short fiber, as well as seeds that can be used for processing and sowing. According to the technology, flax combine pulls the fibre flax out and lays it back down on the field into flax band for dew retting. During dew retting, fungi and bacteria partially decompose the flax stems. Flax stems in the flax band are placed parallel. Also, flax seed bolls (seed capsules) are threshed by combine and obtained flax heap is processed outside the field.

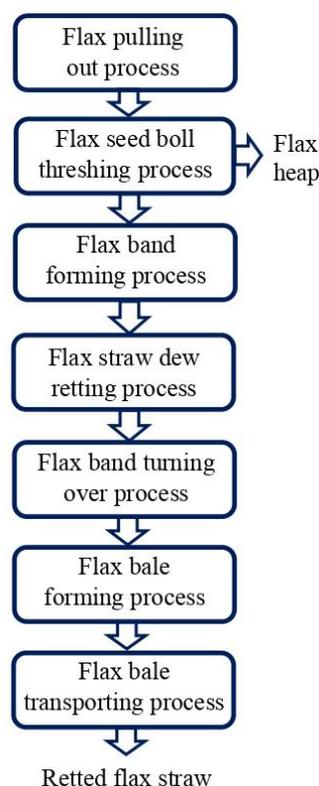


Fig. 1 – Diagram of fibre flax combine harvesting

The duration of dew retting process depends on weather conditions. To reach a good dew retting

levels for flax straw, fibre flax production areas must have a mild and humid climate (Grégoire *et al.*, 2021), while oilseed flax cultivars are rather grown in continental climate regions (Zuk *et al.*, 2015). For uniform dew retting of fibre flax, the thickness of the flax band should be 1–3 stems. If the thickness of the flax band exceeds the recommended value, the lower fibre flax stems may rot. For uniform dew retting process, the flax band turns over 180 degrees once or twice. The first turning over of the flax band is recommended during 8–12 days after flax pulling out. If the heterogeneity of the flax straw quality in the upper and lower layers of the flax band is presented the flax band turn again over 180 degrees after 5–7 days. The flax band are also turned over before forming flax bale. During turning over, the flax straw dries and separates from the soil and grass. Before flax bale forming, the flax band is doubled, that increases the productivity of the round straw baler. Bales remain randomly inside the field or stacking at a specific location close to one of the field's edges (Vahdanjoo *et al.*, 2021). Then, flax bales are transported from the field for further retted flax straw processing.

The two-phase flax harvesting is technology for fibre flax harvesting (Fig. 2), that is used during adverse weather conditions. According to the technology, the fibre flax is pulled out with flax puller and flax band of unthreshed and paralleled stems is formed. For natural drying and ripening of seeds in bolls, the flax band is laid down on the field. Then, a flax pickup thresher is used, which picks up the flax band, threshes the seed bolls and lays flax band back down on the field for dew retting. A flax heap is threshed outside the field. To improve the dew retting conditions, the flax band is turned over once or twice. Flax bale forming process is the next stage of the two-phase flax harvesting involves. And flax bale transporting for processing is the last stage of two-phase flax harvesting.

If it is necessary to obtain high-quality flax fiber, the fibre flax is pulled out with flax puller. The flax band of unthreshed and paralleled stems is formed on the field for dew retting (Fig. 3). During dew retting, the flax band is turned over once or twice. After dew retting, the flax band of unthreshed flax stems is formed into bales and transported for processing. According to the technology, the flax seed bolls are threshed in the conditions of the processing plant during the unwinding of the bales.

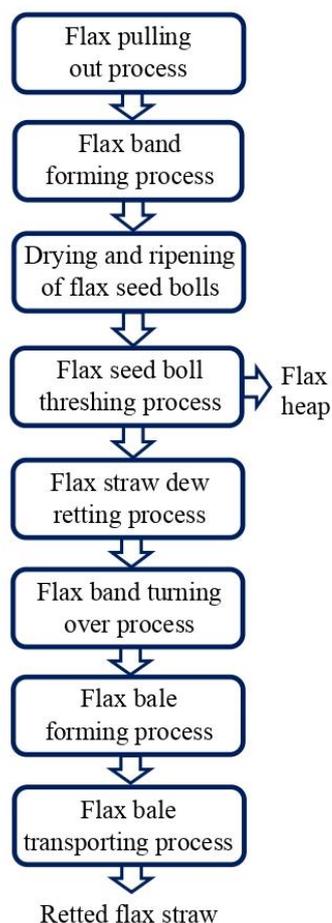


Fig. 2 – Diagram of fibre flax two-phase harvesting

For fibre flax harvesting, different machines are used such as flax harvester, flax puller, flax band lifting and threshing (rippling) machine, flax band turner, flax band doubling machine, round baler, bale loader and bale truck (Dudarev, 2020).

OILSEED FLAX HARVESTING

According to the combine harvesting, oilseed flax is cut with a combine harvester, which is also threshed the flax, cleaned the seeds and formed windrow from crushed flax straw, where straw is dried in a natural way (Fig. 4). When using flax straw as fuel, the flax straw windrows are formed into bales with a baler (Variant 1). Then the bales of crushed flax straw are transported to the location where the boiler is placed for straw bale burning. When using flax straw as a fertilizer, crushed straw is plowed into the soil (Variant 2).

In the case of unfavorable weather conditions, the two-phase harvesting of oilseed flax is applied (Fig. 5). Oilseed flax is cut and formed into windrows with a mower. After natural drying and

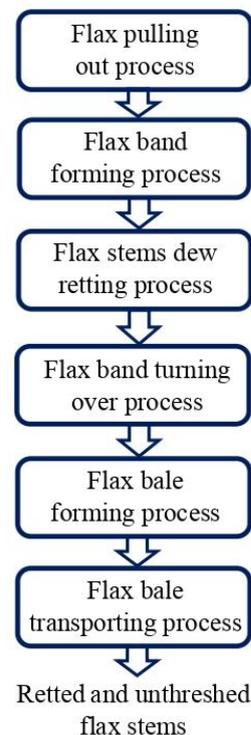


Fig. 3 – Diagram of fibre flax two-phase harvesting to obtain high-quality flax fiber

ripening of the flax seeds in bolls, the flax windrows are picked up and threshed with a combine harvester. Crushed and dried flax straw is formed into bales (Variant 1) or left on the field as fertilizer (Variant 2).

For oilseed flax harvesting, different machines and equipment are used such as combine harvester, mower, plow, flax round baler, flax bale loader, bale truck, and flax straw bale boiler.

Straw of certain varieties of oilseed flax is used to extract short fiber. In this case, the technologies of fibre flax harvesting are used to harvest oilseed flax (Fig. 1, Fig. 2).

LOW-QUALITY FLAX STRAW BIOMASS HARVESTING

Under favorable conditions during flax cultivation, flax harvesting and dew-retting, the retted flax straw is obtained, which can be processed for fiber or other purposes (Fig. 6). But, in the case of unfavorable conditions at these steps

of flax manufacturing process, the low-quality flax straw biomass, the processing of which is unprofitable, can be obtained. It is advisable to use this biomass as a renewable energy source.

During the flax cultivation, unfavorable conditions, including adverse weather conditions, flax diseases and pests, insufficient or excessive use of fertilizers, weediness of flax and flax damage by herbicides, deteriorate the quality of flax straw biomass (**Fig. 6**). As a result, flax can be stunted, weedy, damaged by herbicides, diseases and pests. Also, the length and diameter of flax stalks and the fiber content can be unacceptable for flax straw processing. It is not advisable to leave low-quality flax biomass on the field for dew retting, as it is unsuitable for extracting fiber. After flax threshing and flax straw natural drying, the flax straw biomass can be formed into bales and used as fuel.

During harvesting, flax can also be affected by unfavorable conditions, such as adverse weather conditions, untimely harvesting of flax, wrong choice of flax harvesting technology and incorrect operating regimes of harvesting machines (**Fig. 6**). Unfavorable conditions lead to

the deterioration of quality indicators of flax straw. Weather conditions are the most influential, as heavy rain and wind can cause lodging of flax and delay harvesting, which lead to flax yield losses and deterioration of the quality of flax biomass. In the case of incorrect operating regimes of harvesting machines, mechanical damage to the flax stems is possible. Also, it is possible the thickened flax band forming with tangled stalks. As a result, the conditions for flax straw dew retting are worsened. To minimize flax yield losses, the technology of flax harvesting should be chosen taking into account the condition of the grown flax and the weather conditions.

As a result of unfavorable weather conditions during flax straw dew retting, the quality of flax straw can significantly deteriorate. In particular, the tensile strength of the flax fiber and the color of the flax straw can be worse than recommended (**Fig. 6**). Therefore, during flax growing, harvesting and dew retting, it is necessary to analyze the flax biomass and make decisions about its further use and the application of technological processes.

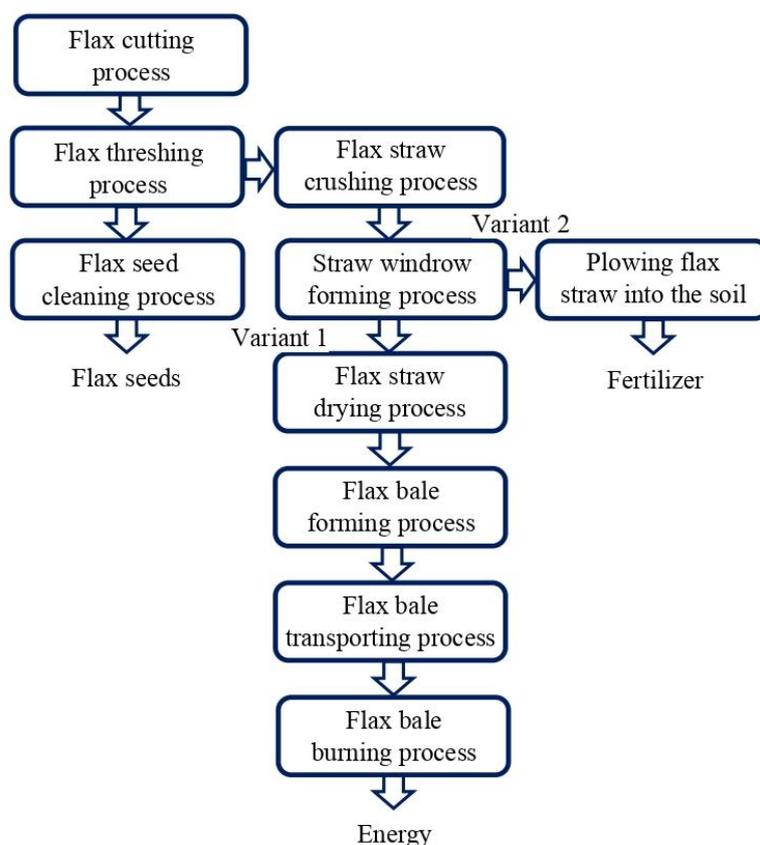


Fig. 4 – Diagram of oilseed flax combine harvesting

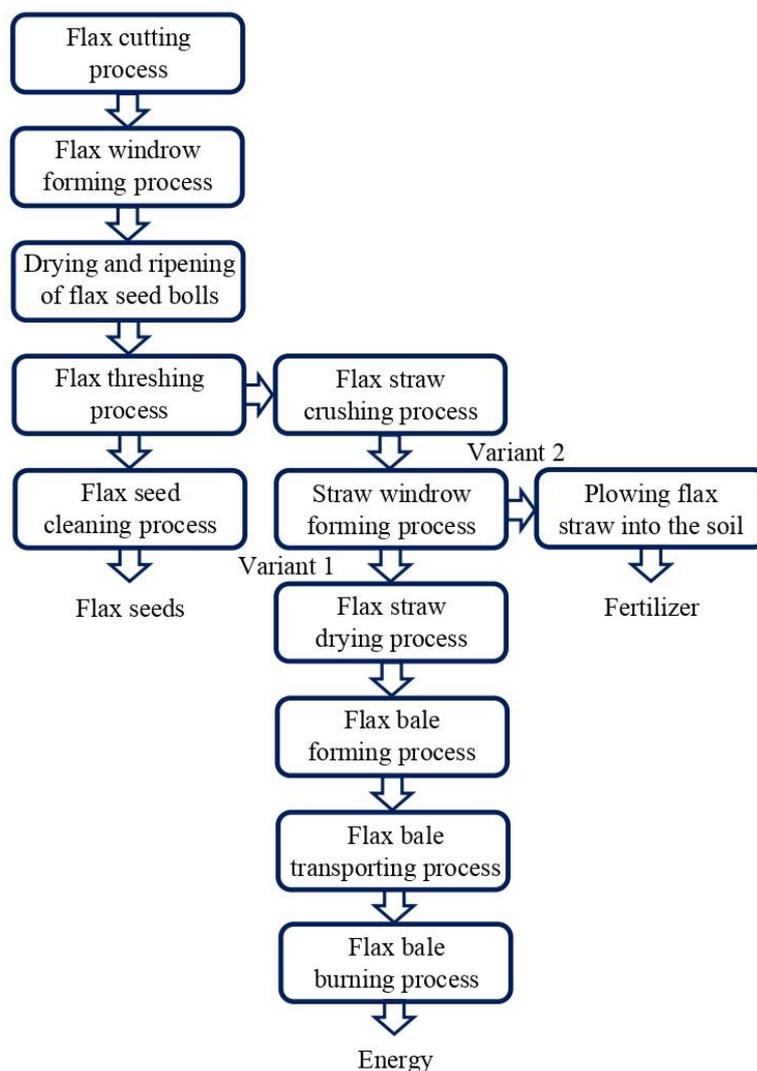


Fig. 5 – Diagram of oilseed flax two-phase harvesting

If the quality properties of flax biomass obtained during flax manufacturing process do not correspond to the allowed (limit) values necessary for its processing (**Table 1**, **Table 2**), then it is advisable to use flax biomass as biofuel. So, the recommended processes of low-quality flax harvesting are as follows: flax pulling out or flax cutting; flax threshing; flax straw windrow forming; flax straw natural drying on the field in natural way; flax bale forming; flax bale transporting; flax bale burning (**Fig. 7**). This harvesting technology can be used for low-quality fibre flax and oilseed flax.

For low-quality flax straw biomass harvesting, different machines and equipment are used such as combine harvester or flax harvester, flax round baler, flax bale loader, flax bale truck and flax bale boiler.

BIOMASS BALES

An important process of harvesting low-quality flax straw biomass is its forming into bales for transporting, storage and burning. Flax straw biomass bales are formed with balers, which pick up flax straw windrow, compress it into bales of even size and weight, and tie them by means of twine. The main requirements for fuel bales are the following: high and uniform bulk density of bale layers; low and uniform moisture content of flax straw in the bale; convenience of transporting and storage; possibility of compact bale packing; low consumption of the twine during bale forming; correspondence of the bale dimensions to the boiler chamber. If bales size is larger than the size of the combustion chamber, it is necessary to disintegrate or cut the bales, which requires additional using of equipment.

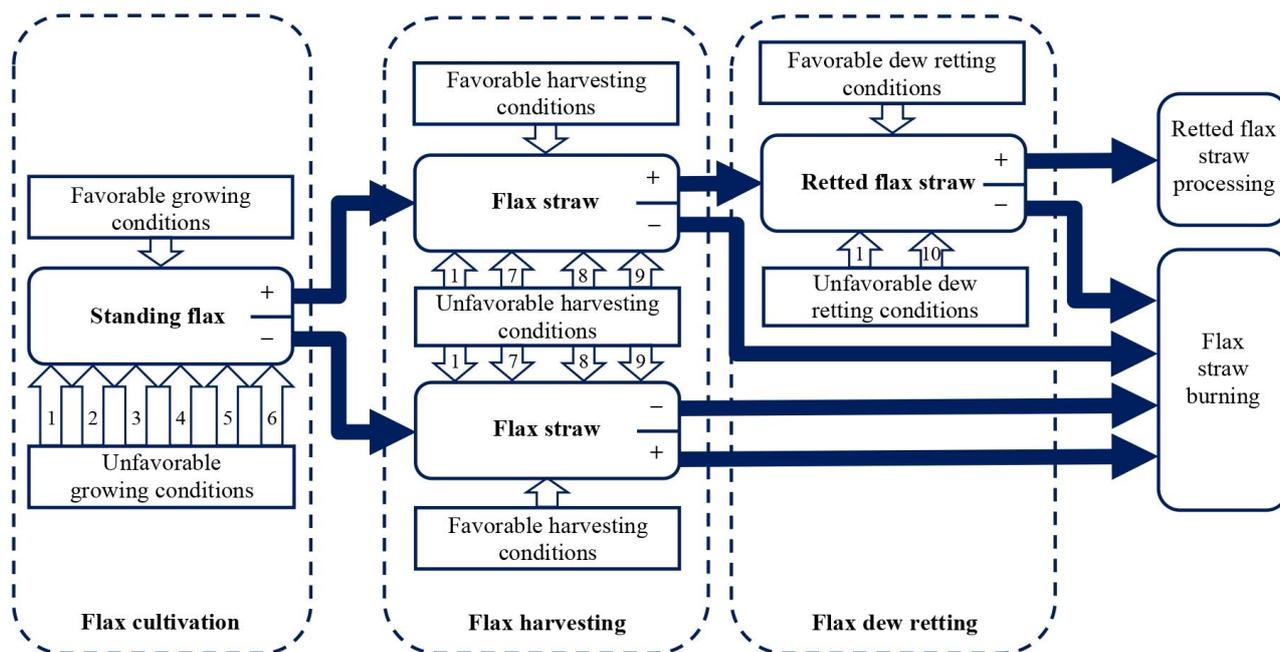


Fig. 6 – Diagram of the influence of growing, harvesting and dew retting conditions on the flax biomass suitability for its processing or burning:

- 1 – adverse weather conditions; 2 – flax diseases; 3 – flax pests; 4 – insufficient or excessive use of fertilizers; 5 – weediness of flax; 6 – flax damage by herbicides; 7 – untimely harvesting of flax; 8 – wrong choice of flax harvesting technology; 9 – incorrect operating regimes of harvesting machines; 10 – untimely flax band turning over and flax bale forming;
- «+» – flax biomass is suitable for processing; «-» – flax biomass is suitable only for burning

Table 1 – The limit values of quality properties of fibre flax stem, flax straw and retted straw for their processing (*GOST 28285-89, 1990; GOST 24383-89, 1990*)

Quality properties	Flax stem	Flax straw	Retted straw
Technical stem (straw) length, m	≥ 0.6	≥ 0.6	≥ 0.6
Fiber (bast) content* or output of long fiber**, %	≥ 20.0*	≥ 20.0*	≥ 5.0**
Fiber tensile strength, daN	≥ 15.0	≥ 15.0	≥ 15.0
Stem (straw) color	yellow, yellow-green, green and yellow-brown	yellow, yellow-green, green and yellow-brown	brown, yellow, gray
Weed content, %	≤ 10.0	≤ 10.0	≤ 10.0
Moisture content, %	-	≤ 23.0	≤ 23.0
Damage by fungal diseases	minor degree	minor degree	minor degree

Table 2 – The limit values of quality properties of oilseed flax, flax straw and retted straw for their processing (Holovento, et al., 2019)

Quality properties	Flax stem	Flax straw	Retted straw
Technical stem (straw) length, m	≥ 0.15	≥ 0.15	≥ 0.15
Fiber (bast) content, %	≥ 11.0	≥ 11.0	≥ 11.0
Stem (straw) color	yellow, yellow-green, green and yellow-brown	yellow, yellow-green, green and yellow-brown	brown, yellow, gray
Weed content (impurity), %	≤ 20.0	≤ 20.0	≤ 20.0
Moisture content, %	≤ 25.0	≤ 25.0	≤ 25.0
Damage by fungal diseases	minor degree	minor degree	minor degree

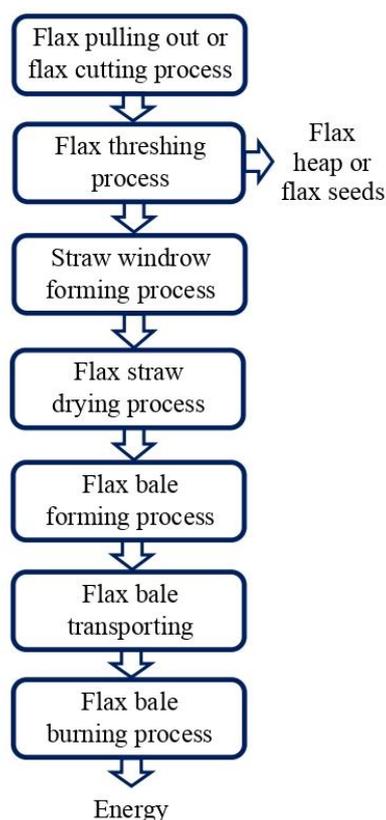


Fig. 7 – Diagram of low-quality flax straw biomass harvesting

The deformation of biomass bales during transporting, storage and manipulation is not allowed. Straw biomass, in particular can be baled

into three bale types (**Fig. 8**): small rectangular bales (weighing up to 25 kg); big round bales (in the range of 245 kg to 400 kg); big square bales (in the range of 120 kg to 600 kg) (Guerrieri et al., 2019). Small rectangular bales have the following advantages: high packing pressure; low consumption of the twine; ease of transportation; good storage conditions; completely mechanized manipulation (Mladenović et al., 2009). Rectangular bales more efficiently fill the available shipping volume on trucks and storages compared to large round bales (Shinners et al., 1996). Small rectangular bales have density in the range of 114 kg/m³ to 207 kg/m³ (Hunt, 2001; Afzalnia, 2005).

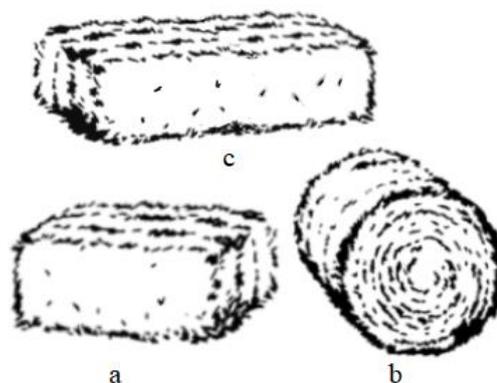


Fig. 8 – Bale types of flax straw biomass: a – small rectangular bale; b – big round bale; c – big square bale

Cylindrical (round) bale is the most common form of bale for flax straw biomass collecting, which is formed with a roll baler. There are two types of roll balers: fixed chamber baler, which has a series of fixed rollers around the bale chamber, and variable (expanding) chamber baler, which has two arms. The bale, which is formed with the fixed chamber, contain a softer/looser core, and the bale, which is formed with the variable chamber, contain harder/tighter core (Sun et al., 2010). The shape of round bales provides the ease of their manipulation and transporting, and the low requirements for their storage (Román & Hensel, 2014). Round bales have density in the range of 100 kg/m³ to 170 kg/m³ (Hunt, 2001; Afzalnia, 2005). The main disadvantage of round bales is the uneven distribution of straw along the radius of the bale, which is a negative factor during its burning.

Big square bales have bale cross section of 80×80 cm and maximum bale length about 2.5 m (Shinners et al., 2000). Also, big square bales have density in the range of 126 kg/m³ to 251 kg/m³ (Shinners et al., 2000; Descôteaux & Savoie, 2003).

BIOMASS BALE BURNING

Straw-fired boiler technology has been proven as an attractive method of disposing of agricultural residues (Dedovic et al., 2012). The process of straw bale burning, which is placed in a thermal chamber of boiler, has following pattern: straw bale loading, straw bale drying and heating, straw bale burning with the release of volatile substances, afterburning of residues, removal of slags (Pochanin, 2007). There are two main types of bale boilers: batch-fired straw boilers in which the entire bale is loaded into the furnace and cigar-type boilers in which the bales continuously enter the burning chamber. The combustion chamber of bale boilers may either be cylindrical or cubic in shape (Kristensen & Kristensen, 2004). Each time the furnace door of batch-fired straw boiler is opened and a new bale is fed into the furnace the temperature and CO emission peaks are occurred. This makes cigar firing organization much more suitable, since it preserves the continuity of the combustion process, in contrast there are no sudden changes of temperature and harmful products emissions in cigar-type boilers (Mladenović et al., 2009). Also, combustion biomasses can cause different problems such as: slagging; premature corrosion

of the furnace metallic components; the high level of alkalis in crop residues may lead to aerosol formation, resulting in ash melting temperature drop, fouling and emission issues (Morissette et al., 2013).

During straw burning, the furnace temperature can reach about 700°C and more (Lu et al., 2009). Straw moisture content must be limited to below 25% to prevent excessive CO emission without compromising the burning equipment (Yang et al., 2007). The proximate composition of flax straw is presented in **Table 3** (Okolie et al., 2020; Tushar et al., 2012). According to the straw moisture content of 16% and the bale bulk density of 135 kg/m³, the straw consumption in boiler is reached about 26.3 t/h and boiler efficiency is reached about 92% (Yang et al., 2007).

Table 3 – Proximate analysis of flax straw (Okolie et al., 2020; Tushar et al., 2012)

Component	Value
Moisture, wt%	8.4–9.3
Ash, wt%	2.6–2.9
Volatile matter, wt%	78.8–83.3
Fixed carbon, wt%	4.8–18.3
Carbon, wt%	47.78–49.10
Hydrogen, wt%	5.37–6.10
Nitrogen, wt%	0.84–1.30
Sulfur, wt%	0.12–0.21
Oxygen, wt%	40.50–43.22
Sodium, mg/kg	133
Potassium, mg/kg	5147
Chlorine, mg/kg	588
Higher heating value HHV, MJ/kg	20.04

CONCLUSIONS

Under unfavorable conditions for flax growing, harvesting and dew-retting, the low-quality flax biomass can be obtained. It is impractical to process low-quality flax biomass for fiber, so farmers continue to face the problem of its utilization. As a rule, farmers burn it on the field or use it as fertilizer by plowing into the soil. Burning biomass in the field causes significant

damage to the environment. Flax biomass, containing fiber, slowly decomposes in the soil, therefore it complicates the cultivation operations. After threshing the seeds, low-quality flax biomass should be dried in natural way on the field and formed into bales, which can be used as solid fuel for heating greenhouses or buildings located near the field where the flax is grown. The boiler for burning flax straw bales must be chosen taking into account the shape and size of the bales. For the efficient operation of boilers, it is necessary to take into account the recommended values of bale bulk density and moisture content of flax biomass.

REFERENCES

- Afzalnia, S. (2005). *Modeling and validation of the baling process in the compression chamber of a large square baler* [Thesis of the Degree of Doctor of philosophy]. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
- Anthony, W. S. (2005). Development of machines to separate fiber and shive from seed flax straw. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(6), 1057-1063. <https://doi.org/10.13031/2013.20022>
- Asokan, M. A., Prabu, S. S., Prathiba, S., Akhil, V. S., Abishai, L. D., & Surejilal, M. E. (2021). Emission and performance behaviour of flax seed oil biodiesel/diesel blends in DI diesel engine. *Materials Today: Proceedings*, 46, 8148-8152. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.108>
- Bar, M., Grégoire, M., Khan, S. U., De Luycker, E., & Ouagne, P. (2022). Studies on classically harvested linseed flax fibers for bio-composite reinforcement and textile applications. *Journal of Natural Fibers*. (in press). <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.2024934>
- Bourmaud, A., Gibaud, M., & Baley, C. (2016). Impact of the seeding rate on flax stem stability and the mechanical properties of elementary fibres. *Industrial Crops and Products*, 80, 17-25. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.10.053>
- Casa, R., Russell, G., Lo Cascio, B., & Rossini, F. (1999). Environmental effects on linseed (*Linum usitatissimum* L.) yield and growth of flax at different stand densities. *European Journal of Agronomy*, 11(3-4), 267-278. [https://doi.org/10.1016/s1161-0301\(99\)00037-4](https://doi.org/10.1016/s1161-0301(99)00037-4)
- Chakraborty, S., Aggarwal, V., Mukherjee, D., & Andras, K. (2012). Biomass to biofuel: a review on production technology. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 7, S254-S262. <https://doi.org/10.1002/apj.1642>
- Chaturvedi, V., & Verma, P. (2013). An overview of key pretreatment processes employed for bioconversion of lignocellulosic biomass into biofuels and value added products. *3 Biotech*, 3, 415-431. <https://doi.org/10.1007/s13205-013-0167-8>
- Chen, S., Zhao, Y., Tang, Z., Ding, H., Su, Z., & Ding, Z. (2022). Structural model of straw briquetting machine with vertical ring die and optimization of briquetting performance. *Agriculture*, 12, 736. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050736>
- Chen, Y., Tessier, S., Cavers, C., Xu, X., & Monero, F. (2005). A survey of crop residue burning practices in Manitoba. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(3), 317-323. <https://doi.org/10.13031/2013.18446>
- Dedovic, N., Igetic, S., Janic, T., Matic-Kekic, S., Ponjican, O., Tomic, M., & Savin, L. (2012). Efficiency of small scale manually fed boilers – mathematical models. *Energies*, 5(5), 1470-1489. <https://doi.org/10.3390/en5051470>
- Demura, T., & Ye, Z.-H. (2010). Regulation of plant biomass production. *Current Opinion in Plant Biology*, 13(3), 298-303. <http://doi.org/10.1016/j.pbi.2010.03.002>
- Descôteaux, S., & Savoie, P. (2003). Development and evaluation of a dryer for big square hay bales. In *CSAE/SCGR 2003 Meeting* (pp. 03-212). Montréal, Québec, Canada.
- Dmitrevskaya, I. I., Stepanova, D. S., Belopukhov, S. L., & Mazirov, M. A. (2016). Yield of fiber flax in long-term field experiment. *Zemledelie*, 7, 42-44. (in Russian)
- Dudarev, I. (2020). A review of fibre flax harvesting: conditions, technologies, processes and machines. *Journal of Natural Fibers* (in press). <http://doi.org/10.1080/15440478.2020.1863296>
- Flax straw and fibre past and present uses. Chapter 12. (n.d.). In J. C. P. Dribnenki (ed.), 5th ed., *Growing Flax. Production, Management & Diagnostic Guide*. Flax Council of Canada (pp. 54-61), Winnipeg Manitoba, Canada.
- Gibaud, M., Bourmaud, A., & Baley, C. (2015). Understanding the lodging stability of green flax stems; The importance of morphology and fibre stiffness. *Biosystems Engineering*, 137, 9-21. <http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.06.005>
- Gomez, L. D., Steele-King, C. G., & McQueen-Mason, S. J. (2008). Sustainable liquid biofuels from biomass: the writing's on the walls. *New Phytologist*, 178, 473-485. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02422.x>
- González-García, S., Luo, L., Moreira, M. T., Feijoo, G., & Huppes, G. (2009). Life cycle assessment of flax shives derived second generation ethanol fueled automobiles in Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 1922-1933. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2009.02.003>
- GOST 24383-89. (1990). Retted stalks. Requirements for State Purchases (*ГОСТ 28285-89. (1990). Треста льняная. Требования при заготовках. Издательство стандартов*). (in Russian)
- GOST 28285-89. (1990). Flax straw. Requirements for State Purchases (*ГОСТ 28285-89. (1990). Солома*

- льняная. Требования при заготовках. Издательство стандартов). (in Russian)
- Goudenhoof, C., Alméras, T., Bourmaud, A., & Baley, C. (2019). The remarkable slenderness of flax plant and pertinent factors affecting its mechanical stability. *Biosystems Engineering*, 178, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018>
- Grégoire, M., Bar, M., De Luycker, E., Musio, S., Amaducci, S., Gabrion, X., Placet, V., & Ouagne, P. (2021). Comparing flax and hemp fibres yield and mechanical properties after scutching/hackling processing. *Industrial Crops and Products*, 172, 114045. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114045>
- Guerrieri, A. S., Anifantis, A. S., Santoro, F., & Pascuzzi, S. (2019). Study of a large square baler with innovative technological systems that optimize the baling effectiveness. *Agriculture*, 9(5), 86. <https://doi.org/10.3390/agriculture9050086>
- Harry, I., Ibrahim, H., Thring, R., & Idem, R. (2014). Catalytic subcritical water liquefaction of flax straw for high yield of furfural. *Biomass and Bioenergy*, 71, 381-393. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.09.017>
- Heard, J., Cavers, C., & Adrian, G. (2006). Up in smoke – nutrient loss with straw burning. *Better Crops*, 90, 10-11.
- Heller, K., Sheng, Q. C., Guan, F., Alexopoulou, E., Hua, L. S., Wu, G. W., Jankauskiene, Z., & Fu, W. Y. (2015). A comparative study between Europe and China in crop management of two types of flax: linseed and fibre flax. *Industrial Crops and Products*, 68, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.07.010>
- Henry, R. J. (2010). Evaluation of plant biomass resources available for replacement of fossil oil. *Plant Biotechnology Journal*, 8(3), 288-293. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2009.00482.x>
- Holovenko, T., Kozel, V., Shovkomud, O., Puts, V., & Nazarchuk, L. (2019). Innovative methodology and software for quality control of new bast raw material with oilseed flax. *Fibres and Textiles*, 2, 18-24.
- Hunt, D. (2001). *Farm power and machinery management* (10th ed.). Ames, Iowa, the USA. Iowa State University Press.
- Ioelovich, M. (2015). Recent findings and the energetic potential of plant biomass as a renewable source of biofuels – a review. *BioResources*, 10(1), 1879-1914.
- Kaliyan, N., & Vance Morey, R. (2009). Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33(3), 337-359. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.005>
- Kerckhoffs, H., & Renquist, R. (2013). Biofuel from plant biomass. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0114-9>
- Khan, S. U., Labonne, L., Ouagne, P., & Evon, P. (2021). Continuous mechanical extraction of fibres from linseed flax straw for subsequent geotextile applications. *Coatings*, 11(7), 852. <https://doi.org/10.3390/coatings11070852>
- Komlajeva, L., & Adamovics, A. (2012). Evaluation of flax (*Linum usitatissimum* L.) quality parameters for bioenergy production. *Engineering for Rural Development*, 11, 490-495.
- Kristensen, E. F., & Kristensen, J. K. (2004). Development and test of small-scale batch-fired straw boilers in Denmark. *Biomass and Bioenergy*, 26(6), 561-569. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.09.006>
- Kymalainen, H., Koivula, M., Kuisma, R., Sjoberg, A.-M., & Pehkonen, A. (2004). Technologically indicative properties of straw fractions of flax, linseed (*Linum usitatissimum* L.) and fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). *Bioresource Technology*, 94(1), 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.11.027>
- Lafond, G. P., Irvine, B., Johnston, A. M., May, W. E., McAndrew, D. W., Shirliffe, S. J., & Stevenson, F. C. (2008). Impact of agronomic factors on seed yield formation and quality in flax. *Canadian Journal of Plant Science*, 88, 485-500.
- Lu, H., Zhu, L., & Zhu, N. (2009). Polycyclic aromatic hydrocarbon emission from straw burning and the influence of combustion parameters. *Atmospheric Environment*, 43(4), 978-983. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.10.022>
- Lugovoy, Y., Chalov, K., Kosivtsov, Y., Sidorov, A., & Sulman, M. G. (2021). Slow pyrolysis of flax production waste. *Chemical Engineering Transactions*, 88, 331-336. <https://doi.org/10.3303/CET2188055>
- Mladenović, R., Dakić, D., Erić, A., Mladenović, M., Paprika, M., & Repić, B. (2009). The boiler concept for combustion of large soya straw bales. *Energy*, 34(5), 715-723. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.02.003>
- Mohabeer, C., Reyes, L., Abdelouahed, L., Marcotte, S., Buvat, J.-C., Tidahy, L., Abi-Aad, E., & Taouk, B. (2019). Production of liquid bio-fuel from catalytic de-oxygenation: Pyrolysis of beech wood and flax shives. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 47(2), 153-166. [https://doi.org/10.1016/s1872-5813\(19\)30008-8](https://doi.org/10.1016/s1872-5813(19)30008-8)
- Morissette, R., Savoie, P., & Villeneuve, J. (2013). Corn stover and wheat straw combustion in a 176-kw boiler adapted for round bales. *Energies*, 6(11), 5760-5774. <https://doi.org/10.3390/en6115760>
- Mukhambet, Y., Shah, D., Tatkeyeva, G., & Sarbassov, Y. (2022). Slow pyrolysis of flax straw biomass produced in Kazakhstan: Characterization of enhanced tar and high-quality biochar. *Fuel*, 324(B), 124676. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124676>

- 124676
- Nag, S., Mitra, J., & Karmakar, P. G. (2015). An overview on flax (*Linum usitatissimum* L.) and its genetic diversity. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 8(4), 805-817. <https://doi.org/10.5958/2230-732X.2015.00089.3>
- Naik, S., Goud, V. V., Rout, P. K., Jacobson, K., & Dalai, A. K. (2010). Characterization of Canadian biomass for alternative renewable biofuel. *Renewable Energy*, 35(8), 1624-1631. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.08.033>
- Ning, P., Yang, G., Hu, L., Sun, J., Shi, L., Zhou, Y., Wang, Z., & Yang, J. (2021). Recent advances in the valorization of plant biomass. *Biotechnology for Biofuels*, 14, 102. <https://doi.org/10.1186/s13068-021-01949-3>
- Okolie, J. A., Nanda, S., Dalai, A. K., & Kozinski, J. A. (2020). Hydrothermal gasification of soybean straw and flax straw for hydrogen-rich syngas production: Experimental and thermodynamic modeling. *Energy Conversion and Management*, 208, 112545. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112545>
- Omer, T. A., Amal, M. A. El-Borhamy, & Maysa, S. Abd. El-Sadek. (2020). Effect of harvesting dates and seeding rates on yield and yield components of some flax varieties. *Journal of Plant Production*, 11(12), 1501-1505. <https://doi.org/10.21608/jpp.2021.55272.1012>
- Pari, L., Baraniecki, P., Kaniewski, R., & Scarfone, A. (2015). Harvesting strategies of bast fiber crops in Europe and in China. *Industrial Crops and Products*, 68, 90-96. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.010>
- Pavlov, S. B. (2020). Improving the efficiency of the flax complex in Novgorod region. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 613, 012104. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012104>
- Pisupati, A., Willaert, L., Goethals, F., Uyttendaele, W., & Park, C. H. (2021). Variety and growing condition effect on the yield and tensile strength of flax fibers. *Industrial Crops and Products*, 170, 113736. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113736>
- Pochanin, Y. (2007). Selection of optimal patterns of straw burning in heating plants (*Выбор рациональных схем сжигания соломы в тепловых установках*). In *Sakharov Readings 2007: Environmental Problems of the XXI Century* (pp. 274-275). (in Russian)
- Rentsen, B. (2010). *Characterization of flax shives and factors affecting the quality of fuel pellets from flax shives* [Thesis of the Degree of Master of Science]. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
- Román, F. D., & Hensel, O. (2014). Numerical simulations and experimental measurements on the distribution of air and drying of round hay bales. *Biosystems Engineering*, 122, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.03.008>
- Rudik, Al. L. (2016). Agrotechnology aspects to the assessment of oil flax growing of double use. *Ekologiya & Stroitelstvo*, 3, 15-22. (in Russian)
- Sankari, H. S. (2000). Linseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars and breeding lines as stem biomass producers. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 184(4), 225-231. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2000.00375.x>
- Shinners, K. J., Barnett, N. G., & Schlessner, W. M. (2000). Measuring mass-flow-rate and moisture on a large square baler. In *2000 ASAE Annual International Meeting* (pp. 001037). Milwaukee, WI.
- Shinners, K. J., Straub, R. J., Huhnke, R. L., & Undersander, D. J. (1996). Harvest and storage losses associated with mid-size rectangular bales. *Applied Engineering in Agriculture*, 12(2), 167-173. <https://doi.org/10.13031/2013.25636>
- Sun, Y., Buescher, W., Lin, J., Schulze Lammers, P., Ross, F., Maack, C., Cheng, Q., & Sun, W. (2010). An improved penetrometer technique for determining bale density. *Biosystems Engineering*, 105(2), 273-277. <https://doi.org/10.1016/j.biosys.2009.09.020>
- Tushar, M. S. H. K., Mahinpey, N., Khan, A., Ibrahim, H., Kumar, P., & Idem, R. (2012). Production, characterization and reactivity studies of chars produced by the isothermal pyrolysis of flax straw. *Biomass and Bioenergy*, 37, 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.12.027>
- Tushar, M. S. H. K., Mahinpey, N., Murugan, P., & Mani, T. (2010). Analysis of gaseous and liquid products from pressurized pyrolysis of flax straw in a fixed bed reactor. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 49(10), 4627-4632. <https://doi.org/10.1021/ie902036v>
- Vahdanjoo, M., Nørreemark, M., & Sørensen, C. G. (2021). A system for optimizing the process of straw bale retrieval. *Sustainability*, 13(14), 7722. <https://doi.org/10.3390/su13147722>
- Vinogradov, D. V., Polyakov, A. V., & Kuntsevich, A. A. (2012). Influence of technology of growing on yield and oil chemical composition of linseed in Non-chernozem zone of Russia. *Journal of Agricultural Sciences*, 57(3), 135-142. <https://doi.org/10.2298/JAS1203135V>
- Yaheliuk, S., Didukh, V., Busnyuk, V., Boyko, G., & Shubalyi, O. (2020). Optimization on efficient combustion process of small-sized fuel rolls made of oleaginous flax residues. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 62(3), 361-368. <https://doi.org/10.35633/inmateh-62-38>
- Yang, Y. B., Newman, R., Sharifi, V., Swithenbank, J., & Ariss, J. (2007). Mathematical modelling of straw combustion in a 38MWe power plant furnace and effect of operating conditions. *Fuel*, 86(1-2),

- 129-142. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.06.023>
- Zajac, T., Oleksy, A., Klimek-Kopyra, A., & Kulig, B. (2012). Biological determinants of plant and crop productivity of flax (*Linum usitatissimum* L.). *Acta Agrobotanica*, 65(4), 3-14. <https://doi.org/10.5586/aa.2012.016>
- Zatta, A., Vecchi, S., Gobbo, R., & Monti, A. (2010). Complementary use of long and short hemp fibres and shives for textile and second generation biofuels. In *18th European Biomass Conference and Exhibition* (pp. 427-428), 3-7 May 2010, Lyon, France.
- Zhang, Q., Gao, Y., Yan, B., Cui, Z., Wu, B., Yang, K., & Ma, J. (2020). Perspective on oil flax yield and dry biomass with reduced nitrogen supply. *Oil Crop Science*, 5(2), 42-46. <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2020.04.004>
- Zhang, Z.-S., Wang, L.-J., Li, D., Li, S.-J., & Özkan, N. (2011). Characteristics of flaxseed oil from two different flax plants. *International Journal of Food Properties*, 14(6), 1286-1296. <https://doi.org/10.1080/10942911003650296>
- Zhao, X., Zhang, J., Song, Z., Liu, H., Li, L., & Ma, C. (2011). Microwave pyrolysis of straw bale and energy balance analysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 92(1), 43-49. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.04.004>
- Zuk, M., Richter, D., Matuła, J., & Szopa, J. (2015). Linseed, the multipurpose plant. *Industrial Crops and Products*, 75, Part B, 165-177. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.005>

**DESIGN REASONING OF OILSEED FLAX WINDROW PICKER
FOR TWO-PHASE HARVESTING****D. Albota, M. Bodak, V. Didukh****Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine*

AGRICULTURAL MACHINES

**AM
CM**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

Climate change has affected the entire territory of Ukraine, which requires new approaches in the formation of crop rotations in the regions. Natural conditions of Western Polissya are ideal for growing oilseed flax to obtain different types of raw materials: seeds, fibers. The quality of the oilseed flax harvesting largely depends on the condition of the stem, fiber content, the purpose of raw materials. It is also important to take into account the perspective of the production of organic products, and for this a special approach is required. It is established that the process of cutting oilseed flax stalks is influenced by the ripeness phase. Therefore, it is necessary to provide different options for the use of machines, taking into account the state of the stem during the harvesting period. It is also important to consider the prospects of organic production. This requires a special approach too. Two-phase harvesting involves cutting the flax stem into windrows. After the stem mass has ripened, it is threshed with a combine harvester, which leads to crop losses. If for flax threshing use windrow picker of special design, it allows us to minimize the seed loss and collect stem mass. The main elements of the picker, its working regimes are substantiated. In particular, for maximum destruction of flax seed capsules and reduction of stem elastic properties, the decorticator roller parameters are obtained. The technic of determining the diameter of decorticator rollers, their length and the required number is proposed. The required profile of decorticator rollers and their order of installation in the decorticator are also determined. For the oilseed flax stems with a moisture content of 10–14%, three pairs of rollers are sufficient for the maximum reduction of elastic properties. The result analysis of the conducted research indicates that the proposed decorticator, which contains six pairs of rollers, will ensure the required quality of oilseed flax windrow processing with a stem moisture content of 12–14%. In addition, for measuring the moisture content of oilseed flax stalks in the field, the device is developed.

Key words:

two-phase flax harvesting,
oilseed flax,
mower,
flax windrow picker,
combine harvester

Article history:

Received 27.07.2022

Accepted 25.08.2022

***Corresponding author:**

Didukh_V@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi48.780**To cite this article:**

Albota, D., Bodak, M., & Didukh, V. (2022). Design reasoning of oilseed flax windrow picker for two-phase harvesting. *Agricultural Machines*, 48, 30-37. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.780>

УДК 631.354.2:633.854.54

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПІДБИРАЧА ВАЛКІВ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО
ДЛЯ РОЗДІЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ****Д.С. Альбота, М.В. Бодак, В.Ф. Дідух****Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна***АНОТАЦІЯ**

Зміни клімату торкнулися всієї території України, що потребує нових підходів у формуванні сівозмін у регіонах. Природно-кліматичні умови Західного Полісся ідеальні для вирощування льону для отримання різних видів сировини: насіння, волокна. Якість технологічного процесу збирання льону олійного значною мірою залежить від стану стеблостою, вмісту волокна та призначення сировини. Важливо також урахувати перспективу виробництва органічної продукції, а це потребує особливого підходу. На процес зрізування стебел льону олійного впливає фаза його стиглості, тому необхідно передбачити різні варіанти застосування технічних засобів із урахуванням стану стеблостою льону у період збирання. Запропоновано використовувати роздільну технологію збирання льону олійного у фазі повної стиглості для отримання органічної продукції. Ця технологія передбачає зрізування стеблостою льону у валки. Зазвичай, після дозрівання стеблової маси у валках, проводиться її обмолочування зернозбиральним комбайном, що призводить до втрат урожаю. Якщо застосовувати підбирач валків льону, то це дозволить мінімізувати втрати насіння та зібрати стебло-волокнисту масу. У статті обґрунтовані основні складові вузли підбирача валків та умови його роботи для обмолочування насінневих коробочок і збирання стебло-волокнистої маси, як сировини для виготовлення продукції різного функціонального призначення. Зокрема, встановлені параметри вальців декортикатора для максимального руйнування насінневих коробочок та зменшення пружних властивості стебел. Запропоновано методикку визначення діаметру вальців, їх довжини та необхідної кількості. Також визначено необхідний профіль рифлів для вальців та їхню черговість встановлення у декортикаторі. Крім того, розроблено прилад для вимірювання вологості стебел льону в польових умовах.

Ключові слова:

роздільна технологія збирання
льону,
льон олійний,
косарка,
підбирач валків,
зернозбиральний комбайн

Історія публікації:

Отримано 27.07.2022

Затверджено 25.08.2022

***Автор для листування:**

Didukh_V@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi48.780

Цитувати цю статтю:

Альбота, Д. С., Бодак, М. В., & Дідух, В. Ф. (2022). Обґрунтування конструкції підбирача валків льону олійного для роздільної технології. *Сільськогосподарські машини*, 48, 30-37. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.780>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Відновлення посівів льону на теренах України вирішує низку проблем, які виникли в результаті споживацького використання природних ресурсів в останні десятиліття (Балуок та ін., 2018; Гаврилюк та ін., 2021). Збільшення у сівозмінах лише сільськогосподарських культур зернової групи може призвести до подальшої деградації ґрунтів. Серед багатьох заходів, які необхідно проводити на окремих територіях України, рекомендується введення у сівозміни льону олійного, що сприятиме стабілізації біо-екологічних функцій родючого шару ґрунту. Крім того, переваги вирощування льону олійного полягають у високому експортному потенціалі та рентабельності, можливості більш повного використання агроекономічного потенціалу територій із урахуванням регіональних особливостей зональних систем землеробства і зростання ризиків вирощування обмеженої кількості сільськогосподарських культур (Рудік, 2020).

Незважаючи на приналежність льону олійного до технічних культур, технологія його вирощування аналогічна технологіям вирощування більшості сільськогосподарських культур зернової групи. Тому більшість технічного забезпечення для вирощування та збирання цих культур є однаковим. Як правило, виробництво продукції з льону олійного, незважаючи на його особливості, не буває збитковим. У цій культурі природою закладено потужний сировинний потенціал у вигляді як насіння, так і стебло-волокнистої маси (Yaheliuk et al., 2020; Папроцький, 2021). Наявність волокна у стеблах дещо гальмує поширення посівів льону олійного, оскільки виникають проблеми під час його збирання. Пов'язані вони із прямим комбайнуванням і подальшою утилізацією залишків обмолоту. Їх спалюють або подрібнюють із подальшим зароблянням у ґрунт, що є недопустимим з екологічної точки зору.

Один з напрямів підвищення ефективності збирання льону олійного – це вибір раціональної технології залежно від напрямку подальшого використання сировини (насіння і стебло-волокнистої маси) (Тараймович, 2015; Ягелюк & Дідух, 2020). Тому розроблення технічного забезпечення для збирання льону олійного має відбуватися у напрямі зниження

енерговитрат на проведення технологічного процесу без втрат урожаю.

Висока ефективність процесу збирання льону олійного прямим комбайнуванням досягається збереженням ширини захвату жатної частини зернозбирального комбайна (Дідух та ін., 2019b; Шувар, 2012). Але, під час вирощування органічної продукції з льону олійного, недоцільно використовувати пряме комбайнування. Оскільки у цьому випадку необхідно застосовувати роздільну технологію збирання льону, що передбачає зрізування стеблостою роторною косаркою та вкладання його у валки. Необхідно зазначити, що ефективність процесу підбирання валків зернозбиральним комбайном буде низькою при формуванні валка з стеблостою шириною 1,25–1,35 м. Тому для роздільної технології краще використовувати спеціальний підбирач (Дідух та ін., 2022) із наданням йому необхідних функцій.

Мета дослідження – дослідити вплив властивостей стеблостою льону олійного на процес збирання за роздільною технологією та обґрунтувати основні вузли підбирача валків.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

У дослідженнях використовували власні методики, які відображають процеси формування і підбирання валка, захоплення його пальцями, проминання стеблової маси вальцями при обмеженій ширині подачі. Експериментальні дослідження з проминання стебел проводили на розробленій дослідній установці, що складається з пари м'ялих вальців. У польових умовах вологість стебел льону олійного визначали за допомогою спеціально розробленого приладу.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Один із напрямів зниження енерговитрат на вирощування льону олійного та підвищення ефективності процесу збирання – урахування фізико-механічних властивостей стеблостою під час вибору способу збирання (Дідух та ін., 2019a). Перспективною для виробництва органічної продукції з льону олійного є роздільна технологія збирання, яка передбачає зрізування стеблостою роторною косаркою та формування здвоєних валків із стебловолокнистої маси, що мають переріз 0,8×0,2 м

(рис. 1). Здвоєння валків сприяє підвищенню ефективності роботи збирального агрегату, але при цьому можлива втрата насіння, адже вплив пальців підбирача на стеблову масу буде відрізнятись при захопленні її з боку насінневих коробочок та з боку кореневої частини. Для зменшення втрат насіння захоплення стебел має відбуватися з боку насінневих коробочок льону олійного. Це сприятиме подальшому ефективному руйнуванню коробочок льону шляхом їх плющення та зменшенню пружних властивостей стебел перед скручуванням стебло-волокнистої маси у рулони.



Рис. 1 – Здвоєння валків льону олійного при зрізуванні роторною косаркою із ширини стеблостою 2,5–2,7 м

У процесі вилежування стебел льону олійного на льонищі у валках відбувається зміна їх фізико-механічних властивостей: нерівномірно зменшується вологість за висотою валка, валок ущільнюється. Ці зміни пояснюються тим, що через розгалуженість стебла льону з'єднуються між собою і валок не обертають. Тому фізико-механічні властивості стебел льону необхідно враховувати під час розроблення робочих органів технічних засобів для підбирання валків льону олійного, які б забезпечували збереження нерозривності потоку стеблової маси (Дідух та ін., 2019а; Дідух та ін., 2019b).

У розробленому приладі для визначення вологості стебел (рис. 2) реалізовано спосіб визначення вологості шляхом вимірювання опору проходженню струму через матеріали (Ксенжук та ін., 2010; Ягелюк & Дідух, 2022). Прилад містить стандартний мегомметр та ізолюючу підставку з розміром 135×60 мм, на якій закріплено контактні пластини. Для вимірювання довжина стебел має бути 150 мм.

Для забезпечення точності отриманих результатів, по чергово вимірювали опір від одного до п'яти стебел, проводили оброблення

результатів і будували залежності їх опору від вологості (рис. 3). За допомогою приладу визначено опір проходженню струму у стеблах різних сільськогосподарських культур.

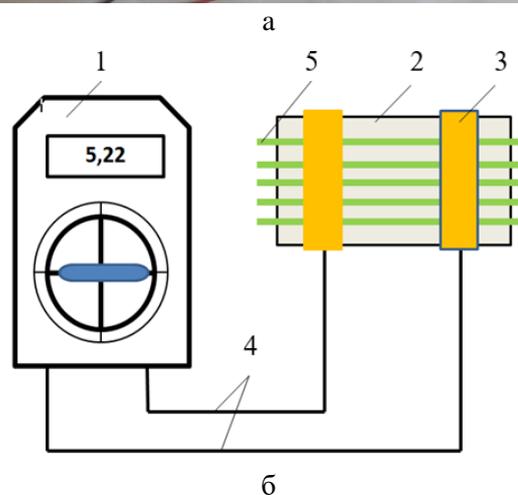


Рис. 2 – Прилад для вимірювання вологості стебел у польових умовах (а) та його схема (б):
1 – мегомметр; 2 – ізолююча підставка;
3 – контактна пластина; 4 – з'єднувальні дроти; 5 – стебла

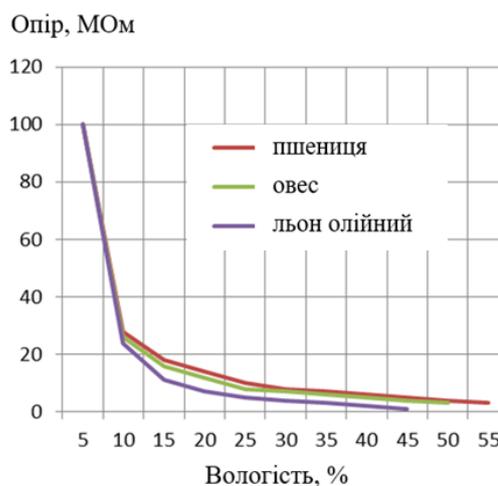


Рис. 3 – Залежність опору стебел сільськогосподарських культур від вологості

Аналіз графіків (рис. 3) показує, що опір проходженню струму залежить від складу та розміщення рідкої фази у стеблах сільськогосподарських культур. Особливо варто звернути увагу на стебла льону олійного, в яких мінімальний опір в 1 МОм відповідає вологості 45%. Разом із тим, для пшениці і вівса опір більший за вологості 55%. Отримана залежність дозволяє визначити вологість стебел льону олійного перед вкладанням у валки та під час їх підбирання за роздільної технології збирання.

Механізація процесу збирання льону олійного спрямована на збереження усього вирощеного урожаю насіння та створення умов для подальшого використання стебловій частини. Для підбирання валків льону, відокремлення насінневої складової урожаю та одночасного скручування стебло-волокнистої маси у рулони пропонується конструкція напівначипного підбирача (рис. 4), що містить раму з опорно-копіювальними колесами, подавальний транспортер, декортикатор, шнек,

камеру пресування та транспортер рулонів. Привод робочих органів підбирача валків забезпечують гідромотори, які працюють від гідросистеми трактора. Основними вузлами, які забезпечують якість виконання процесу підбирання валка з необмолочених стебел, є подавальний транспортер та декортикатор. Результати дослідження процесу піднімання валка із збереженням нерозривності потоку в лабораторних умовах представлено у науковій праці (Дідух & Альбота, 2021). Подальші дослідження цього механізму у польових умовах потребують відповідних площ під льон олійний та окремої лабораторної установки.

Декортикація стебло-волокнистої маси необхідна для забезпечення збирання всього біологічного урожаю льону олійного. Тому в підбирачі передбачено камеру пресування матеріалу у пакунки циліндричної форми. Для обґрунтування конструкції декортикатора, який забезпечує відокремлення насіння та зменшує пружні властивості стебел, було проведено низку досліджень.

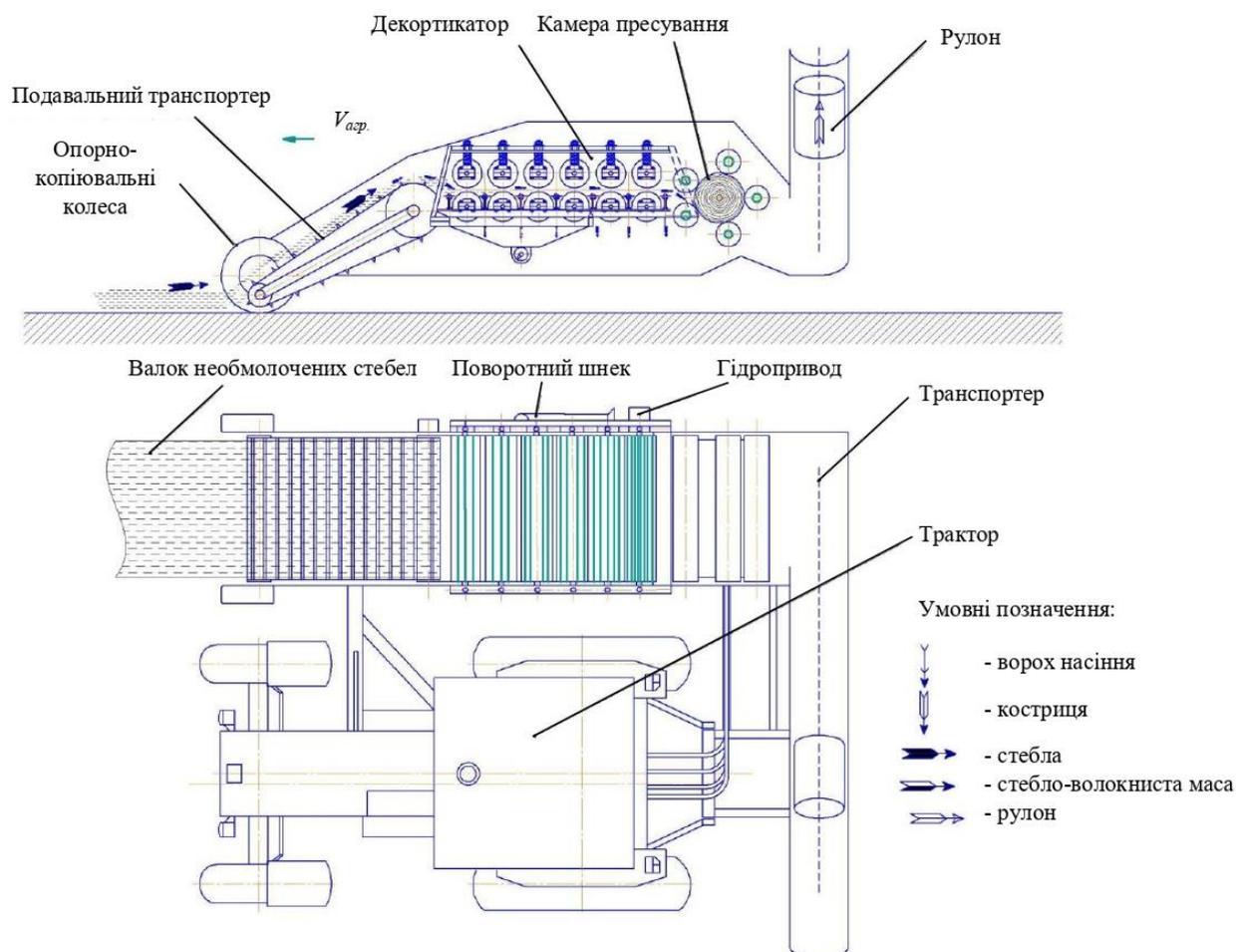
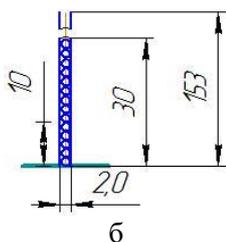


Рис. 4 – Функціональна схема підбирача валків льону олійного

У дослідженнях використана розроблена методика, яка моделює захоплення та проминання реального валка льону на полі. Експериментальні дослідження проводили на розробленій установці, що складається із пари вальців. В установці передбачено спеціальний обмежувач ширини подачі стебел на вальці із різними поверхнями (рис. 5). На гладких вальцях моделювали процеси захоплення і руйнування насінневих коробочок льону за різної висоти валка. Після відокремлення насіння, залишки стебло-волокнистої маси проминали на вальцях із рифлями.



а



б

Рис. 5 – Моделювання обмеження ширини валка на дослідній установці:

а – загальний вигляд; б – розміри обмежувача

Проведені дослідження дозволили встановити необхідну кількість та форму поверхні вальців для первинного оброблення валка льону олійного. Як показала практика, для виконання технологічних операцій відокремлення насіння та зменшення пружних властивостей стебло-волокнистої маси, поверхні вальців повинні мати різний профіль. Тоді, під час зазначених технологічних операцій, на стебла будуть діяти необхідні сили тертя, зсуву та удару як за довжиною декортикатора, так і за висотою шару. Для технологічної операції руйнування насінневих коробочок льону доцільно застосовувати гладкі циліндричні поверхні, а для зменшення пружних властивостей стебло-волокнистої

маси – циліндричні поверхні із рифлями. Цей підхід дозволяє мінімізувати попадання відходів у насіння льону, зберегти волокно та ущільнити потік стебло-волокнистої маси перед подачею у камеру пресування.

Експериментальні дослідження проводили у такій послідовності. Формували варіанти дослідних зразків, що містили одне, три та п'ять стебел. Ці зразки пропускали через вальці із фіксацією результатів відокремлення насіння і встановлення коефіцієнта пружності. Отримані результати (рис. 6) вказують, що стабілізація коефіцієнта пружності настає вже після третього проминання, а після четвертого проминання зменшення його значення є незначним.

Таким чином, для ефективного виконання технологічного процесу оброблення валка стебел льону олійного необхідно, щоб робочі поверхні перших двох пар вальців були гладкими. У цьому випадку максимально будуть зруйновані насінневі коробочки льону, а стебла залишаться цілими і костриця не буде попадати у бункер вороху насіння. Таку ж пару вальців необхідно встановити на виході із декортикатора для ущільнення шару.

Аналіз результатів досліджень показує, що для стебел льону олійного із вологістю 10–14% для максимального зменшення пружних властивостей достатньо три пари вальців. Збільшення кількості пар вальців може зумовити розрив потоку стебло-волокнистої маси. Залишкова пружність пучків без костриці вказує на наявність пружності самих волокон. Відтак, робочі поверхні останньої пари вальців також мають бути гладкими.

Важливим конструктивним параметром вальців є їх діаметр, оскільки висота валка, який подається на оброблення, може бути різною. Аналіз попередніх досліджень роботи м'яльно-тіпальних агрегатів показує, що у цьому випадку дія робочих органів розглядається як силовий вплив на одиничне стебло. Якщо розглядати силовий вплив на групу стебел за відсутності обмежень з боків, тоді важливим буде параметр – довжина вальців. У випадку наявності бокових обмежень виникає дія стискаючих сил у взаємно перпендикулярних і інших напрямках. Для підтвердження цього припущення були проведені досліди для можливої максимальної висоти валка (рис. 5). Для цього в обмежувач, що моделює висоту подачі валка 150 мм у

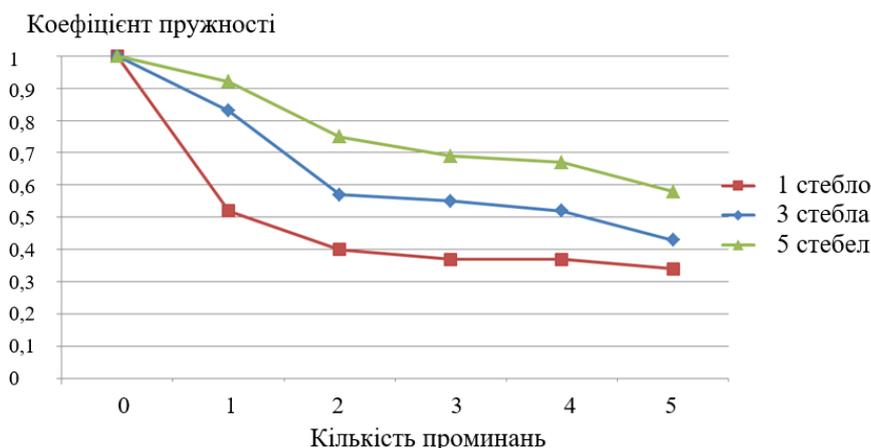


Рис. 6 – Залежність коефіцієнта пружності стебел льону олійного від кількості проминань

полі, розміщували стеблову частину урожаю. Результати серії дослідів вказують на те, що у випадку ширини робочої поверхні пари вальців 10 мм можна якісно пром'яти валок висотою 150 мм. Після першого приминання валок під дією вальців стискається до висоти 20 мм і розширюється до ширини 40 мм. При наступних проминаннях ширина пром'ятих стебел не змінювалася. Таким чином, на вході у декортикатор на етапі відокремлення насіння необхідно встановлювати бокові обмежувачі вальців. Із урахуванням ширини валка льону у польових умовах, що становить 0,8 м, ширина захоплення подавального транспортера має дорівнювати не менше 1,0 м. Діаметр вальців повинен бути не меншим за висоту валка.

Аналіз результатів проведених досліджень вказує на те, що запропонований декортикатор (рис. 4), який містить шість пар вальців, забезпечить необхідну якість оброблення валка льону з вологістю стебел 12–14%. Для цього поверхні першої пари циліндричних вальців повинні бути без рифлів, але шорсткими, що забезпечить якісне захоплення валка та руйнування основної маси насінневих коробочок. У другій парі вальців на робочих поверхнях необхідно передбачити заокруглені рифлі для руйнування насінневих коробочок у внутрішніх шарах валка льону і додаткового розпушення стебел перед проминанням. Для м'яття для трьох пар вальців важливо враховувати вертикальні зусилля, щоб не відбувалося розриву потоку оброблювального матеріалу. Ефективність оброблення валка залежить також від струшувачів шару для видалення насіння та костриці. Остання пара

гладких вальців необхідна для додаткового ущільнення обробленого валка льону.

ВИСНОВКИ

На основі запропонованих методик і за допомогою розробленого лабораторного устаткування проведені дослідження для обґрунтування конструкції основних вузлів підбирача валків льону олійного: подавального транспортера та декортикатора. Доведена необхідність врахування змін фізико-механічних властивостей стебло-волокнистої маси валка. Встановлені параметри вальців декортикатора для максимального руйнування насінневих коробочок та зменшення пружних властивостей стебел. Запропоновано методику визначення діаметру вальців, їх довжини та необхідної кількості. Також визначено необхідний профіль рифлів для вальців та їхню черговість встановлення у декортикаторі. Для реалізації проєктів в органічному землеробстві та ефективного застосування запропонованої роздільної технології збирання льону олійного необхідне спеціальне технічне забезпечення.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Yaheliuk, S., Didukh, V., Busnyuk, V., Boyko, G., & Shubalyi, O. (2020). Optimization on efficient combustion process of small-sized fuel rolls made of oleaginous flax residues. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 62(3), 361-368. <https://doi.org/10.35633/inmateh-62-38>
- Балюк, С. А., Трускавецький, Р. С., Мірошніченко, М. М., Гаврилюк, В. А., Зінчук, М. І., Соловей, В. Б., Кучер, А. В., Момот, Г. Ф., & Акімова, Р. В. (2018). *Ґрунтові ресурси Волинської області:*

- стан, резерви продуктивної здатності (аналітична записка) (*Soil resources of the Volyn region: state, reserves of productive capacity (analytical note)*). Харків: Стиль-Іздат.
- Гаврилук, В. А., Бортнік, А. М., & Бортнік, Т. П. (2021). Наукові основи управління продуктивними і екологічними функціями осушуваних та техногенно-деградованих ґрунтів Західного Полісся (*Scientific bases of management of productive and ecological functions of drained and technogenically degraded soils of Western Polissia*). Луцьк: ПП Іванюк В.П.
- Дідух, В. Ф., & Альбота, Д. С. (2021). Визначення коефіцієнта пружності стебел льону олійного (*Determination of the coefficient of elasticity of oil flax stems*). *Сільськогосподарські машини*, 46, 22-29. <https://doi.org/10.36910/acm.vi46.487>
- Дідух, В. Ф., Буснюк, В. В., & Бодак, М. В. (2022). Обґрунтування обладнання для збирання льону олійного зернозбиральним комбайном (*Justification of the equipment for harvesting oil flax with a combine harvester*). *Центрально-український науковий вісник. Технічні науки*, 5(36/1), 226-235.
- Дідух, В. Ф., Буснюк, В. В., Бойчук, Б. В., & Ягелюк, С. В. (2019а). Патент України 135725. Машина для формування паливних рулонів (*Machine for round fuel bale forming*). Київ: ДП «Український інститут інтелектуальної власності».
- Дідух, В. Ф., Тараймович, І. В., Онюх, Ю. М., & Буснюк, В. В. (2019б). Патент України 118379. Жатка для збирання льону олійного (*Reaper for oilseed flax harvesting*). Київ: ДП «Український інститут інтелектуальної власності».
- Ксенжек, О. С., Петрова, С.О., & Колодяжний, М. В. (2010). Опір листа однодольної рослини на постійному струмі (*Resistance of a leaf of a monocot plant to direct current*). *Вопросы химии и химической технологии*, 1, 179-183.
- Папроцький, Р. (2021). Особливості вирощування олійного льону (*Features of growing oil flax*). *Агроном*. Отримано 20 червня, 2022, з <https://www.agronom.com.ua/roman-paprotskij-d-yrektor-pp-lugove/>
- Рудік, Н. М. (2020). Економічний потенціал виробництва льону олійного в Україні (*Economic potential of linseed oil production in Ukraine*). *Агросвіт*, 2, 61-68. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2020.2.61>
- Тараймович, І. В. (2015). Можливості розширення асортименту продуктів харчування за рахунок місцевої олійної сировини (*Possibilities to expand the range of food from local oil-seeds*). *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, 1(3), 167-171.
- Шувар, А. М., & Войтович, Р. М. (2012). Оцінка способів збирання льону олійного (*Estimation of harvesting methods for oil flax*). *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*, 17, 149-153.
- Ягелюк, С. В., & Дідух, В. Ф. (2020). Концептуальна модель технологій переробки стебел льону (*A concept model of technologies for processing flax stems*). *Сільськогосподарські машини*, 44, 155-164. <https://doi.org/10.36910/agromash.vi44.300>
- Ягелюк, С. В., & Дідух, В. Ф. (2022). Електричний метод вимірювання вологості біомаси олійних луб'яних культур (*The electrical method for measuring the moisture content of the oilseed bast biomass*). *Товарознавчий вісник*, 1(15), 298-307. <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2022-15-26>

COMPARATIVE ASSESSMENT OF WOOD SAWING TRAJECTORIES WITH CIRCULAR SAWS**M. Vrzheshch, A. Herasymchuk*, L. Datsiuk***Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine*

AGRICULTURAL MACHINES

**ABSTRACT**

During the technological regime calculation of the wood processing, in particular the trunk crossing with circular disc saws, there is important to simplify the sawing trajectory and replace it with a fragment of a circular arc. The sawing and feeding movements, as well as the diameter of the saw, are among the factors that determine the shape of the flat curved line described by the tooth of the cutting tool. The mathematical description of the trajectory of sawing by a woodworking tool with a rotary motion is performed in many scientific works. However, some issues require further research. A comparative evaluation of the trajectories of sawing wood with circular saws during trunk crossing is performed in the article. The evaluation was carried out using the methodology for calculating the length of fragments of second-order plane curves, developed and implemented in the form of a computer program in the MathCad. The methodology is based on the principles of discreteness and approximation regarding the approximate determination of geometric parameters. The results of numerical experiments for six variants of transverse sawing technological regimes are presented and analyzed. Dependencies between the kinematic parameters of a wood-cutting tool with different number of teeth and the length of arcs of cutting trajectories were established. It is determined under which conditions it is possible to replace the arc of a curve of the second order of the general form with a corresponding fragment of the same curve of the canonical form, in particular circles and cycloids, which will allow rational design of the power of the drives of the cutting and feeding mechanisms of specialized woodworking equipment. A recommendation was submitted regarding the introduction of the proposed methodology to the educational process of forestry complex equipment specialties, in particular regarding the teaching of the discipline «Theory and construction of woodworking equipment».

Key words:

woodworking,
wood sawing kinematics,
wood sawing regime,
wood sawing trajectory,
crossing

Article history:

Received 29.07.2022

Accepted 25.08.2022

***Corresponding author:**

alexgop2017@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.782**To cite this article:**

Vrzheshch, M., Herasymchuk, A., & Datsiuk, L. (2022). Comparative assessment of wood sawing trajectories with circular saws. *Agricultural Machines*, 48, 38-45. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.782>

УДК 674.053:621.934

**ПОРІВНЯЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЙ РОЗПИЛЮВАННЯ
ДЕРЕВИНИ КРУГЛИМИ ПИЛКАМИ****М.В. Вржещ, О.П. Герасимчук*, Л.М. Дацюк***Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна*

AGRICULTURAL MACHINES

**АМ
СММ**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Під час розрахунку технологічних режимів процесів механічного оброблення деревини, зокрема кряжування стовбурів за допомогою круглих дискових пилок, виникає необхідність спрощення траєкторії розпилювання та її заміни на фрагмент дуги кола. Рухи розпилювання та подачі, а також діаметр пилки належать до факторів, що визначають форму плоскої кривої лінії, яку описує зубець різального інструменту. Математичний опис траєкторії розпилювання деревообробним інструментом з обертливим рухом виконано у багатьох наукових працях. Разом із тим, окремі питання потребують подальших досліджень. У статті виконане порівняльне оцінювання траєкторій розпилювання деревини круглими пилками під час кряжування стовбурів. Оцінювання відбувалося із використанням розробленої та реалізованої у вигляді комп'ютерної програми в середовищі MathCad методики розрахунку довжини фрагментів плоских кривих другого порядку. В основу методики покладено принципи дискретності та апроксимації щодо наближеного визначення геометричних параметрів. У статті представлені та проаналізовані результати числових експериментів для шести варіантів технологічних режимів поперечного розпилювання. Встановлено залежності між кінематичними параметрами дереворізального інструменту із різною кількістю зубців та довжиною дуг траєкторій розпилювання. Означено, за яких умов можлива заміна дуги кривої другого порядку загального виду на відповідний фрагмент тієї ж кривої канонічного виду, зокрема кола та циклоїди, що дозволить раціонально проектувати потужності приводів механізмів розпилювання та подачі спеціалізованого деревообробного устаткування. Подано рекомендації щодо впровадження запропонованої методики до освітнього процесу спеціальностей, які передбачають вивчення обладнання лісового комплексу.

Ключові слова:

оброблення деревини,
кінематика розпилювання
деревини,
режим розпилювання деревини,
траєкторія розпилювання
деревини,
кряжування

Історія публікації:

Отримано 29.07.2022

Затверджено 25.08.2022

***Автор для листування:**

alexgop2017@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.782

Цитувати цю статтю:

Вржещ, М. В., Герасимчук, О. П., & Дацюк, Л. М. (2022). Обґрунтування конструкції підбирача валків льону олійного для роздільної технології. *Сільськогосподарські машини*, 48, 38-45. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.782>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У практиці інженерних розрахунків режимів технологічних процесів механічного оброблення деревини, зокрема кряжування стовбурів за допомогою круглих дискових пилок, виникають питання щодо спрощення траєкторії розпилювання та заміни її на фрагмент дуги кола. Очевидно, що рухи розпилювання та подачі, а також діаметр пилки належать до факторів, що визначають форму плоскої кривої лінії, яку описує зубець різального інструменту. Однак, необхідно обґрунтувати за якої величини зазначених факторів та без великої похибки можна вважати ці наближення прийнятними. Адже, середня товщина стружки залежить від вибору траєкторії розпилювання та є аргументом функціональних залежностей для силових та енергетичних характеристик. Таким чином, побудова та реалізація методики розрахунку довжини траєкторії розпилювання круглими пилками є важливим завданням, вирішення якого дозволить раціонально використовувати потужності приводу механізмів розпилювання та подачі деревообробного устаткування.

Питання режимів технологічних процесів поперечного розпилювання за допомогою круглих дискових пилок висвітлені у наукових працях (Koch, 1964; Амаліцкій & Санев, 1992; Кірик, 2006; Шостак та ін., 2007; Шостак та ін., 2009). Математичний опис траєкторії розпилювання деревообробним інструментом з обертовим рухом виконано у наукових працях (Koch, 1964; Кірик, 2006). Інформація щодо параметрів круглих дискових пилок та їх технологічного застосування подається у державних стандартах ДСТУ 2233-93 (1993) та ДСТУ 2654-94 (1994).

У працях (Амаліцкій & Санев, 1992; Шостак та ін., 2007; Шостак та ін., 2009) здійснено огляд конструкцій деревообробного устаткування із круглими пилками для кряжування стовбурів. Проведений аналіз літературних джерел із досліджуваного питання підтверджує актуальність і важливість цієї проблематики.

Мета дослідження – розробити та реалізувати методику розрахунку довжини траєкторії розпилювання круглою дисковою пилкою за поперечного пиляння на основі використання положень та виразів аналітичної

геометрії на площині та дискретизації плоских кривих другого порядку за допомогою кусково-лінійних функцій.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Під час дослідження використано методи: математичного аналізу для порівняльного оцінювання траєкторій розпилювання та обертання у процесах пиляння круглими пилками; аналітичної геометрії на площині для апроксимації кривих другого порядку кусково-лінійними функціями; теоретичної механіки (кінематики) для опису поступального та обертального рухів твердого тіла.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Розглянемо кряжування стовбура радіусом r у поперечному перерізі за допомогою круглої дискової пилки радіусом R з кроком зубців t_z (рис. 1). Виберемо прямокутні системи координат: $x_1O_1y_1$ – із початком у центрі поперечного перерізу стовбура; $x_2O_2y_2$ – із початком у центрі круглої пилки. Нехай, дереворізальний інструмент обертається з кутовою швидкістю ω та здійснює рух подачі у вертикальному напрямку вздовж осі O_2y_2 зі швидкістю V_{O2} . Крім того, на розрахунковій схемі (рис. 1) прийняті позначення: K_0 – точка початкового контакту різального зубця пилки з деревиною; K_1 – точка, яка розташована на траєкторії розпилювання та яка відповідає одному повному оберту зубця пилки; ψ – центральний кут з вершиною у точці O_2' , який охоплює дугу траєкторії руху зубця пилки колом від точки $n-1$ (початок розпилювання) до точки m' (вихід зубця із пропилу); дуга між точками $n-1$ та m' є фрагментом траєкторії розпилювання із урахуванням руху подачі (крива другого порядку).

Отже, рівняння кола поперечного перерізу стовбура у системі координат $x_1O_1y_1$ набуде вигляду (1), а рівняння кола обертання круглої дискової пилки у системі координат $x_2O_2y_2$ набуде вигляду (2), тобто:

$$x_1^2 + y_1^2 = r^2, \quad (1)$$

$$x_2^2 + y_2^2 = R^2. \quad (2)$$

Для обертального руху різального інструменту у параметричній формі в системі координат $x_2O_2y_2$ можна записати:

$$x_2 = R \cdot \sin(\omega t), \quad (3)$$

$$y_2 = R \cdot \cos(\omega t), \quad (4)$$

де t – час, с.

Із урахуванням швидкості V_{O2} в системі координат $x_1O_1y_1$ одержимо параметричні рівняння траєкторії руху зубця пилки:

$$x_1 = R \cdot \sin(\omega t), \quad (5)$$

$$y_1 = R \cdot \cos(\omega t) + V_{O2}t - R - r. \quad (6)$$

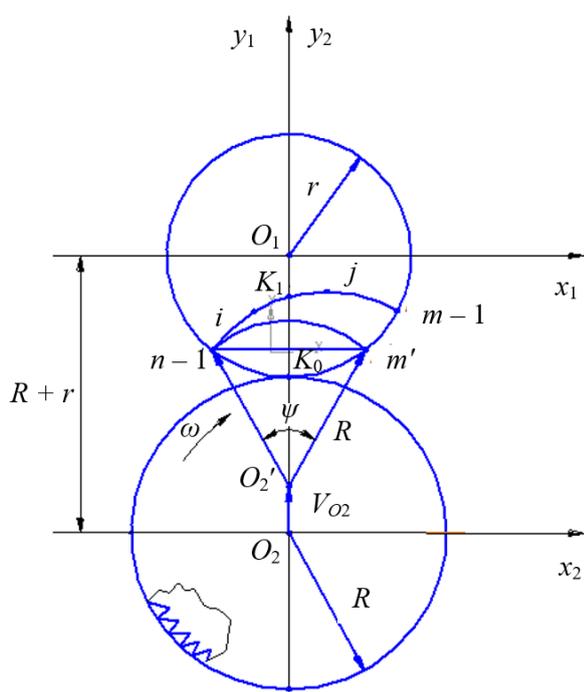


Рис. 1 – Розрахункова схема до визначення геометричних та кінематичних параметрів процесу кряжування стовбурів

Кутову швидкість обертання пилки можна визначити за залежністю:

$$\omega = V / R, \quad (7)$$

де V – лінійна колова швидкість обертання (швидкість розпилювання), м/с.

Тривалість першого повного оберту круглої пилки (на **рис. 1** – від точки K_0 до точки K_1) становить:

$$t_1 = 2\pi / \omega. \quad (8)$$

Координати точок, що розташовані зліва та справа від точки K_1 (**рис. 1**) на траєкторії

розпилювання, можна визначити дискретно, оскільки усі попередні та наступні фіксовані положення різального зубця пилки зміщені пропорційно до величини центрального кута ψ , який залежить від геометричних параметрів круглої пилки, а саме:

$$\psi = 2 \cdot \arcsin(t_z / 2R), \quad (9)$$

$$t_z = 2R \cdot \sin(\pi/z), \quad (10)$$

де z – кількість зубців круглої пилки, шт.

Для точок траєкторії розпилювання, що розташовані зліва від точки K_1 , матимемо:

$$x_1^{(i+1)} = R \cdot \sin(\omega t_{i+1}), \quad (11)$$

$$y_1^{(i+1)} = R \cdot \cos(\omega t_{i+1}) + V_{O2}t_{i+1} - R - r, \quad (12)$$

$$t_{i+1} = (2\pi - \psi \cdot i) / \omega, \quad (13)$$

де $i = 1, 2, \dots, n - 1$.

Для точок траєкторії розпилювання, що розташовані справа від точки K_1 , матимемо:

$$x_1^{(j+1)} = R \cdot \sin(\omega t_{j+1}), \quad (14)$$

$$y_1^{(j+1)} = R \cdot \cos(\omega t_{j+1}) + V_{O2}t_{j+1} - R - r, \quad (15)$$

$$t_{j+1} = (2\pi + \psi \cdot j) / \omega, \quad (16)$$

де $j = 1, 2, \dots, m - 1$.

Граничні величини параметрів n та m залежать від виконання умови, за якої зубець пилки розташовано в межах контуру поперечного перерізу стовбура, тобто:

$$[x_1^{(i+1)}]^2 + [y_1^{(i+1)}]^2 \leq r^2, \quad (17)$$

$$[x_1^{(j+1)}]^2 + [y_1^{(j+1)}]^2 \leq r^2. \quad (18)$$

Довжину лінійних відрізків між точками, що розташовані зліва від точки K_1 , можна визначити за залежністю (19), а справа від точки K_1 – за залежністю (20):

$$\chi_i = [(x_1^{(i+1)} - x_1^{(i)})^2 + (y_1^{(i+1)} - y_1^{(i)})^2]^{0.5}, \quad (19)$$

$$\lambda_j = [(x_1^{(j+1)} - x_1^{(j)})^2 + (y_1^{(j+1)} - y_1^{(j)})^2]^{0.5}, \quad (20)$$

де $i = 1, 2, \dots, n - 1; j = 1, 2, \dots, m - 1$.

Сумарна довжина зазначених лінійних відрізків, які апроксимують плоску криву

другого порядку між точками $n - 1$ та $m - 1$ (рис. 1), визначатиме наближено загальну довжину дуги траєкторії розпилювання:

$$L_T = \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i + \sum_{j=1}^{m-1} \lambda_j. \quad (21)$$

Якщо вважати, що рух подачі відсутній, починаючи від точки $n - 1$, то траєкторія розпилювання буде дугою кола з радіусом R , причому кінцем цієї дуги стане точка m' . Довжину хорди, що з'єднує зазначені точки, можна визначити за залежністю:

$$l = [(x_1^{(m')} - x_1^{(n-1)})^2 + (y_1^{(m')} - y_1^{(n-1)})^2]^{0,5}, \quad (22)$$

де $x_1^{(m')} = -x_1^{(n-1)}$; $y_1^{(m')} = y_1^{(n-1)}$.

За відомим значенням параметра l можна визначити величину центрального кута ψ , який

спирається на цю хорду, а також довжину дуги між точками $n - 1$ та m' , тобто:

$$\psi = 2 \cdot \arcsin(l/2R), \quad (23)$$

$$L_K = R \cdot \psi. \quad (24)$$

Методика розрахунку довжини траєкторій розпилювання під час кряжування стовбурів за допомогою круглопилкових торцювальних верстатів, що запропонована, реалізована у вигляді комп'ютерної програми в середовищі MathCad. Це дозволило для круглопилкових торцювальних верстатів виконати числове експериментування за заданих кінематичних режимів розпилювання, які подаються у таблиці 1. Результати проведених досліджень за розробленою методикою представлені в таблиці 2.

Таблиця 1 – Початкові дані до визначення довжини траєкторій розпилювання

Радіус стовбура, мм	Кругла дискова пила (ДСТУ 2233-93, 1993) (тип 2, виконання 1)		Кінематичні характеристики (Кірик, 2006)		
	Радіус, мм	Кількість зубців	Швидкість розпилювання, м/с	Швидкість подачі, м/с	
75	180	72; 96	30; 90	1; 2,5	

Таблиця 2 – Результати визначення довжини траєкторій розпилювання

Параметри	Варіанти					
	1	2	3	4	5	6
Кількість зубців пилки, шт	72	96	72	96	96	72
Швидкість розпилювання, м/с	30	90	30	90	30	90
Швидкість подачі, м/с	1,0	2,5	2,5	1,0	1,0	2,5
Період обертання пилки, с	0,038	0,013	0,038	0,013	0,038	0,013
Кут ψ , градуси	20,0	22,5	30,0	7,5	22,5	20,0
Довжина траєкторії L_T , мм	62,85	70,70	94,53	35,32	82,38	62,83
Довжина траєкторії L_K , мм	62,83	70,69	94,25	23,56	70,69	62,83
Абсолютне відхилення довжини траєкторії, мм	0,02	0,01	0,28	11,76	11,69	0,0
Відносне відхилення довжини траєкторії, %	0,03	0,01	0,3	33,3	14,2	0,0

Визначальними факторами, які впливають на довжину траєкторії розпилювання під час кряжування стовбурів за допомогою круглих дискових пилок, є швидкість розпилювання та швидкість подачі. Величина колової швидкості для цього типу дереворізального інструменту становить від 30 м/с до 90 м/с (рис. 2, а), а швидкості подачі досягає 150 м/хв (рис. 2, б) (Кірик, 2006).

Встановлено, що поєднання максимальної швидкості розпилювання, а також мінімальної

швидкості подачі забезпечує короткочасну взаємодію різального зубця пилки із деревиною, а це зумовлює найменшу довжину траєкторії розпилювання (у таблиці 2 – варіант 4, рис. 3, д). Натомість поєднання мінімальної швидкості розпилювання та максимальної швидкості подачі створює умову тривалої взаємодії різального зубця пилки із деревиною, а це зумовлює найбільшу довжину траєкторії розпилювання (у таблиці 2 – варіант 3, рис. 3, в).

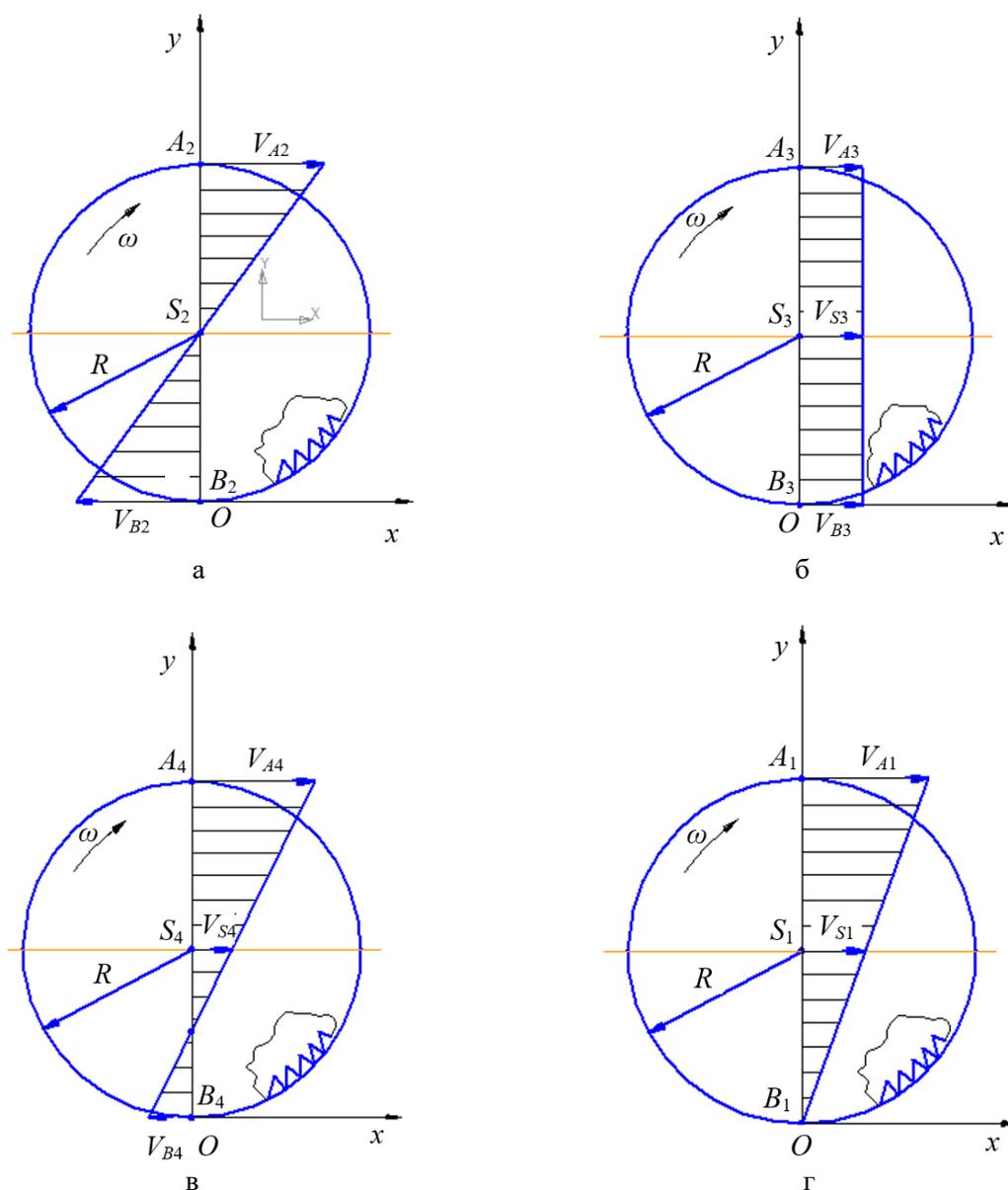


Рис. 2 – Епюри швидкостей круглої дискової пилки деревообробного верстата:
 а – обертальний рух (швидкість розпилювання); б – поступальний рух (швидкість подачі, ковзання);
 в – сума обертального та поступального рухів (кочення з проковзуванням);
 г – рух кочення без проковзування

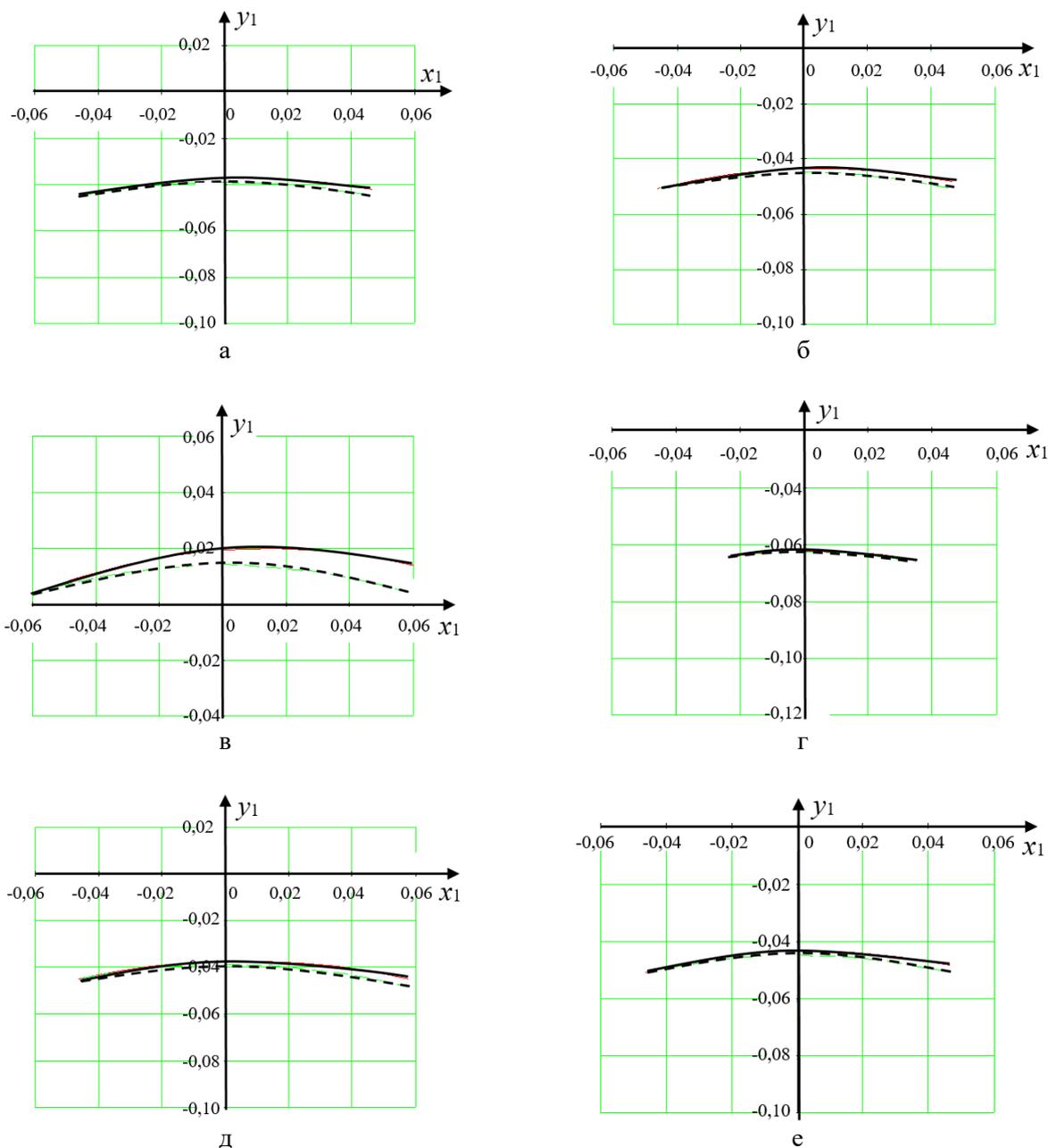


Рис. 3 – Графіки траекторій розпилювання (суцільна лінія) та обертання (штрихова лінія) круглої дискової пилки під час кряжування стовбурів:
 а – варіант 1; б – варіант 2; в – варіант 3;
 г – варіант 4; д – варіант 5; е – варіант 6

Різна кількість зубців круглої пилки дозволяла змінювати параметри t_z та ψ для того, щоб більш точно описати криву траекторії розпилювання кусково-лінійною функцією. Однак, у проведеному дослідженні точність апроксимації не оцінювалася. Загалом відносна похибка в обчисленні довжини траекторії розпилювання, що визначена аналітично та дискретно, прийнятна для

варіантів 1–3 та 6 (таблиця 2), що дозволяє обмежитися лише обертовим рухом пилки дереворізального устаткування (рис. 2, а), а траекторію розпилювання розглядати як дугу кола. Щодо варіантів 4 та 5, де відносна похибка довжини траекторії розпилювання є значною, то зазначене спрощення у формі плоских кривих другого порядку не є доцільним.

Одержані криві траєкторій розпилювання для усіх досліджуваних варіантів не можна вважати класичними циклоїдами за визначенням, оскільки: складний рух круглої пилки під час виконання технологічного процесу кряжування стовбурів є умовним коченням диска із частковим проковзуванням на поверхні (рис. 2, в); серед відомих величин швидкостей розпилювання і подачі для круглопилкових верстатів (Кірик, 2006) немає співвідношення, де б лінійна колова швидкість пилки була вдвічі більшою за поступальну швидкість руху її центра (рис. 2, г).

ВИСНОВКИ

Одержані результати досліджень щодо довжини та форми траєкторій розпилювання під час кряжування стовбурів за допомогою круглих дискових пилок вказують на те, що для певних швидкісних режимів поперечного розпилювання траєкторію у формі плоскої кривої другого порядку можна замінити колом. Але це потребує виконання попередніх розрахунків відповідно до запропонованої методики та аналізу одержаних результатів.

Розроблена та реалізована методика може бути впроваджена до освітнього процесу за

спеціальностями, які вивчають обладнання лісового комплексу, зокрема може бути використана у фаховій дисципліні «Теорія та конструкції деревообробного устаткування».

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Koch, P. (1964). *Wood machining processes*. New York: Ronald Press Company.
- Амалицкий, В. В., & Санев, В. И. (1992). *Оборудование и инструмент деревообрабатывающих производств (Equipment and tools for woodworking industries)*. М.: Экология.
- ДСТУ 2233-93. (1993). Інструменти різальні. Терміни та визначення (DSTU 2233-93. (1993). *Cutting tools. Terms and definitions*).
- ДСТУ 2654-94. (1994). Деревообробне устаткування. Терміни та визначення (DSTU 2654-94. (1994). *Woodworking equipment. Terms and definitions*).
- Кірик, М. Д. (2006). *Механічне оброблення деревини та деревних матеріалів (Machining of wood and wood materials)*. Львів: КН.
- Шостак, В. В., Савчук, Я. І., Григор'єв, А. С., Волошинський, О. О., & Пишник, І. М. (2007). *Деревообробні верстати загального призначення (Woodworking machines)*. Київ: Знання.
- Шостак, В. В., Савчук, Я. І., & Савич, М. М. (2009). *Теорія і конструкції деревообробного обладнання (Theory and designs of woodworking equipment)*. Львів: НЛТУ України.

**ANALYSIS OF DEFORMATIONS OF RUBBER TRACKS
WITH DIFFERENT CORD MATERIALS****M. Holotiuk, A. Shymko****National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine*

AGRICULTURAL MACHINES

**ABSTRACT**

In agriculture, rubber cord products are widely used, which is due to the technical properties of rubber. Among rubber cord products, the tracks of agricultural machines are common. Rubber tracks are structurally complex systems containing materials that are characterized by very different values of the elasticity modulus. Rubber and metal or fabric fibers have different structural and design features. The rubber layer provides resistance to triggering and resistance to the influence of the external environment. The cord perceives the main part of the loads, which leads to the emergence of a complex stress state, which affects the formation of strength indicators. The design of rubber cord products can be different, namely: the cord is formed in one layer or several; the value of inclination angle of cord fibers to the longitudinal axis of the product may change; fibers of different lengths and diameters are used. It leads to changes in mechanical characteristics depending on external loads. Therefore, these features should be taken into account during the development of a new product design, taking into account the magnitude and nature of loads. For two cases (cord material – metal; cord material – fabric fibers), an analysis of the deformation mechanism of the rubber cord belt was carried out under the condition that the reinforcement is made at an angle. The equations that characterize the relationship between cord parameters and deformation are obtained. Cases of deformation are also considered: tensile deformation with elongation of cord fibers and without elongation; compression strain. The results of the analysis will be used as a basis for further studies of the load modes of rubber tracks of agricultural machines, taking into account not only their design, but also mechanical features. The analysis of the deformation mechanism revealed the need to develop approaches to the design of rubber tracks that take into account deformations not only in the rubber, but also in the cord layers. Features of deformations must also be taken into account when assessing stresses in sections of cyclically loaded tracks.

Key words:

rubber track,
rubber cord product,
cord material,
track deformation,
calculation of tracks

Article history:

Received 19.08.2022

Accepted 15.09.2022

***Corresponding author:**

a.v.shymko@nuwm.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi48.828

To cite this article:

Holotiuk, M., & Shymko, A. (2022). Analysis of deformations of rubber tracks with different cord materials. *Agricultural Machines*, 48, 46-52. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.828>

УДК 621.8:539.3

АНАЛІЗ ДЕФОРМАЦІЙ ГУМОВОЇ ГУСЕНИЦІ З РІЗНИМ МАТЕРІАЛОМ КОРДУ

М.В. Голотюк, А.В. Шимко*

Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна

AGRICULTURAL MACHINES



СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

У сільському господарстві широко використовуються гумо-кордові вироби, що обумовлено технічними властивостями гуми. Серед гумо-кордових виробів поширеними є гусениці сільськогосподарських машин та окремі елементи ходових частин машин. Гумові гусениці є конструктивно складними системами, що містять матеріали, які характеризуються дуже різними значеннями модуля пружності. Гума і метал або тканинні волокна мають різні структурні та конструктивні особливості. Гумовий шар забезпечує стійкість до спрацьовування та стійкість до впливу зовнішнього середовища. Корд сприймає основну частину навантажень, що призводить до виникнення складного напруженого стану, який впливає на формування показників міцності. Конструкція гумо-кордових виробів може бути різною: корд вкладається в один шар або декілька; може змінюватися значення кута нахилу волокон корду до поздовжньої осі виробу; використовуються волокна різної довжини та різного діаметру. Конструкція виробу обумовлює зміни механічних характеристик залежно від зовнішніх навантажень. Для двох випадків (матеріал корду – метал; матеріал корду – тканинні волокна) проведено аналіз механізму деформації гумо-кордового пасу за умови, що армування виконане під кутом. Одержані залежності, які характеризують зв'язок між параметрами корду та деформацією. Розглянуто випадки деформації: деформація розтяг із видовженням волокон корду та без видовження; деформація стиснення. Результати проведеного аналізу буде покладено в основу подальших наукових досліджень режимів навантаження гумових гусениць машин із урахуванням не лише їхніх конструктивних, а й механічних особливостей. Аналіз механізму деформацій виявив потребу у розробленні підходів до проектування гумових гусениць із урахуванням деформацій не лише у гумі, а й у шарах корду.

Ключові слова:

гумова гусениця,
гумо-кордовий виріб,
матеріал корду,
деформація гусениці,
розрахунок гусениць

Історія публікації:

Отримано 19.08.2022

Затверджено 15.09.2022

*Автор для листування:

a.v.shymko@nuwm.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi48.828

Цитувати цю статтю:

Голотюк, М. В., & Шимко, А. В. (2022). Аналіз деформацій гумової гусениці з різним матеріалом корду. *Сільськогосподарські машини*, 48, 46-52.
<https://doi.org/10.36910/acm.vi48.828>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Гусеничні трактори характеризуються підвищеними швидкісними режимами, що зумовлює зростання динамічних навантажень, зокрема у рушіях. Зі збільшенням швидкості виникають додаткові навантаження ударного характеру. У результаті відбувається зростання сумарного навантаження на елементи рушія (гусеницю). Через зростання навантаження збільшуються напруження в елементах гусеничного рушія, що, відповідно, зумовлює зменшення їхньої довговічності. Як показує аналіз наукових досліджень з цього питання (*Каширський & Коростелев, 2006; Киричевський та ін., 2000; Липик & Адылин, 2015*), вченими пропонується використовувати гумо-металеві елементи для зменшення динамічних навантажень, втрат енергії та зростання коефіцієнту корисної дії рушія. Гумо-металеві гусениці використовуються у конструкціях рушіяних систем провідних виробників сільськогосподарської техніки, зокрема Claas, John Deere та інших (**рис. 1**). Запровадження гумо-металевих гусениць дозволяє зменшити шкідливий вплив ходової системи на ґрунт і підвищити тягову здатність.

Науковцями *Бейнсоном та ін. (2015)* доведено, що гумо-армовані гусениці мають високу зносостійкість, зокрема на вологих ґрунтах та в умовах абразивних середовищ. *Емельянов та ін. (2021)* також встановили перевагу гумо-армованих гусениць перед металевими. Дослідженнями доведено їхню підвищену надійність та збільшення надійності машини в цілому. Встановлено, що ресурс до граничного стану гумо-армованої гусениці порівняно з металевою є більшим у 4,5 рази. Зменшується й коефіцієнт нерівномірності розподілення тиску в ходовій системі у 1,72–2,02 рази. Науковці також зазначають, що гумо-армовані гусениці здатні забезпечити:

- підвищення прохідності на ґрунтах із низькою несучою здатністю;
- відсутність шкідливого впливу на дорожнє покриття, тобто збереження доріг;
- зменшення ущільнення ґрунтів;
- зменшення вібронавантаження та шуму для операторів і робочого середовища;
- зниження трудомісткості обслуговування ходової системи.

Рябченко та ін. (2007), окрім підвищеної фізичної прохідності, виокремлює підвищену

екологічну прохідність цих гусениць, яка проявляється у зменшенні максимального тиску та ущільнюючої дії на ґрунт удвічі порівняно з металевою гусеницею.

Крім того, науковці зазначають, що гумо-армований рушій зменшує багаторазово шум і вібронавантаження та зумовлює зростання строку служби агрегатів.

У випадку застосування гумо-армованих гусениць покращується ергономіка та умови роботи механізаторів, зокрема зменшується трудомісткість технічного обслуговування і ремонту ходової системи, а її ресурс зростає до 12 років. Таким чином, аналіз досліджень виявив перспективність застосування гумо-армованих гусениць для машин, зокрема сільськогосподарського призначення.



а



б

Рис. 1 – Гумо-металеві гусениці виробників:
а – Claas; б – John Deere

У результаті аналізу наукових джерел інформації встановлено, що навантаження гумо-армованих гусениць розраховуються без урахування особливостей їх конструкції. Жорсткість і міцність цих гусениць оцінюється

з урахуванням особливостей умов експлуатації або конфігурації виробу, але специфічні властивості матеріалу не враховуються (*Липик та ін., 2017; Рябченко та ін., 2007*).

Для виробів із гуми певні характеристики можна визначити за допомогою методик, що подаються у науково-технічній літературі. Для виготовлення гусениць використовується комбінований матеріал, складові якого (гума, метал) мають показники, що значним чином відрізняються за значенням, і, відповідно, у різний спосіб впливають на процеси взаємодії гусениці та середовища.

Навантаження, що діють на гусеницю, є складними й спричинені силами натягу, відцентровими силами і тяговим зусиллям. У перерізах гусениць виникають напруження розтягу та стиску, а у випадку наїзду на перепону – скручування. Для оцінювання навантажень необхідно знати закономірності поведінки матеріалу за умови прикладання навантажень. Зміна характеристик матеріалу та вплив на них схем армування – це питання, які недостатньо досліджені для гумо-армованих гусениць.

Властивості гумо-кордних конструкцій найчастіше аналізуються із урахуванням закономірностей, які відповідають закону Гука. Гумо-кордові гусениці у цьому випадку розглядаються як ізотропний матеріал. Інший підхід прослідковується в наукових працях, що присвячені вивченню композитних матеріалів (*Левін та ін., 2005; Побердя, 1984; Шешенин та ін., 2007*). Аналіз досліджень доводить, що для коректного розрахунку характеристик міцності гумо-армованої гусениці, як однієї конструкції, важливо враховувати особливості напружено-деформованого стану гусениці та закономірності прояву деформацій для її різних конструкцій.

Мета дослідження – дослідити деформації гумової гусениці сільсько-господарської машини та вплив на характер їх прояву матеріалу корду.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Проведені дослідження базувалися на результатах аналізу методів опису напружено-деформованого стану гуми та технічного корду, а також на основних положеннях опору матеріалів і теорії пружності композитних матеріалів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Гумо-армована гусениця машини має шари металевих кордів, які покриті гумою та накладені один на другий під деяким кутом (**рис. 2**). Положення окремих елементів корду можна описати кутом їхнього нахилу до осі гусениці та питомою щільністю елементів:

$$\gamma = L/t, \quad (1)$$

де L – одиниця довжини пасу; t – крок розташування металевих дротів.



Рис. 2 – Елемент гумо-армованого пасу

Гума та метал – це матеріали, що входять до складу гусениці і мають модуль Юнга, який значним чином відрізняється та, відповідно, становить: для гуми – $10\text{--}45 \text{ кг/см}^2$; для корду металевих – 10^6 кг/см^2 .

За умови долання перешкод та взаємодії із роликками і валками ходової системи гусениця буде деформуватися та при цьому дещо зміниться конфігурація корду. Розглянемо перший можливий випадок (**рис. 3**).

Деформування відбувається вздовж сторін ромбів, що утворені металевим кордом. Припускаємо, що суттєвого видовження корду не буде через те, що він щільно залитий гумою, що не дає можливості вільно рухатися волокнам і видовжуватися. Крім того, це припущення обумовлене значно вищим модулем Юнга металевих кордів. Разом із тим, буде змінюватися конфігурація фігур (припускаємо, що це ромб), які формують окремі елементи корду. Також припускаємо, що в перерізі пасу проявляються лише деформації, які пов'язані зі зміною кутів нахилу сторін ромбів.

Внаслідок деформації змінилися довжина діагоналей ромбу (**рис. 3**), при цьому одна із

них відхилилася від початкового положення на кут γ . Із урахуванням зазначеного матимемо:

$$Oa_1 = 2l_p \cdot \sin(\alpha + \gamma), \quad (2)$$

$$vv_1 = 2l_p \cdot \cos(\alpha + \gamma), \quad (3)$$

$$Oa = 2l_p \cdot \sin\alpha, \quad (4)$$

$$cc_1 = 2l_p \cdot \cos\alpha, \quad (5)$$

де l_p – початкова довжина сторін ромба.

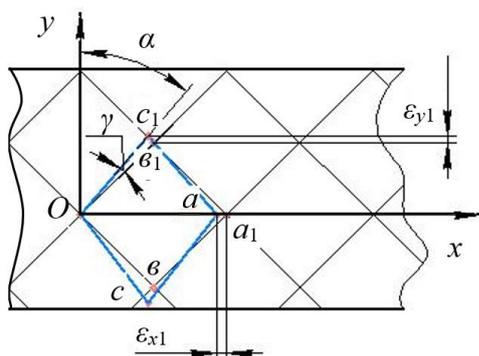


Рис. 3 – Схема деформації гусениці за умови, що дроти, що утворюють корд, не видовжуються

Визначимо величину відносної деформації із урахуванням виразів (2)–(5):

$$\Delta x = (Oa_1 - Oa) / Oa = \gamma \cdot \operatorname{ctg}\alpha, \quad (6)$$

$$\Delta y = (vv_1 - cc_1) / cc_1 = -\gamma \cdot \operatorname{tg}\alpha. \quad (7)$$

Встановимо зв'язок між Δx та Δy , для цього розділимо Δx на Δy , тоді матимемо:

$$\Delta x / \Delta y = -\operatorname{ctg}^2\alpha. \quad (8)$$

Із отриманих виразів випливає, що деформації пов'язані із величиною кута α корду. Оскільки модуль пружності металевго корду вищий за модуль пружності гуми, тоді припускаємо, що під час навантаження пасу шари корду, де елементи розташовані під деяким кутом, будуть сприймати менші навантаження, ніж гума. Це підтверджує й аналіз дефектів гумо-армованих гусениць у господарстві. Оскільки при огляді гусениць встановлено, що дефекти, які пов'язані із порушенням цілісності корду, спостерігаються у 23% зразків.

За умови використання текстильної нитки для виготовлення корду буде спостерігатися як зміна кута α , так й розтяг вздовж сторін ромбів, величина якого буде залежати, зокрема, й від способу його закріплення.

Розглянемо гумо-кордовий елемент, на якому позначимо (рис. 4): A – початкова конфігурація елемента (ромба), що утворений нитками корду; B – конфігурація елемента після навантаження. Величина відносної деформації сторін ромбу становить ε_L та ε_P . Відповідно, деформації вздовж осей x та y становитимуть:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_{x1} + \Delta_{gx} = -\Delta \operatorname{arctg}\alpha + 0,5(\varepsilon_L + \varepsilon_P), \quad (9)$$

$$\varepsilon_y = \varepsilon_{y1} + \Delta_{gy} = \Delta \operatorname{arctg}\alpha + 0,5(\varepsilon_L + \varepsilon_P), \quad (10)$$

де Δ_{gx} , Δ_{gy} – деформації, які проявляються на діагоналях ромбів; ε_{x1} , ε_{y1} – компоненти деформацій, відповідно, по осях x та y ; ε_L , ε_P – деформації сторін ромба.

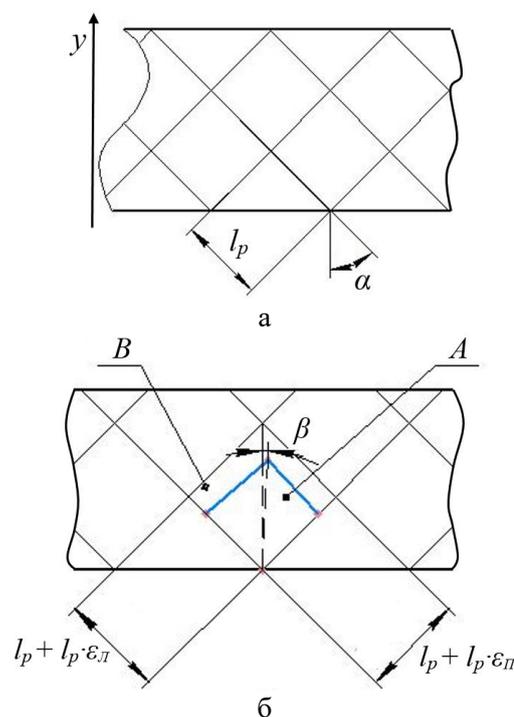


Рис. 4 – Схема гумо-кордового елемента до (а) та після (б) прикладання навантажень

Компоненти деформацій по осях x та y :

$$\varepsilon_{x1} = 0,5(\varepsilon_P - \varepsilon_L), \quad (11)$$

$$\varepsilon_{y1} = 0,5(\varepsilon_L - \varepsilon_P). \quad (12)$$

Оскільки має місце зміщення осі ромба відносно початкового положення (рис. 4), тоді кутова деформація:

$$\beta_{yx} = (\varepsilon_L - \varepsilon_P) / \sin 2\alpha. \quad (13)$$

За умови прикладання зовнішнього навантаження (наїзд ролика або ведучого чи веденого валків на пас) ділянки пасу деформуються, в результаті чого відбувається трансформація фігури (ромба). У цьому випадку довжина сторін збільшується та становить:

$$l_p' = l_p + l_p \varepsilon_L, \quad (14)$$

$$l_p'' = l_p + l_p \varepsilon_P. \quad (15)$$

Для виразів (14) і (15) значення деформацій ε_L та ε_P можна визначити із рівнянь (9) і (10) залежно від кута α .

За умови прикладання значних зусиль до текстильного корду, укладеного за аналогією до металевго, у волокнах може проявитися деформація поздовжнього стискання. Для аналізу цієї деформації припустимо, що модулі стискання корду і гуми є однаковими, а ступінь видовження є порівняно незначним. Ураховуючи припущення щодо рівності модулів стискання, скористаємося відомими результатами експериментальних досліджень структури гум (Бартенев & Никифоров, 1972), тоді отримуємо (рис. 5):

$$L = L_0 / (\lambda_{\text{гуми}})^{0,5}, \quad (16)$$

де L_0 , L – ширина елемента гусениці; $\lambda_{\text{гуми}}$ – кратність видовження гуми (встановлюється експериментально).

Із рис. 5 отримуємо:

$$L_0 = l_{0p} \cdot \sin \alpha_0, \quad (17)$$

$$a_0 = l_{0p} \cdot \cos \alpha_0, \quad (18)$$

де l_{0p} – довжина нитки корду до деформації.

Після деформації значення a визначається із урахуванням досліджень (Бартенев & Никифоров, 1972):

$$a = a_0 \cdot \lambda_{\text{гуми}}. \quad (19)$$

Із рис. 5 отримуємо довжину нитки корду після деформації:

$$l_p^2 = L^2 + a^2. \quad (20)$$

Із урахуванням одержаних рівнянь визначимо відносну деформацію нитки:

$$\frac{l_p - l_{0p}}{l_p} = \frac{\lambda_{\text{гуми}} \sqrt{\lambda_{\text{гуми}} \text{ctg} \alpha_0}}{1 + \lambda_{\text{гуми}} \sqrt{\lambda_{\text{гуми}} \text{ctg} \alpha_0}}. \quad (21)$$

Рівняння (21) пов'язує величину відносної деформації нитки з параметрами елемента гумової гусениці.

ВИСНОВКИ

У статті проведено аналіз деформації корду гумового пасу для випадків корду з металу та волокна. Ураховуючи одержані залежності встановлено, що деформація залежить від виду матеріалу корду та кута вкладання ниток корду. Результати аналізу механізму деформації корду можуть бути використані під час проєктування ходових систем із гумовими гусеницями.

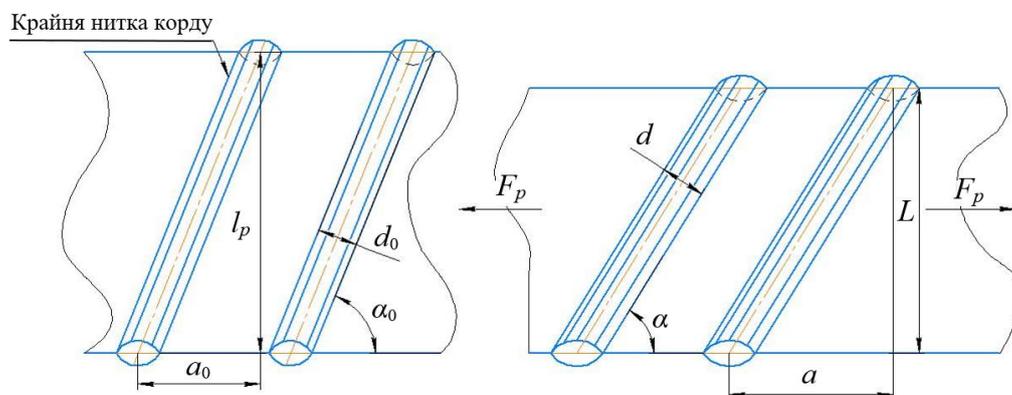


Рис. 5 – Схеми деформації ниток корду

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Бартенев, Г. М., & Никифоров, В. П. (1972). *Механика полимеров (Polymer mechanics)*, № 2.
- Бейнсенсон, В. Д., Федоткин, Р. С., Крючков, В. А., Аландеев, Е. М., & Купрюнин, Д. Г. (2015). Пути повышения срока службы резиноармированных гусениц (*Ways to increase the service life of rubber-reinforced tracks*). *Каучук и резина*, 6, 28-31.
- Емельянов, А. М., Канделя, И. В., Липкань, А. В., & Рябченко, В. Н. (2001). Разработка движителя с резиноармированными гусеницами (*Development of propulsion unit with rubber-reinforced caterpillars*). *Техника в сельском хозяйстве*, 2, 14-16.
- Каширский, Д. Ю., & Коростелев, С. А. (2006). Определение механических характеристик резиновых элементов резинометаллических шарниров гусеничного движителя (*Determination of mechanical characteristics of rubber elements of rubber-metal joints of a caterpillar mover*). *Деп. в ВИНТИ 16.05.2006, № 663-В2006*. Барнаул.
- Киричевский, В. В., Киричевский, Р. В., & Мулик, В. А. (2000). Прогнозирование долговечности эластомерных конструкций на основе термодинамических критериев разрушения (*Life prediction of elastomeric designs based on thermodynamic failure criteria*). *Вестник Запорожского национального университета. Физико-математические науки*, 2, 82-89.
- Лапик, В. П., & Адылин, И. П. (2015). Исследование жесткости резиноармированной гусеничной ленты гусеничного движителя (*Study of the rigidity of the rubber-reinforced caterpillar track of the caterpillar mover*). *Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения*, 1(14), 87-93.
- Лапик, В. П., Кузнецов, А. Е., & Лапик, П. В. (2017). Исследование влияния конструктивных параметров гусеничного движителя с эластичными опорными устройствами на неравномерность распределения давления на почву (*Study of the influence of design parameters of a caterpillar mover with elastic support devices on the uneven distribution of pressure on the soil*). *Вестник МГАУ имени В. П. Горячкина*, 3(79), 7-12.
- Левин, В. А., Ильин, И. А., Кукушкин, А. В., Агапов, Н. А., & Яковлев, М. Я. (2005). Моделирование развития зоны предразрушения в телах из упругого или вязко-упругого материала с помощью пакета ABAQUS (*Modeling the development of pre-fracture zone in bodies made of elastic or viscous-elastic material using the ABAQUS*). В *Тезисы докладов VI Международной конф. «Современные проблемы математики, механики, информатики»*. Тула, Россия (С. 226-227).
- Победря, Б. Е. (1984). *Механика композиционных материалов (Composite mechanics)*. Москва: Издательство Московского университета.
- Рябченко, В. Н., Канделя, М. В., & Емельянов, А. М. (2007). Проблемы и перспективы совершенствования гусеничной ходовой системы уборочно-транспортных машин (*Problems and prospects for improving the caterpillar undercarriage system of harvesting and transport machines*). *Вестник ДальГАУ*, 4, 48-54.
- Шешенин, С. В., Демидович, П. Н., Чистяков, П. В., & Муравлев, А. В. (2007). Определение модулей резинокорда при плосконапряженном состоянии (*Determination of rubber cord modules in a plane stressed state*). *Вестник Московского университета. Математика, Механика*, 5, 49-53.

**REASONING OF PARAMETERS OF LOADING AND DISTRIBUTION
EQUIPMENT FOR COMBINED FEED****O. Nalobina*, O. Bundza***National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine*

AGRICULTURAL MACHINES

**ABSTRACT**

The economic efficiency and intensive development of the livestock and poultry industries largely depends on the rational organization of fodder production. High-quality fodders contribute to the increase of the livestock population, increasing its productivity, improving the quality of products, and reducing its cost price. The processes of feeding animals and poultry are greatly simplified due to the use of compound feed. The advantages of compound feed are determined by the same size, mass, shape and composition of granules. All feed for animals and birds is balanced due to the fact that they do not have the opportunity to choose tastier ingredients. Such feed is easier to transport and store. Also, the increase in the use of compound feed is explained by the relatively low price, which helps to reduce the cost of livestock products. In the process of storing compound feed in bunkers, negative phenomena such as segregation, agglomeration, and the formation of lumps are often manifested. So, a change in the structure of the material is manifested. The probability of occurrence of such phenomena increases if the loading equipment is used, which does not ensure the uniformity of the distribution of feed pellets in the storage container. If the manifestation of these negative phenomena is neglected, it will lead to the deterioration of the physiological condition of animals, and as a result to a decrease in the company's profits. On the other hand, such phenomena lead to the irrational use of bunkers for storing fodder. The design of loading and distribution equipment for compound feed is proposed in the article. The equipment is designed to solve the following tasks: eliminating segregation; increasing the productivity of the process of loading compound feed into the bunker; ensuring uniform distribution of compound feed over the volume of the container. The set tasks are solved due to sequentially installed blades and a cone-shaped fairing. A theoretical analysis of the process of interaction of granules with the design element of the equipment (fairing bars) was performed. The equations that make it possible to determine the angle of inclination of the bars to the horizon and their length are obtained.

Key words:

compound feed,
mixing granules,
granule segregation,
movement of granules,
uniform distribution
of compound feed

Article history:

Received 30.08.2022

Accepted 25.09.2022

***Corresponding author:**

o.o.nalobina@nuwm.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi48.835**To cite this article:**

Nalobina, O., & Bundza, O. (2022). Reasoning of parameters of loading and distribution equipment for combined feed. *Agricultural Machines*, 48, 53-58. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.835>

УДК 631.363.7

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАВАНТАЖУВАЛЬНО-РОЗПОДІЛЬЧОГО ПРИБОРУ ДЛЯ КОМБІКОРМУ**О.О. Налобіна*, О.З. Бундза***Національний університет водного господарства та природокористування,
Рівне, Україна*

AGRICULTURAL MACHINES

**АМ
СМ**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Економічна ефективність і інтенсивний розвиток галузей скотарства та птахівництва залежать від раціональної організації кормовиробництва. Якісні корми сприяють збільшенню поголів'я худоби, підвищенню її продуктивності, покращенню якості продукції, зниженню її собівартості. Процеси годівлі тварин і птиці значно спрощуються внаслідок використання комбікормів, які також дозволяють збалансувати раціон. Перевагами комбікорму є однаковий розмір і маса гранул, їх форма та склад. Увесь корм для тварин і птиці виходить збалансованим за рахунок того, що у них немає можливості вибрати смачніші інгредієнти. Комбікорм простіше транспортувати та зберігати. Також активне використання комбікормів пояснюється порівняно низькою їх ціною, що сприяє зменшенню собівартості тваринницької продукції. У процесі зберігання комбікормів у бункерах часто проявляються негативні явища як сегрегація, злежування, утворення грудок. Тобто відбувається зміна структури корму. Ймовірність прояву цих явищ зростає у випадку застосування завантажувального устаткування, яке не забезпечує рівномірність розподілу гранул комбікорму в місткості для зберігання. Нехтування цими явищами зумовлює погіршення фізіологічного стану тварин, і, як наслідок, спричиняє зменшення прибутків підприємства. Також ці явища зумовлюють нераціональне використання бункерів для зберігання кормів. У статті запропоновано конструкцію завантажувально-розподільчого пристрою для комбікорму. Пристрій унеможливує сегрегацію, збільшує продуктивність процесу завантаження комбікорму в бункер і забезпечує рівномірний розподіл комбікорму за об'ємом місткості. Також у статті виконано теоретичний аналіз процесу взаємодії гранул із конструктивними елементами пристрою. Отримані залежності, які дозволяють визначити кут нахилу прутків до горизонту та їхню довжину.

Ключові слова:

комбікорм,
перемішування гранул,
сегрегація гранул,
рух гранул,
рівномірний розподіл
комбікорму

Історія публікації:

Отримано 30.08.2022

Затверджено 25.09.2022

***Автор для листування:**

o.o.nalobina@nuwm.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi48.835

Цитувати цю статтю:

Налобіна, О. О., & Бундза, О. З. (2022). Обґрунтування параметрів завантажувально-розподільчого пристрою для комбікорму. *Сільськогосподарські машини*, 48, 53-58. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.835>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Відповідно до даних *Державної служби статистики України (2021)* у січні-серпні 2021 року в Україні вироблено корму:

- для великої рогатої худоби – 416,4 тис т, що на 2% більше, ніж у 2020 році;

- для свиней – 821,3 тис т, що на 9,3% більше, ніж у 2020 році.

Ринок виробництва комбікормів зростає щороку, що зумовлено збільшенням попиту на цю продукцію. Найбільші обсяги ринку комбікормів у Китаї – 240 млн т, США – 215,9 млн т та Бразилії – 77,6 млн т (*Hill, 2012*). Подальший розвиток галузі тваринництва можливий за умови створення потужної кормової бази, яка відповідає нормативним вимогам і забезпечує умови для зростання поголів'я худоби. Тому питання організації кормовиробництва і розроблення нових кормів актуальні та є предметом дослідження багатьох науковців (*Варламов, 1999; Грабчук, 2010; Демидась & Слюсар, 2019; Зінченко, 2005*). Завершальними операціями технології виробництва кормів (**рис. 1**) є фасування та зберігання, які впливають на якість корму. Від якості корму, в свою чергу, залежить його засвоєння тваринами, їхній стан здоров'я, величина приросту живої маси худоби тощо.

Зберігання комбікормів відбувається в бункерах, де можуть проявлятися такі негативні явища як сегрегація, злежування та утворення грудок, що спричиняють негативні зміни у структурі шару комбікорму. Згідно із дослідженнями науковців (*Варламов, 2010; Палкін, 2001*) перебіг процесу зберігання

кормів у бункерах переважно залежить від способу їх завантаження, тому подальші дослідження у цьому напрямі є актуальними.

Мета дослідження – розроблення завантажувально-розподільчого пристрою для комбікорму, що забезпечить його рівномірний розподіл у місткості для зберігання.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Завантажувально-розподільчий пристрій має забезпечувати рівномірний розподіл комбікорму в місткостях та унеможливити його сегрегацію. Важливим при розробленні пристрою є необхідність забезпечення високої продуктивності процесу завантаження, а також рівномірний розподіл маси корму за об'ємом бункеру. Обґрунтування параметрів пристрою проводили із урахуванням законів теоретичної механіки та витікання сипких матеріалів із місткостей. Форма корпусу нового пристрою обиралася із урахуванням відомої теорії бункерних устаткувань (*Горюшинский & Мосина, 2001*).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Для проведення завантаження комбікорму у бункер запропоновано нову конструкцію завантажувально-розподільчого пристрою, що містить трубопровід, який прикріплено до металевого кожуха (**рис. 2**). У верхній частині кожуха для кріплення осі пристрою виконано ребра жорсткості, які містять дві плоскі ділянки трикутної форми (**рис. 2, розріз Б – Б**), що дозволяють закріпити вісь.

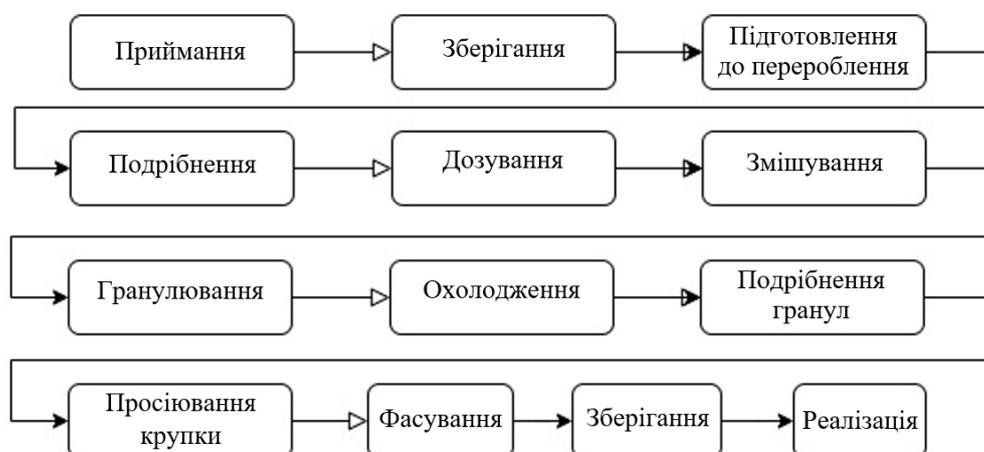


Рис. 1 – Технологія виробництва комбікормів

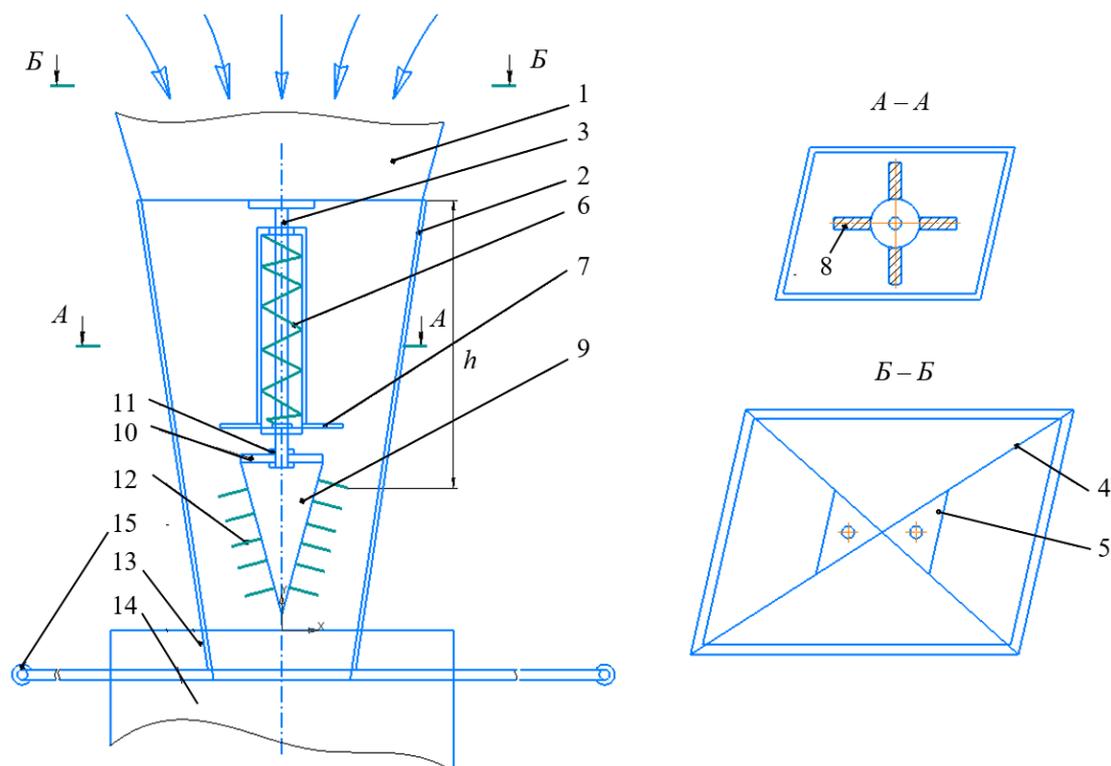


Рис. 2 – Схема завантажувально-розподільчого пристрою:

1 – трубопровід; 2 – кожух; 3 – вісь; 4 – ребра жорсткості; 5 – плоскі ділянки ребра трикутної форми; 6 – пустотілий циліндр з пружиною; 7 – лопаті; 8 – виступи; 9 – обтічник; 10 – ребра обтічника; 11 – вісь кріплення; 12 – прутки; 13 – люк; 14 – місткість для зберігання; 15 – рухома пластинка

За допомогою підшипників на осі рухомо закріплено пустотілий циліндр, що містить пружину. До циліндру приварені лопаті, які виконано з пластин, на верхній поверхні яких є виступи (рис. 2, розріз А-А). У нижній частині кожуха закріплено обтічник конусоподібної форми, що має в основі ребра. Обтічник закріплено на осі кріпленням. На зовнішній поверхні обтічника перпендикулярно до твірної конуса в шаховому порядку закріплено тонкі прутки. Люк місткості для зберігання містить всередині напрямні, в яких рухається рухома пластинка, що слугує для закриття-відкриття люка.

Під час роботи запропонованого пристрою гранули комбікорму спрямовуються з бункера у трубопровід, а далі в середину кожуха, де опиняються на лопатях. Внаслідок дії гранул лопаті розпочинають рух. Крім того, гранули зумовлюють опускання пустотілого циліндра вниз, доки він не досягне кріпильного устаткування. Одночасно із цим опускається обтічник, який обертається навколо осі та

прутками розпушує масу гранул. У випадку відведеної заслінки обтічник опускається в отвір, що утворюється в люку місткості для зберігання. Обтічник має зупинитися у положенні, яке представлено на рис. 3. На твірній конуса закріплено прутки з метою інтенсифікації перемішування гранул і покращення їх розподілення за об'ємом.

Визначимо вплив кута нахилу прутків і їхньої довжини на рух гранул комбікорму (рис. 4). Гранула падає на пруток зі швидкістю V_n , яку можна визначити із рівняння зміни кінетичної енергії:

$$V_n = (V_0^2 + 2gh)^{0,5}, \quad (1)$$

де V_n – швидкість падіння гранули, м/с; V_0 – швидкість виходу гранул комбікорму із бункера, м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с²; h – відстань від лінії виходу гранули комбікорму із завантажувального бункера до точки її контакту із прутком пристрою, м.

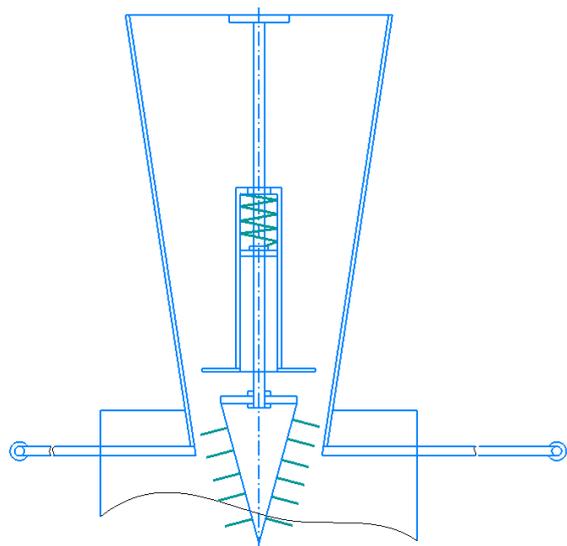


Рис. 3 – Схема завантажувально-розподільчого пристрою, що занурений в місткість для зберігання

Швидкість падіння гранули розкладемо на складові вздовж осей x та y :

$$V_x = V_n \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

$$V_y = -V_n \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

де V_x, V_y – складові швидкості падіння гранули, відповідно, вздовж осей x та y , м/с.

Лінія дії реакції прутка R , що виникає внаслідок удару гранули комбікорму по прутку, відхиляється від осі y на величину кута тертя α . Швидкість ковзання гранули визначимо з **рис. 4**:

$$\frac{V_k}{\sin(\alpha - \varphi)} = \frac{V_n}{\sin\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right)} - \frac{V_n^l}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)}. \quad (4)$$

За умови, що V_n визначається за виразом (1), отримаємо залежність для визначення швидкості ковзання:

$$V_k = (V_0^2 + 2gh)^{0.5}(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \varphi) \cos \alpha. \quad (5)$$

Аналіз залежності (5) показує, що гранули комбікорму будуть ковзати прутками за умови $\alpha \leq \varphi$. Після ковзання прутком гранула падає у вільний простір завантажувача-змішувача, причому вона може потрапити в зону, яка має ширину l (**рис. 5**):

$$l = c + a + b, \quad (6)$$

$$c = L / \cos \beta, \quad (7)$$

$$a = AA^l \cdot \cos \alpha, \quad (8)$$

$$b = V_x t, \quad (9)$$

де L – висота закріплення прутка, м; β – кут нахилу твірної конуса, град; $AA^l = l_n$ – довжина прутка, м; a – проекція прутка на вісь x , м; t – час, с.

Гранула злітає з прутка на висоті H :

$$H = V_y t + 0,5t^2. \quad (10)$$

Із рівняння (10) можна визначити час падіння t із урахуванням, що $V_y = V_k \cdot \sin \alpha$.

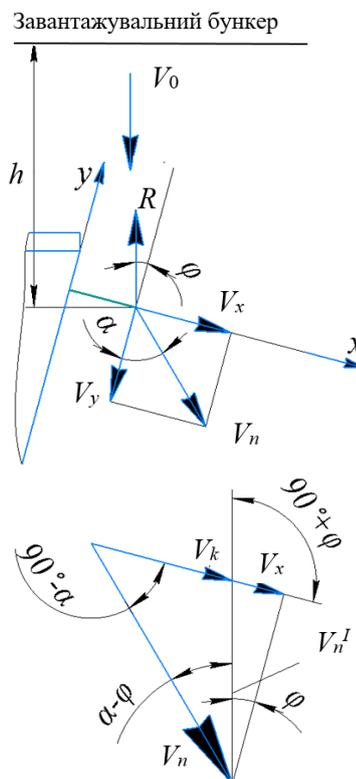


Рис. 4 – Схеми до визначення характеристик прутка обтічника

Визначимо довжину прутка:

$$l_n = l - \frac{L}{\cos \beta} - \frac{V_k \cos \alpha}{g} \left(\sqrt{2gH + V_k^2 \sin^2 \alpha} - V_k \sin \alpha \right). \quad (11)$$

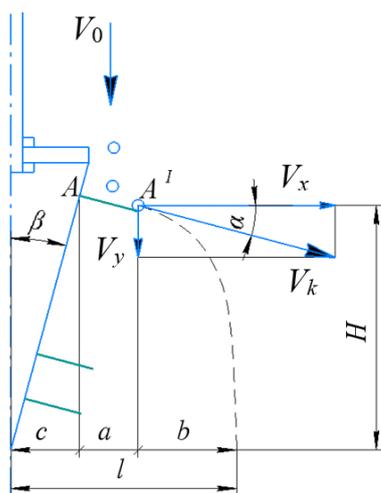


Рис. 5 – Схема до визначення довжини прутка обтічника

За залежністю (11) можна визначити довжину прутка, яка забезпечить ковзання гранул його поверхню, із урахуванням параметрів завантажувально-розподільчого пристрою H та l , а також властивостей комбікорму φ .

ВИСНОВКИ

У статті запропоновано конструкцію завантажувально-розподільчого пристрою, що забезпечує рівномірний розподіл гранул комбікорму всередині кожуха пристрою та їх інтенсивну подачу в місткість для зберігання. Крім того, пристрій унеможливує явище сегрегації комбікорму всередині місткості для зберігання. У статті виконано теоретичний аналіз процесу взаємодії гранул комбікорму із конструктивними елементами пристрою. Отримані залежності для визначення кута нахилу прутків до горизонту і їхньої довжини.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Hill, R. F. (2012). *Feed efficiency in the beef industry*, Idaho, Wiley-Blackwell.
- Варламов, А. В. (1999). *Повышение эффективности процесса выпуска компонентов комбикорма бункером с донным щелевым отверстием и механическим сводообрушителем (Increasing the efficiency of the process of releasing compound feed components by a bunker with a bottom slotted hole and a mechanical breaker)* [Диссертация кандидата технических наук]. Самарский институт инженеров железнодорожного транспорта, Саратов.
- Варламов, А. В. (2010). *Конструкция и динамика механизмов предотвращения и устранения сводообразования в бункерах хранения и выпуска сыпучих материалов (The design and dynamics of mechanisms for preventing and eliminating arching in silos for storage and release of bulk materials)*. Самара, Самарский научный центр Российской академии наук.
- Горюшинский, И. В., & Мосина, Н. Н. (2001). К вопросу оценки процесса загрузки емкостей сыпучими материалами (*On the issue of assessing the process of loading containers with bulk materials*). *Сборник научных трудов студентов, аспирантов и молодых ученых СамИИТ*, 3, 83-84.
- Грабчук, І. Ф. (2010). *Інноваційний розвиток кормовиробництва (Innovative development of fodder production)*. Житомирський національний агроєкологічний університет, Житомир.
- Демидає, Г. І., & Слюсар, І. Т. (2019). *Нетрадиційні кормові культури (Non-traditional fodder crops)*. Київ: НУБіП України.
- Державна служба статистики України. (2021). *Статистична інформація*. Retrieved June 30, 2022, from <https://www.ukrstat.gov.ua/>
- Зінченко, О. І. (2005). *Кормовиробництво (Fodder production)*. Київ: Вища освіта.
- Палкін, Г. (2001). Сучасні технології годівлі корів (*Modern technologies of feeding cows*). *Пропозиція*, 11, 78-79.

THE MODERN TECHNOLOGIES OF BAST CROPS BIOMASS PROCESSING

S. Yaheliuk*, M. Fomych, O. Yaheliuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES

AM
CM

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

The demand for natural fabrics is growing every year in the world, because natural plant fibers have such consumer properties as heat resistance, abrasion resistance, strength, fire resistance, and they are superior in quality to well-known synthetic fibers. France, Belgium and the Netherlands remain world leaders in the production of flax, from which textile fiber is obtained. In the coming years, China may join the world leaders in this field. Hemp and flax are the most common bast crops for obtaining plant fibers in Ukraine. The products that can be obtained from the harvest of these crops are divided into two groups: non-food and food. Accordingly, the technologies used for the primary processing of linseed, flax and hemp must take this into account. Today, the most relevant for agricultural producers is the cultivation of bast crops with the complex use of all components of the crop. To achieve this, it is necessary to implement universal technologies for the processing of bast biomass, which can be used for both flax and hemp. Therefore, the main requirements for processing lines of bast crops are complexity and versatility. Also, during the cultivation of bast crops, it is important to take into account the natural and climatic conditions of the growing area, as they significantly affect the yield and quality of the seeds and stem. In case of low quality of the harvest, the harvest must be used for the production of non-woven materials, composites, construction materials, solid and liquid fuels, fodder, etc. In this context, the experience of other countries in the cultivation and processing of bast crops is important. The article examines modern lines of processing of bast crops (oil flax, fibre flax, hemp) of foreign production. The analyzed lines most satisfy the requirements of universality and complexity of use. Both large agricultural enterprises, flax and hemp farms, and small specialized farms can be equipped with the modern lines for the processing of bast crops. These lines do not require a lot of staff to maintain. The article also outlines the possibilities of using the obtained products.

Key words:

flax,
hemp,
natural fiber,
flax processing,
hemp processing

Article history:

Received 01.09.2022

Accepted 29.09.2022

***Corresponding author:**

cler2010@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.841

To cite this article:

Yaheliuk, S., Fomych, M., & Yaheliuk, O. (2022). The modern technologies of bast crops biomass processing. *Agricultural Machines*, 48, 59-66. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.841>

УДК 677.021.151

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ БІОМАСИ ЛУБ'ЯНИХ КУЛЬТУР

С.В. Ягелюк*, М.І. Фомич, О.О. Ягелюк

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

AGRICULTURAL MACHINES



АНОТАЦІЯ

У світі щороку зростає попит на натуральні тканини, адже натуральне рослинне волокно має такі споживчі властивості як термостійкість, стійкість до стирання, міцність, вогнетривкість і це волокно за якістю переважає відомі синтетичні волокна. Світовими лідерами у виробництві льону, з якого отримують текстильне волокно, залишаються Франція, Бельгія та Нідерланди. Найближчі роки до світових лідерів у цій галузі може приєднатися Китай. Серед сировини для отримання рослинних волокон в Україні найбільш поширені луб'яні культури: коноплі та льон. Продукція, яку можна отримати з урожаю цих культур, поділяється на дві групи: непродовольча та харчова. Відповідно, технології, які використовуються для первинної переробки льону олійного, льону-довгунця та конопель, повинні це враховувати. На сьогодні для сільгоспвиробників найбільш актуальним є вирощування луб'яних культур з комплексним використанням усіх складових урожаю. Для досягнення цього необхідно впроваджувати універсальні технології переробки луб'яної біомаси, які можна використовувати як для льону, так і для конопель. Тому основними вимогами до ліній переробки луб'яних культур є комплексність та універсальність. Також під час вирощування луб'яних культур важливо враховувати природно-кліматичні умови зони вирощування, оскільки вони суттєво впливають на урожайність та якість насіння і стеблової частини. У цьому контексті важливим є досвід інших країн у вирощуванні та переробці луб'яних культур. У статті розглянуті сучасні лінії переробки луб'яних культур (льону олійного, льону-довгунця, конопель) закордонного виробництва. Проаналізовані лінії найбільше задовольняють вимоги універсальності та комплексності використання. У статті також окреслено можливості застосування отриманої продукції з урожаю луб'яних культур.

Ключові слова:

льон,
коноплі,
натуральне волокно,
переробка льону,
переробка конопель

Історія публікації:

Отримано 01.09.2022

Затверджено 29.09.2022

***Автор для листування:**

cler2010@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.841

Цитувати цю статтю:

Ягелюк, С. В., Фомич, М. І., & Ягелюк, О. О. (2022). Сучасні технології переробки біомаси луб'яних культур. *Сільськогосподарські машини*, 48, 59-66. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.841>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В Україні спостерігається зростання уваги сільгоспвиробників до технічних культур. Загальна площа посівів технічних культур зросла у 2021 році на 100% порівняно з 2020 роком (UKRSTAT, n.d.). Значне місце серед них традиційно займають льон олійний та коноплі. Згідно оприлюднених даних (UKRSTAT, n.d.) посівні площі під льон олійний збільшилися у 2021 році на 200% порівняно з 2020 роком. В Україні лишилося лише декілька областей, які не вирощували льон олійний у 2021 році. Зростання посівних площ пов'язане з високим споживацьким інтересом до цієї культури і загальною світовою тенденцією збільшення виробництва олійних луб'яних культур, особливо льону олійного (FAOSTAT, n.d.). У світі площі, з яких збирається льон (FAOSTAT, n.d.), перевищують 3,5 млн га (рис. 1). Згідно даних FAOSTAT (n.d.) лідерами у виробництві льону, з якого отримують текстильне волокно, залишаються Франція, Бельгія та Нідерланди. Хоча зі збільшенням інтересу до льону олійного та розширенням можливостей його переробки у найближчі роки до світових лідерів у цій галузі може приєднатися Китай.

Чим зумовлений інтерес до луб'яних

культур? Перш за все можливістю комплексної переробки та отримання продукції різного функціонального призначення. Надзвичайно важливим фактором є екологічність цієї продукції. Тому зрозумілим є суттєве зростання кількості досліджень вітчизняних та закордонних науковців у цій галузі.

Можливості використання льону олійного та льону-довгунця були окреслені у статтях (Ягелюк & Дідух, 2020a; Berezovsky et al., 2020; Ouagne et al., 2017). Як було означено в статті (Yaheliuk et al., 2020), стеблову частину льону олійного доцільно використовувати для виготовлення твердого палива. Найбільш прийнятною формою твердого палива є брикети (Gregory, 2016) та малогабаритні паливні рулони. Проте, волокно, що отримане зі стебел соломи льону олійного, має хороші споживчі властивості і може бути використане для виробництва нетканих та композитних матеріалів, паперу.

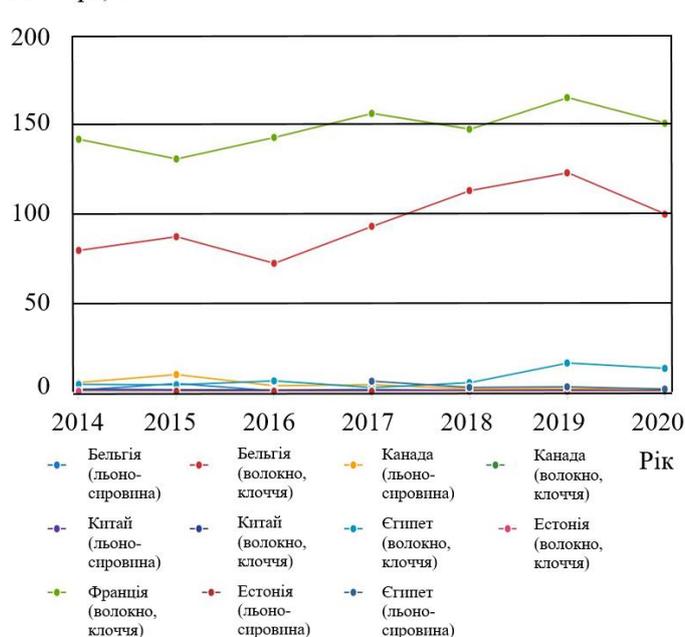
У світі все більш популярними стають коноплі, оскільки це також луб'яна культура комплексного використання. Коноплі є сировиною для виробництва взуття (Boyko et al., 2021), одягу (Ніколайчук, 2018), продуктів харчування (Leonard et al., 2020) та ліків (Шолойко та ін., 2019).

Площа збирання, млн. га



а

Експорт, кт



б

Рис. 1 – Світове виробництво льону та конопель (FAOSTAT, n.d.):

а – площі збирання льону та конопель з метою отримання насіння і волокна;

б – країни-лідери у виробництві льоносировини

Льон олійний, льон-довгунець та коноплі – це технічні культури, які об'єднує одна особливість. Продукція, яку можна отримати з цих культур, поділяється на дві великі групи: непродовольча та харчова. Тому технології, які використовуються для первинної переробки льону олійного, льону-довгунця та конопель, повинні це враховувати. Нами запропонована концептуальна модель вибору необхідної технології переробки льону олійного та льону-довгунця із урахуванням класифікаційних ознак урожаю (*Ягелюк & Дідух, 2020b*). Ця модель дає можливість вибрати напрям подальшого комплексного використання урожаю на основі довжини стебел, вмісту лубу та фази стиглості. Для льону олійного у статті (*Dudarev & Say, 2020*) запропонована ресурсозберігаюча технологія збирання, що передбачає обмолочування стеблостою льону з подальшим висмикуванням стебел. За цієї послідовності операцій стебла та насіння збираються без втрат і пошкоджень. Для збирання льону олійного *Онюх (2017)* запропоновано використовувати Північно-Європейську технологію збирання льону-довгунця. Однак, сучасні вимоги та швидкість розвитку ринку передбачають необхідність розроблення та запровадження технологій переробки рослинної маси, які можливо використовувати як для льону, так і для конопель. Ці технології повинні бути рентабельними та передбачати можливість їх використання у різних природно-кліматичних зонах.

Мета дослідження – визначити технології, що найбільш прийнятні в сучасних умовах для переробки льону олійного, льону-довгунця та конопель із урахуванням досвіду закордонних виробників.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

У статті враховані результати досліджень, що проводилися у 2011–2022 роках на базі ДПЕГ «Еліта» Волинської ДСГСДС ІК НААН України і Луцького національного технічного університету. На основі результатів досліджень встановили ідентифікаційні та класифікаційні ознаки льону олійного та льону-довгунця. Характеристика конопель заснована на даних (*UKRSTAT, n.d.*). Дослідження проводили із використанням методів аналізу, синтезу, наукової абстракції та комплексного підходу.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Сучасне виробництво продукції з льону та конопель передбачає виконання низки технологічних операцій, що спільні для цих культур. Це посів (з середини березня до середини квітня у природно-кліматичній зоні України), збирання урожаю (серпень-вересень у природно-кліматичній зоні України), відокремлення насіння та первинна переробка рослин, зокрема виділення волокна. Згідно проведених досліджень (*Ягелюк & Дідух, 2020b*) стеблова та насіннева складові урожаю однаково важливі для льону олійного, конопель і льону-довгунця. Встановлено, що за різних природно-кліматичних умов урожай стебел (соломи) та насіння може мати різні якісні показники. Запропоновано, за умови низької якості урожаю, використовувати його для виготовлення нетканих матеріалів, композитів, будівельних матеріалів, твердого та рідкого палива, кормів тощо. За умови отримання стебел (соломи) та насіння з високими якісними показниками – доцільно використовувати урожай для виробництва довгого волокна, олії та медичних препаратів. Також потрібно пам'ятати, що після переробки урожаю льону та конопель залишається значна кількість побічних продуктів, зокрема костриці, пилу. Ці відходи основного виробництва придатні для виготовлення різної продукції: підстилки для тварин, композитів, будівельних матеріалів.

На **рис. 2** продемонстрована схема порівняння процесів виробництва продукції з льону та конопель залежно від якісних ознак урожаю. Наявність подібних етапів переробки цих культур обумовлює необхідність пошуку обладнання для організації виробництва продукції, які б задовольняли умовам універсальності (наприклад, льон/коноплі) та комплексності (переробка всіх складових урожаю). З огляду на зростаючі потреби у натуральних волокнах, зокрема для пошиття військової форми і виробництва різних матеріалів, слід очікувати зростання інтересу вітчизняних виробників, зокрема фермерів, до вирощування луб'яних культур. На жаль, в Україні залишилося дуже мало переробних підприємств та вони не задовольняють означеним умовам.

Компанія Vanhauwaert (Нідерланди), що заснована в 1892 році, з 1920 року займається

розробленням машин для переробки льону. Лінії Vanhauwaert для переробки льону на коротке та довге волокно експортуються по всьому світу. Також компанія виробляє устаткування для очищення та калібрування насіння. Ця компанія є сімейним бізнесом, що забезпечує надійність, якість та довговічність обладнання (*Vanhauwaert, n.d.*). У цій компанії

для розроблення та удосконалення технологій та ліній переробки луб'яних волокон льону й конопель використовують сучасні наукові дослідження. Відповідно до потреб переробної промисловості основним принципом розвитку та удосконалення сучасних технологічних ліній переробки луб'яних культур є простота та універсальність.

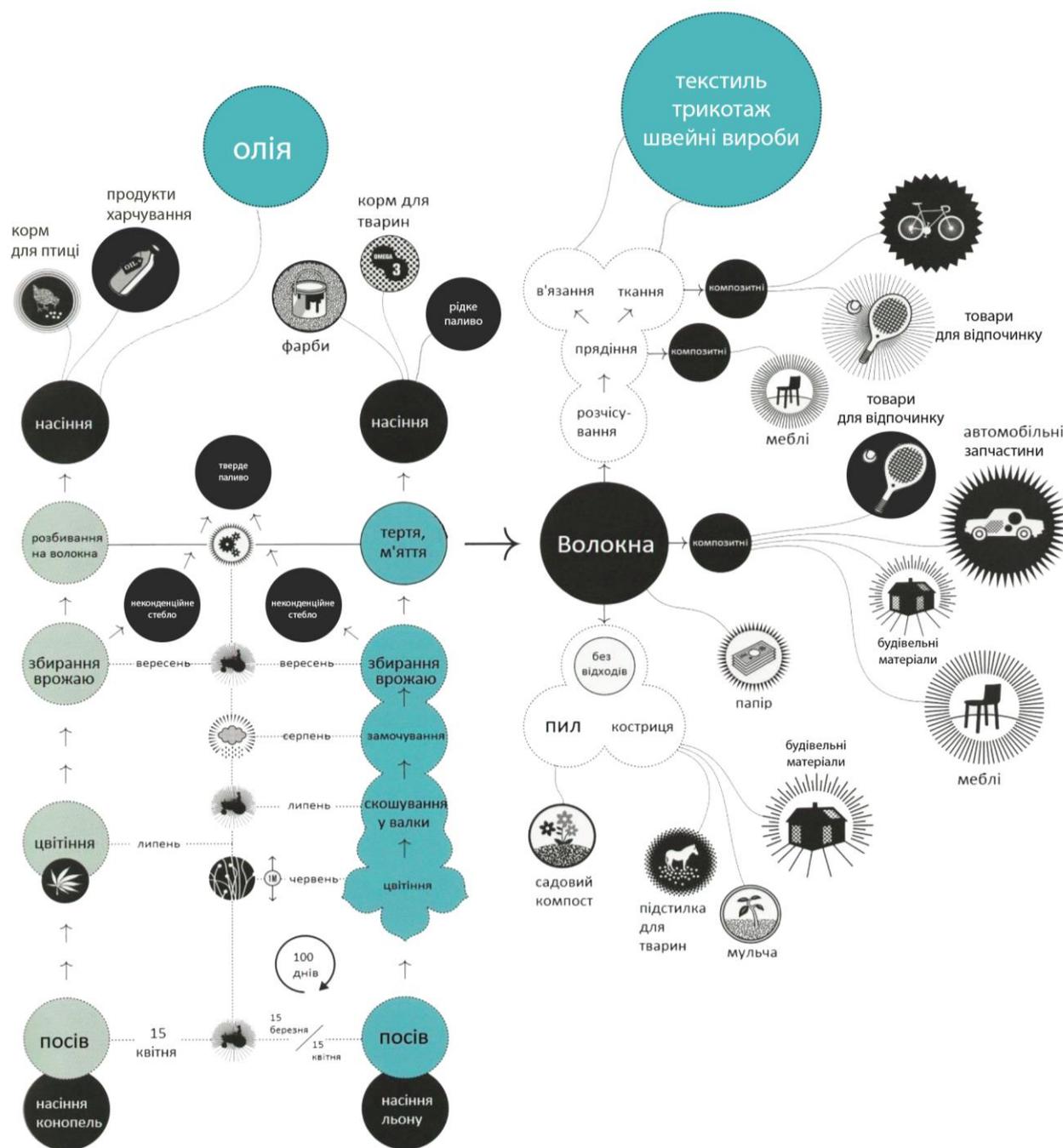


Рис. 2 – Схема етапів переробки льону та конопель з подальшим використанням отриманої продукції для виготовлення товарів різного функціонального призначення

На **рис. 3** представлена схема лінії переробки льоносировини, що розроблена компанією Vanhauwaert. Перевагами лінії є комплексність переробки льону. У результаті переробки можна отримати довге волокно, коротке волокно, насіння, кострицю. Ця лінія переробки може бути використана на сільськогосподарському підприємстві для реалізації запропонованої у праці (*Ягелюк & Дідух, 2020b*) концептуальної моделі вибору необхідної технології переробки льону олійного та льону довгунця із урахуванням класифікаційних ознак урожаю. За цією технологією отримують довге волокно, що придатне для виробництва текстилю, у тому числі військового призначення, композитних матеріалів високої міцності. Отримане коротке волокно може бути використане у паперовій та автомобільній промисловості, а також для виробництва еко-будівельних матеріалів.

Однак, розвиток сільськогосподарського виробництва показує, що сучасні господарства не можуть дозволити собі постійно вирощувати одну культуру та повинні враховувати зміни умов на ринку. Тому варто звернути увагу також на універсальну лінію, яка дозволяє переробити коноплі та льон на волокно (**рис. 4**). Продукція, яку отримують в

результаті переробки на універсальній лінії, – очищене волокно – придатне для подальшого використання в різних функціональних цілях. На універсальну лінію надходять стебла соломи конопель (льону) у круглих або квадратних тюках. Тюки потрапляють у розгортаючий блок, далі проходять розривні валки (блоки 1, 2), шейкер, розривні валки 3-го блоку, обчисувальний блок, підймальний шейкер та гідравлічний прес. Залежно від конкретних вимог до кінцевого продукту можливі різні комбінації технологічних блоків. Перевагами цих ліній є комплексність та універсальність. Адже можна отримати волокно та насіння. Насіння конопель також має стратегічне значення для України, оскільки воно може використовуватися у харчовій промисловості, для медичних цілей, як корм для тварин тощо. Також з'являються можливості використання лляної олії як сировини для отримання біопалива. Насіння льону – це важлива складова експорту з України. У лініях переробки, що представлені на **рис. 3** та **рис. 4**, передбачено використання костриці. У подальшому вона може бути застосована як підстилка для тварин, основа для виготовлення будівельних матеріалів, твердого біопалива тощо.

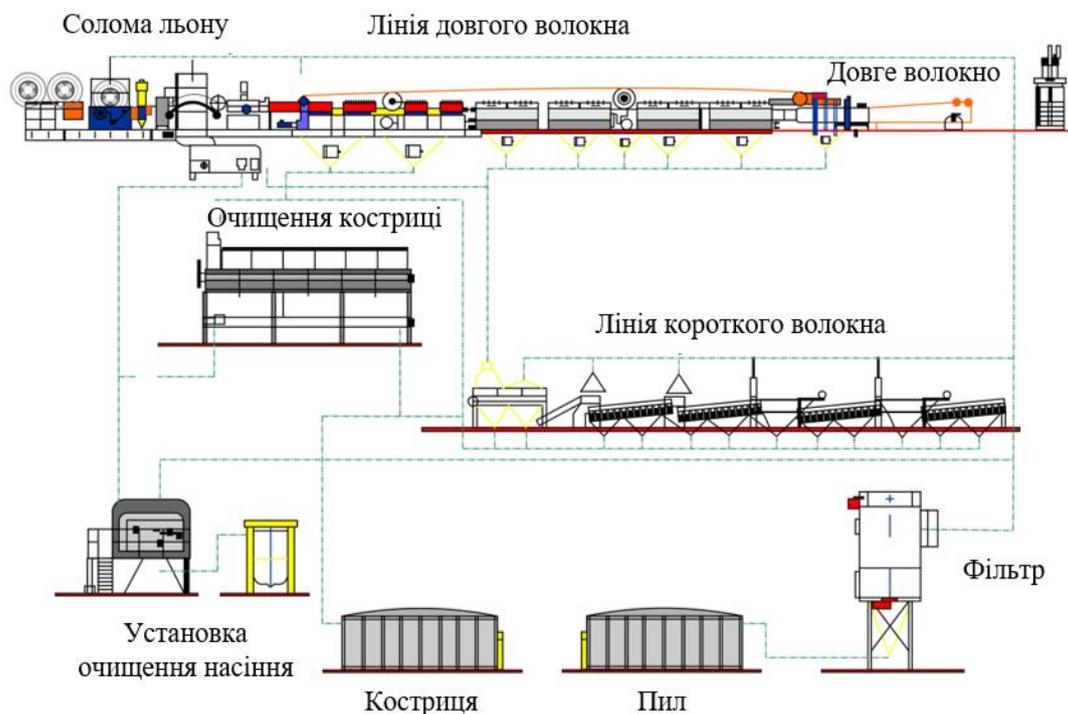


Рис. 3 – Схема лінії комплексної переробки льоносировини



Рис. 4 – Схема універсальної лінії комплексної переробки конопель та льону

Розглянутими лініями переробки луб'яних культур можуть бути оснащені як великі сільськогосподарські підприємства, льоно- чи коноплезаводи, так і невеликі спеціалізовані фермерські господарства. Для обслуговування цих ліній не потрібно багато персоналу. Проте вони потребують значних капіталовкладень.

У випадку вибору технології збирання льону з подальшою переробкою біомаси стебел для отримання волокна чи твердих паливних матеріалів, технологічні операції передбачають скручування стеблової маси у рулони. Рулони дозволяють швидко та зручно транспортувати стеблову масу. Стебла льону мають такі пружні властивості, що дозволяють їм відновлюватися після зняття навантаження. Пружні властивості стебел льону є причиною розширення внутрішніх шарів сформованого рулону. А це, в свою чергу, зумовлює розкручування рулону. Тому для будь-якого з визначених варіантів використання біомаси луб'яних культур (на волокно, будівельні, композитні, паливні матеріали) є потреба у зменшенні пружності стебел. Для успішної комплексної переробки біомаси луб'яних культур під час збирання повинні бути враховані характеристики стеблостою. Одним із шляхів зниження пружності біомаси льону олійного є декортикація стебел. Вона має певні переваги, оскільки не потребує дуже складного обладнання, дозволяє виробляти волокно за прийнятними цінами та забезпечити високу продуктивність переробки луб'яних волокон.

Переважно декортикація використовується для виділення волокна конопель. Однак, у праці (Didukh et al., 2022) встановлено, що декортикація також підходить для зниження пружних властивостей льону олійного. Тому для переробки інших луб'яних культур можна рекомендувати у лінії технологічну операцію

зниження пружних властивостей стеблової маси за допомогою декортикатора. Отже, у випадку застосування ліній переробки, що зображені на рис. 3 та рис. 4, з проведенням декортикації (за потреби) сировини можна забезпечити виконання умов комплексності та універсальності.

ВИСНОВКИ

У сучасних умовах в Україні та світі існує потреба в натуральних рослинних волокнах. Найбільш раціонально цю потребу можна забезпечити за рахунок збільшення виробництва традиційних луб'яних культур (льону, конопель). Тому можна передбачити зростання інтересу вітчизняних виробників, в тому числі фермерів, до вирощування льону і конопель. Однак, виробництво луб'яних культур потребує сучасних підходів до переробки стеблової й насінневої біомаси. Основними вимогами до ліній переробки є комплексність та універсальність.

Комплексність передбачає можливість виробництва сировини та напівфабрикатів, які можуть бути використані для виробництва харчової продукції та непродовольчих товарів з льону й конопель. Також лінія переробки повинна забезпечувати можливість переробки урожаю будь-якої якості. Переробні лінії повинні бути універсальними, тобто давати можливість переробити різні луб'яні культури. Цим вимогам відповідають лінії переробки біомаси луб'яних культур, що розроблені компанією Vanhauwaert. Досвід у розробці та використанні цих переробних ліній варто враховувати під час організації власного виробництва в умовах України. Це дозволить суттєво розширити сировинну базу для низки галузей агропромислового комплексу нашої держави.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Berezovsky, Y., Kuzmina, T., & Mazievich, T. (2020). Influence of the oil flax eco-brand on the development of safe production. *Scientific Horizons*, 23(12), 65-73.
- Boyko, G., Holovenko, T., Yageluk, S., Kuzmina, T., & Evtushenko, V. (2021). Methods for improving the qualitative indicators of fabric on the basis of hemp cottonine for the top of footwear. *Vlakna a Textilthis*, 28(2), 3-8.
- Didukh, V., Yaheliuk, S., Artyukh, T., Albota, D., & Holiy, O. (2022). Decrease of elastic properties of oleaginous flax residues by decortication. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 67(2), 285-292. <https://doi.org/10.35633/inmateh-67-29>
- Dudarev, I., & Say, V. (2020). Development of resource-saving technology of linseed harvesting. *Journal of Natural Fibers*, 17(9), 1307-1316. <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1558161>
- FAOSTAT. (n.d.). *Compare Data*. Retrieved July 1, 2022, from <https://www.fao.org/faostat/en/#compare>
- Gregory, M. (2016). *Solid biofuels: producer and property: Manual for the use of solid biofuel producers*. Government Rep. Moldova, Progr. United Nations Development. Chisinau: S. n.
- Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., & Fang, Z. (2020). Hempseed in food industry: Nutritional value, health benefits, and industrial applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 282-308.
- Ouagne, P., Barthod-Malat, B., Evon, P., Labonne, L., & Placet, V. (2017). Fibre extraction from oleaginous flax for technical textile applications: influence of pre-processing parameters on fibre extraction yield, size distribution and mechanical properties. *Procedia Engineering*, 200, 213-220.
- UKRSTAT. (n.d.). *Посівні площі сільськогосподарських культур за їх видами*. Retrieved July 1, 2022, from https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2019/sg/ppsgk/arh_ppsgk_u.html
- Vanhauwaert. (n.d.). *Bast fiber processing*. Retrieved July 1, 2022, from <https://www.vanhauwaertmachines.com/ru/107610861084>
- Yaheliuk, S., Didukh, V., Busnyuk, V., Boyko, G., & Shubalyi, O. (2020). Optimization on efficient combustion process of small-sized fuel rolls made of oleaginous flax residues. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 62(3), 361-368. <https://doi.org/10.35633/inmateh-62-38>
- Ніколайчук, Л. Г. (2018). Сучасний асортимент товарів із технічних конопель (*Modern range of products from technical hemp*). *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, 3, 130-134.
- Онюх, Ю. М. (2017). Застосування Північно-Європейської технології вирощування льону олійного (*Application of the Northern European technology of growing oilseed flax*). *Сільськогосподарські машини*, 36, 119-124.
- Шолойко, Н. В., Попов, В. І., & Лисенко, Т. І. (2019). Сучасний стан та перспективи застосування конопель у медицині та фармації (*The current state and prospects of the use of hemp in medicine and pharmacy*). *Фітотерапія. Часопис*, 1, 44-51.
- Ягелюк, С. В., & Дідух, В. Ф. (2020а). Напрямки використання продукції переробки льону олійного та льону-довгунця (*The use of produce of the flax processing*). *Товарознавчий вісник*, 1(13), 292-305. <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2020-13-25>
- Ягелюк, С. В., & Дідух, В. Ф. (2020b). Концептуальна модель технологій переробки стебел льону (*A concept model of technologies for processing flax stems*). *Сільськогосподарські машини*, 44, 155-164. <https://doi.org/10.36910/agromash.vi44.300>

PNEUMOTHERMAL METHOD OF OBTAINING CONIFEROUS NEEDLES FOR PRODUCTION OF TEXTILE FIBERS

O. Tkachuk¹, A. Herasymchuk^{1*}, V. Reznikova²

¹Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

²Kherson State Agrarian and Economic University, Kropyvnytskyi, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES

AM
CM

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

Modern forestry and environmental requirements determine the need to use more advanced technologies and equipment for complete processing of coniferous tree crowns. In particular, needles are used for the production of pine extract and essential oil, feed, organic fertilizers, pulp and biofuel. It is promising to obtain natural fibrous materials from wood raw materials, in particular, obtaining textile fiber from needles. High-quality raw materials are required to obtain textile fiber from needles. The available methods of obtaining needles have significant disadvantages in view of the possibility of their further use for the production of textile fibers and are energy-consuming. Known methods of obtaining needles according to the principle of action can be divided as following: mechanical; pneumomechanical; electrohydraulic; high-frequency field; cryogenic. The harvesting of needles for the production of textile fibers is inextricably linked with the harvesting of coniferous trees. The method of morphological analysis was used to synthesize variants of the technological process of obtaining needles. In the technological process of harvesting coniferous trees, characteristic functional morphological features are highlighted: felling of trees; tree drifting; clearing of trees; destruction of connections between needles and branches; separation of needles from branches and their transportation to the needle collector. For each of the morphological features, the most complete list of possible options for technical solutions has been compiled. The following equipment for collecting needles is offered: a stacking and packaging machine, a forwarder, a processor and a mobile unit for separating needles, which consists of a drying chamber, a vacuum pneumatic transport system and a needle collector. Further research on the improvement of the pneumothermal method of obtaining needles should be carried out in the direction of theoretical and experimental substantiation of the modes of operation of the mobile unit for the separation of needles.

Key words:

needle,
textile fiber,
morphological analysis,
vacuum pump,
pneumothermal method

Article history:

Received 01.09.2022

Accepted 30.09.2022

*Corresponding author:

alexgop2017@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.842

To cite this article:

Tkachuk, O., Herasymchuk, A., & Reznikova, V. (2022). Pneumothermal method of obtaining coniferous needles for production of textile fibers. *Agricultural Machines*, 48, 67-73. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.842>

УДК 630*8:677.1

ПНЕВМОТЕРМІЧНИЙ СПОСІБ ОТРИМАННЯ ХВОЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕКСТИЛЬНИХ ВОЛОКОН

О.Л. Ткачук¹, О.П. Герасимчук^{1*}, В.В. Резнікова²¹Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна²Херсонський державний аграрно-економічний університет, Кропивницький, Україна

AGRICULTURAL MACHINES

**А
С М М**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Сучасні лісівничі та екологічні вимоги обумовлюють потребу використання більш досконалих технологій та техніки для повної переробки крон дерев хвойних порід. Зокрема, хвоя використовується для виробництва хвойного екстракту та ефірної олії, кормів, органічних добрив, целюлози та біопалива. Перспективним є отримання волокнистих матеріалів із деревної сировини, зокрема отримання текстильного волокна із хвої. Відомі способи отримання хвої за принципом дії класифікують на: механічний, пневмомеханічний, електрогідролічний, високочастотним полем, криогенний. Ці способи отримання хвої мають значні недоліки з огляду на можливість її використання для виготовлення текстильних волокон та є енерговитратними. Заготівля хвої для виготовлення текстильних волокон нерозривно пов'язана із заготівлею дерев хвойних порід. Для синтезу варіантів технологічного процесу отримання хвої використано метод морфологічного аналізу. У процесі заготівлі дерев хвойних порід виокремлено характерні функціональні морфологічні ознаки: звалювання дерев; трелювання дерев; розкряжовування дерев; руйнування зв'язків хвої з гілками; відокремлення хвої від гілок та її транспортування до хвоезбірника. За кожною із морфологічних ознак складено максимально повний перелік можливих варіантів технічних рішень. Запропоновано технологічне обладнання для заготівлі хвої: звалювально-пакетувальна машина, форвардер, процесор та мобільна установка для відокремлення хвої, яка складається з сушильної камери, вакуумної системи транспортування та збірника хвої. Подальші дослідження з удосконалення пневмотермічного способу отримання хвої доцільно виконувати у напрямі теоретичного та експериментального обґрунтування режимів роботи мобільної установки для відокремлення хвої.

Ключові слова:

хвоя,
текстильне волокно,
морфологічний аналіз,
вакуумний насос,
пневмотермічний спосіб

Історія публікації:

Отримано 01.09.2022

Затверджено 30.09.2022

*Автор для листування:

alexgor2017@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.842

Цитувати цю статтю:

Ткачук, О. Л., Герасимчук, О. П., & Резнікова, В. В. (2022). Пневмотермічний спосіб отримання хвої для виготовлення текстильних волокон. *Сільськогосподарські машини*, 48, 67-73. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.842>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сучасні лісівничі та екологічні вимоги обумовлюють потребу використання більш досконалих технологій та техніки для повної переробки крон дерев хвойних порід, зокрема хвої. Хвоя використовується для виробництва:

- хвойного екстракту та ефірної олії (Волинське ОУЛМГ, 2020);
- кормів: кормового борошна та добавок;
- органічних добрив;
- деревної целюлози для виробництва хімічних волокон (Gupta et al., 2020; Ткачук & Герасимчук, 2021);
- енергії: біогазу (Bisht et al., 2014; Dwivedi et al., 2016) та біовугілля (Mandal et al., 2021; Chaturvedi et al., 2022).

Перспективним напрямом переробки хвої, що потребує ґрунтового дослідження, є отримання природних волокнистих матеріалів із неї. Зокрема, технологія одержання з соснових голок волокнистого матеріалу, так званої «лісової вовни», яка застосовувалася в давнину. Це волокно використовувалося для виготовлення теплих в'язаних речей та вважалося корисним для здоров'я (Ткачук & Герасимчук, 2021). Проте, ця технологія на сьогодні не впроваджена у промислових масштабах.

Отримання текстильного волокна із хвої потребує наявності високоякісної сировини – хвої, що відокремлена від інших складових частин крони (кори та гілок), які є сміттєвими домішками.

Способи отримання хвої за принципом дії класифікують на (Пивовар & Герасимчук, 2021):

- механічний;
- пневмомеханічний;
- електрогідрравлічний;
- високочастотним полем;
- криогенний.

Механічний спосіб є найбільш поширеним і здійснюється за допомогою стаціонарних та пересувних відокремлювачів хвої шляхом дії на гілки із хвою робочих органів барабанного типу (Пивовар & Герасимчук, 2021). Під час контакту з робочими органами – валами та ножами (рис. 1) – хвоя пошкоджується (поверхневий шар і волокна). Також отримана сировина потребує додаткового сортування перед подальшою переробкою на волокно.

Пневмомеханічний спосіб передбачає поділ попередньо подрібненої механічним

шляхом крони дерева на фракції за допомогою установки, що складається з рубальної машини барабанного типу та вузла пневмосепарування (Пивовар & Герасимчук, 2021). Це дозволяє на задовільному рівні відокремити хвою від домішок. Проте, під час поділу проміжна фракція піддається повторному подрібненню (рис. 2), а отже пошкодженню волокон, тобто основний недолік механічного способу посилюється.

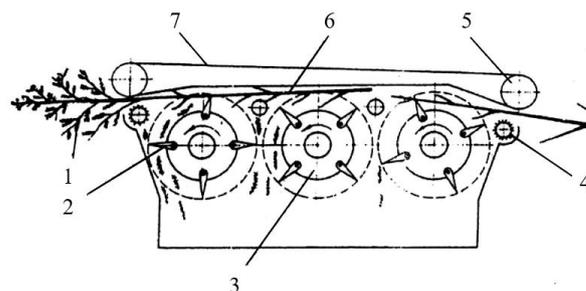


Рис. 1 – Пристрій для механічного відокремлення хвої ОДЗ-3,0:

1 – гілка; 2 – ножі; 3 – барабан; 4, 5 – вали притисні; 6 – вали опорні; 7 – транспортер

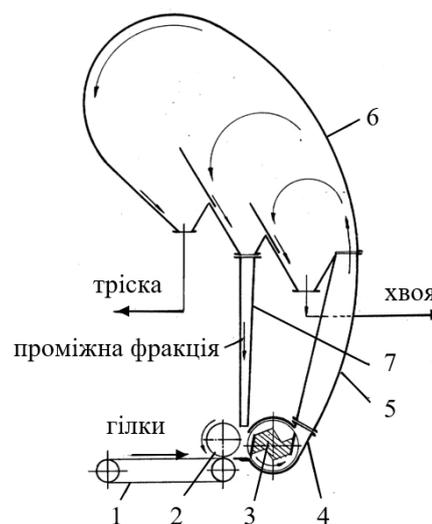


Рис. 2 – Пневмомеханічний пристрій для відокремлення хвої:

1 – транспортер; 2 – вал; 3 – ротор ножевий барабанний; 4 – корпус; 5 – тріскопровід; 6 – бункер; 7 – лоток

Електрогідрравлічний спосіб ґрунтується на явищі електрогідрравлічного удару, що виникає під час проходження через воду електричного струму потужністю 10 кВт та спричиняє відокремлення хвої від гілок (Пивовар &

Герасимчук, 2021). Недоліком цього способу є необхідність видалення вологи з отриманої хвої, а також втрата хвоєю структурно-клітинної цілісності та зниження якості отриманого волокна.

Відокремлення хвої високочастотним полем проводиться у діелектричній камері, в якій створюється надвисокочастотне поле (Пивовар & Герасимчук, 2021). Цей спосіб є досить складним у реалізації, потребує значних затрат енергії і не забезпечує повного відокремлення хвої від гілок.

У теплоізольованій криогенній камері реалізується криогенний спосіб за температури від -24°C до -30°C , де гілки із хвоєю витримуються в газоповітряному середовищі до повного замерзання. Під час витримування відбувається кристалізація протоплазми у клітинах сполучних тканин хвої із гілками, сполучні тканини стають крихкими та руйнуються механічною дією (Пивовар & Герасимчук, 2021).

Установка для відокремлення деревної хвої криогенним способом дозволяє отримати чисту хвою зі збереженням цінних речовин та забезпечити безпечну роботу пристрою. Недоліком криогенного способу є складність конструкції установки та значні енерговитрати на процес відокремлення хвої. Отже, наявні способи отримання хвої мають значні недоліки з огляду на можливість її подальшого використання для виготовлення текстильних волокон та є енерговитратними.

Мета дослідження – розробити енергоефективний спосіб отримання хвої для виготовлення текстильних волокон із максимальним збереженням структури та мінімальною кількістю домішок, що дозволить повністю переробляти крони хвойних дерев.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Під час розроблення способу отримання хвої та схеми установки застосовували метод морфологічного аналізу (Eriksson & Ritchey, 2002; Панкратова & Савченко, 2009) для синтезу варіантів та системний підхід для вибирання кращого технічного рішення.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Хвою для виготовлення текстильних волокон отримують під час заготівлі дерев

хвойних порід. Для синтезу варіантів цього технологічного процесу використовуємо метод морфологічного аналізу, що запропонований швейцарським вченим Фріцем Цвікі (Zwicky, 1989) і передбачає послідовний перебір усіх можливих варіантів рішення.

У технологічному процесі заготівлі дерев хвойних порід виокремимо характерні функціональні морфологічні ознаки:

- звалювання дерев;
- трелювання дерев;
- розкряжовування дерев;
- руйнування зв'язків хвої із гілками;
- відокремлення хвої від гілок та її транспортування до хвоезбірника.

За кожною із цих морфологічних ознак складено максимально повний перелік можливих варіантів технічних рішень для реалізації відповідних операцій (**таблиця**).

Після перебирання всіх можливих поєднань варіантів виділених морфологічних ознак було запропоновано технологічний процес (**рис. 3**):

1. Звалювання дерев, що виконується звалювально-пакетувальною машиною. Під час звалювання дерев необхідно забезпечити найменшу втрату деревної хвої, що обумовлена крихкістю пагонів та значно посилюється із зниженням температури повітря. Звалювально-пакетувальна машина оснащена маніпулятором із захоплювачем і циркулярною пилкою, яка захоплює дерева, їх спилує та укладає у пачки.

2. Трелювання дерев хвойних порід на верхній склад, що виконується форвардером. Необхідність збереження хвої для подальшого перероблення не допускає трелювання дерев із кроною на верхній склад трелювальними тракторами, оскільки зумовлює недопустимо великі втрати деревної хвої. Форвардер є двомодульною машиною, що оснащена кабіною з системою управління та вантажною платформою з краном-маніпулятором, який завантажує дерева із пачки на вантажну платформу та розвантажує їх на верхньому складі.

3. Розкряжовування дерев на верхньому складі, що виконується за допомогою процесора. Дерев захоплюються процесором за вершину, обрізаються гілки та, після обертання на 180° , розкряжовуються. У результаті гілки із хвоєю складаються в купи, а сортименти – у штабеля.

Таблиця – Морфологічна таблиця

Морфологічна ознака	Варіанти технічного рішення				
Звалювання дерев	бензомоторна пила		звалювально-пакетувальна машина	лісозаготівельний комбайн (харвестер)	
Трелювання дерев	чокерний трелювальний трактор		безчокерний трелювальний трактор	форвардер (транспортер-навантажувач)	
Розкряжовування дерев	бензомоторна пила		процесор	лісозаготівельний комбайн (харвестер)	
Руйнування зв'язків хвої з гілками	механічний спосіб	електро-гідравлічний спосіб	термічний спосіб (сушіння)	високочастотне поле	кріогенний спосіб
Відокремлення хвої від гілок та її транспортування до хвосзбірника	механічний спосіб		пневматичний нагнітальний спосіб	пневматичний вакуумний спосіб	

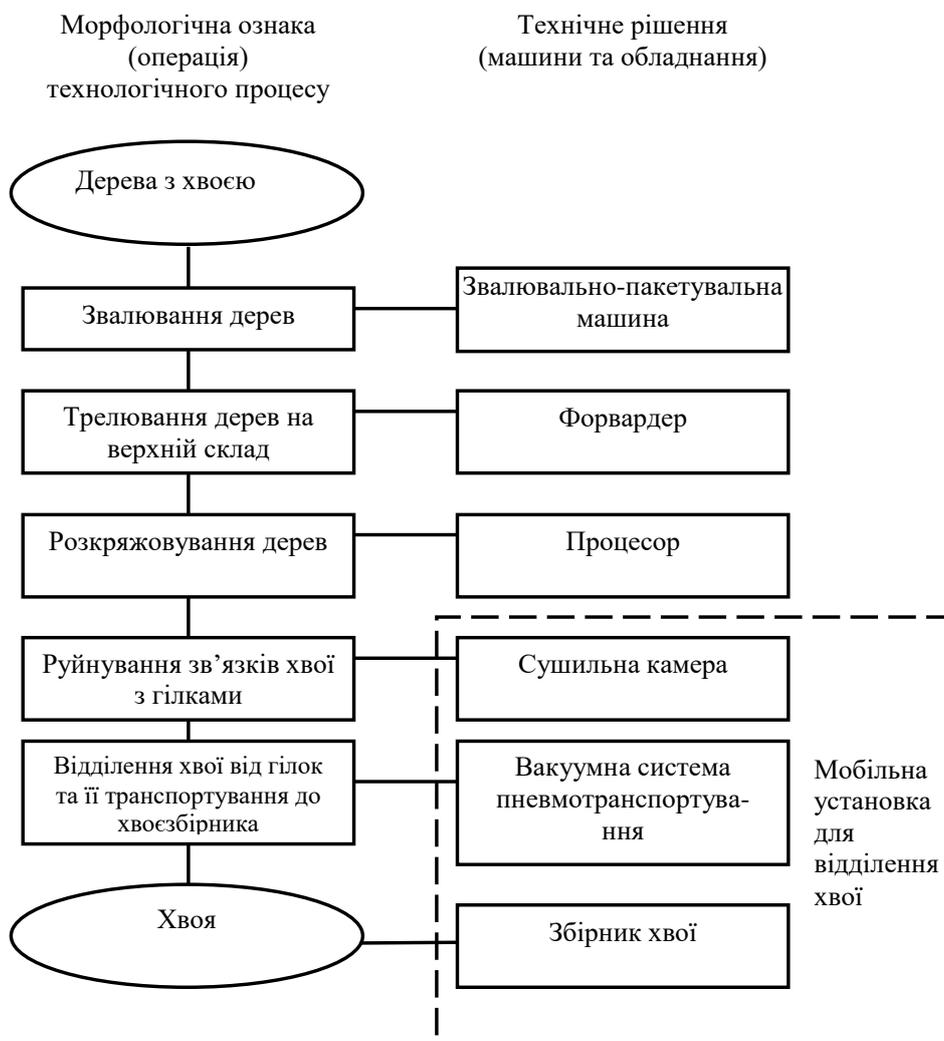


Рис. 3 – Технологічний процес, машини та обладнання для заготівлі хвої

4. Руйнування зв'язків хвої із гілками, що виконується у сушильній камері мобільної установки для відокремлення хвої (рис. 4). У процесі сушіння послаблюється зв'язок гілок з хвоєю, тому для їх відокремлення необхідно прикладати менші зусилля. Під час сушіння хвої зменшується вміст у ній корисних речовин, що може негативно позначитися на кількості та якості кінцевої продукції за комплексної переробки хвої. Проте, для використання хвої у виробництві текстильних волокон тривалість сушіння може бути збільшена.

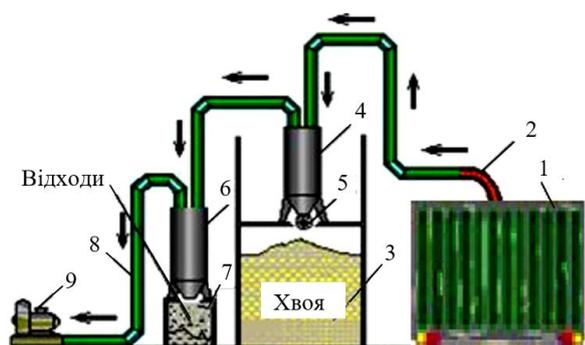


Рис. 4 – Принципова схема мобільної установки для відокремлення хвої:
1 – сушильна камера; 2 – всмоктувальний трубопровід; 3 – збірник хвої; 4 – циклон відокремлення хвої; 5 – шлюзовий затвор; 6 – циклон відокремлення відходів; 7 – збірник відходів; 8 – повітропровід

5. Відокремлення хвої від гілок та її транспортування до збірника хвої. Ця операція виконується вакуумною системою пневмотранспортування, яка є в конструкції мобільної установки для відокремлення хвої, основними складовими частинами якої є аеродинамічна сушильна камера, циклони, вакуумний насос та збірник хвої (рис. 4). Із сушильної камери всмоктується повітря разом із хвоєю та відходами. Гілки мають більшу масу, тому залишаються в сушильній камері. Суміш повітря із хвоєю надходить всмоктувальним трубопроводом у циклон відокремлення хвої. Відокремлення хвої відбувається під дією відцентрової сили. Хвоя через шлюзовий затвор надходить у збірник хвої. Очищення повітря від дрібних відходів відбувається у циклоні відокремлення відходів. Ці відходи надходять у збірник відходів. Вакуум у

повітропроводі забезпечується за допомогою вакуумного насоса.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що використання хвої для виготовлення текстильних волокон є доцільним. Для заготівлі хвої рекомендується застосовувати пневмотермічний спосіб, який ґрунтується на технологічному процесі заготівлі дерев хвойних порід та містить технологічні операції: звалювання дерев, трелювання дерев, розкрязування дерев, руйнування зв'язків хвої із гілками, відокремлення хвої від гілок та її транспортування до збірника хвої. Для синтезу варіантів технологічного процесу використано метод морфологічного аналізу, що дозволило запропонувати технологічне обладнання для заготівлі хвої: звалювально-пакувальну машину, форвардер, процесор та мобільну установку для відокремлення хвої, яка містить сушильну камеру, вакуумну систему пневмотранспортування та збірник хвої. Подальші дослідження доцільно виконувати у напрямі теоретичного та експериментального обґрунтування технологічних режимів роботи мобільної установки для відокремлення хвої, принципова схема якої представлена на рис. 4.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Bisht, A. S., Singh, S., & Kumar, S. R. (2014). Pine needles a source of energy for himalayan region. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3(12), 161-164.
- Chaturvedi, S., Singh, S. V., Dhyani, V. C., Govindaraju, K., Vinu, R., & Mandal, S. (2021). Characterization, bioenergy value, and thermal stability of biochars derived from diverse agriculture and forestry lignocellulosic wastes. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01239-2>
- Dwivedi, R. K., Singh, R. P., & Bhattacharya, T. K. (2016). Studies on bio-pretreatment of pine needles for sustainable energy thereby preventing wild forest fires. *Current Science*, 111(2), 388-394.
- Eriksson, T., & Ritchey, T. (2002). Scenario development using computerised morphological analysis. In: *Adapted from Papers Presented at the Cornwallis and Winchester International OR Conferences*. England.
- Gupta, P. K., Joshi, G., Rana, V., Rawat, J. S., & Sharma, A. (2020). Utilization of pine needles for preparation of sheets for application as internal packaging material. *Indian Forester*, 146(6), 538-543. <http://doi.org/10.36808/if/2020/v146i6/150420>

- Mandal, S., Sharma, R. K., Bhattacharya, T. K., Tanna, H., & Haydary, J. (2022). Charring of pine needles using a portable drum reactor. *Chemical Papers*, 76, 1239-1252. <https://doi.org/10.1007/s11696-021-01893-4>
- Zwicky, F. (1989). *Morphologische Forschung*. Glarus: Baeschlin.
- Волинське ОУЛМГ. (2020). *Екстракт хвойний натуральний: виробництво унікального продукту стимулює до більш раціонального використання деревини (Natural coniferous extract: the production of a unique product stimulates more rational use of wood)*. Retrieved August 10, 2022, from <https://lisvolyn.gov.ua/?p=48314>
- Панкратова, Н. Д., & Савченко, І. О. (2009). Стратегія застосування методу морфологічного аналізу в процесі технологічного передбачення (*Applying the method of morphological analysis in technological forecasting process*). *Наукові вісники НТУУ «КПІ»*, 2, 35-44.
- Пивовар, С., & Герасимчук, О. (2021). Огляд обладнання для отримання високоякісної деревної хвої (*Overview of equipment for obtaining high-quality wood needles*). В: *I студентська науково-технічна конференція: Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні* (С. 97-101). Луцьк: ЛНТУ.
- Ткачук, О., & Герасимчук, О. (2021). Стан та перспективи застосування деревної целюлози для виробництва хімічних волокон (*The state and prospects of the use of wood pulp for the production of chemical fibers*). В: *IX Ukrainian-Polish Scientific Dialogues: Conference Proceedings. International Scientific Conference, 20-23 October 2021* (pp. 204-205). Khmelnytskyi, Ukraine.

LOADER WORKING BODY FOR THE SOFT-SIDED STORAGE CONTAINERS LOADING

V. Putz^{1*}, P. Meles¹, V. Martyniuk¹, A. Shymko²

¹Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

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

AGRICULTURAL MACHINES

AM
CM

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

Natural and climatic conditions of Ukraine are very favorable for growing berries and fruits. The development of the fruit and vegetable industry in Ukraine requires the mechanization of many production processes in order to increase the quality of products, reduce their cost by reducing manual labor. That's why technologies for harvesting berries and fruits need to be improved. Also, a new equipment, which would reduce yield losses of berries and fruits, must be developed. One of the most important problems of picking berries and fruits is the use of manual labor, which leads to an increase in the cost of finished products. It should be noted that in the technological process of picking berries and fruits, the most time-consuming operations are the operations of the loading and unloading cycle. Taking into account the above, improving the technology of picking berries and fruits due to the mechanization of work, in particular, loading and unloading, is a very urgent task. Solving this problem is possible due to the development of a new gripping mechanism of loader. During the analysis of fruit harvesting technology, it was found that loading and transport operations have a significant impact on the quality of fruit and vegetable products. Therefore, during the design development of loader working body, it is necessary to take into account a certain feature, namely, that the interaction of the loader working bodies occurs with easily deformable containers. This requires the use of special working bodies. For soft-sided storage containers with berries, the grabber design, which can be installed on a forklift and used for loading and unloading operations, is proposed in the article. For determining the holding force of soft containers, the equation was obtained. It was established that the magnitude of this force depends on the design parameters of the gripper. The proposed scheme of a variable working body is recommended for implementation at agricultural enterprises specializing in the cultivation of berries and fruits.

Key words:

loader,
gripping mechanism,
soft-sided storage container,
loading and unloading operations,
picking fruits and berries

Article history:

Received 02.09.2022

Accepted 03.10.2022

*Corresponding author:

putsvs@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi48.863

To cite this article:

Putz, V., Meles, P., Martyniuk, V., & Shymko, A. (2022). Loader working body for the soft-sided storage containers loading. *Agricultural Machines*, 48, 74-80. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.863>

УДК 634.1-13

**РОБОЧИЙ ОРГАН НАВАНТАЖУВАЧА ДЛЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ
М'ЯКИХ КОНТЕЙНЕРІВ****В.С. Пуць^{1*}, П.П. Мелесь¹, В.Л. Мартинюк¹, А.В. Шимко²**¹Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна²Національний університет водного господарства та природокористування,
Рівне, Україна

AGRICULTURAL MACHINES

**А
С
М**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Відомі технології збирання ягід та фруктів потребують удосконалення та розроблення нових технічних засобів, які б зменшували втрати урожаю. Одна із найбільш важливих проблем збирання ягід та фруктів – це використання ручної праці і, як наслідок, зростання собівартості готової продукції. Необхідно зазначити, що в технологічному процесі збирання ягід та фруктів найбільш трудомісткими є операції навантажувально-розвантажувального циклу. Із урахуванням зазначеного, удосконалення технології збирання ягід та фруктів за рахунок механізації робіт, зокрема, навантажувально-розвантажувальних, є дуже актуальним завданням. Вирішення цієї задачі можливе внаслідок розроблення нових і удосконалення відомих завантажувачів. Під час аналізу технології збирання плодів встановлено, що значний вплив на якість плодоовочевої продукції чинять навантажувальні та транспортні операції. Це зумовлює потребу під час розроблення конструкції робочого органу навантажувача враховувати певну особливість – взаємодія робочих органів навантажувача відбувається із легко деформівними контейнерами. Це потребує використання спеціальних робочих органів. У статті запропоновано конструкцію захоплювача м'яких контейнерів із ягодами, який можна встановлювати на навантажувач та застосовувати його для виконання навантажувально-розвантажувальних робіт. Також отримано математичну залежність для визначення сили утримання контейнерів. Встановлено, що величина цієї сили залежить від конструктивних параметрів захоплювача. Запропонована схема змінного робочого органу рекомендована до запровадження на агропідприємствах, що спеціалізуються на вирощування ягід та фруктів.

Ключові слова:

навантажувач,
захоплювальний механізм,
м'який контейнер,
навантажувально-
розвантажувальні роботи,
збирання фруктів та ягід

Історія публікації:

Отримано 02.09.2022

Затверджено 03.10.2022

***Автор для листування:**

putsvs@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi48.863

Цитувати цю статтю:

Пуць, В.С., Мелесь, П.П., Мартинюк, В.Л., & Шимко, А.В. (2022). Робочий орган навантажувача для завантаження м'яких контейнерів. *Сільськогосподарські машини*, 48, 74-80. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.863>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Природно-кліматичні умови на території України сприятливі для вирощування культур плодовоовочевої групи. Дослідження ринку овочів та фруктів показує, що їх вирощування є дуже привабливим та перспективним для сільськогосподарських підприємств, оскільки зростає попит на них як в Україні, так і у світі (Рожко, 2020). Розвиток плодовоовочевої галузі в Україні потребує запровадження механізації багатьох виробничих процесів із метою підвищення якості продукції, зменшення її собівартості за рахунок зменшення ручної праці. Ручна праця, передусім під час збирання урожаю та пакування продукції, сягає 50%. Цей недолік можливо усунути шляхом запровадження комплексної механізації для навантажувальних операцій. Із цією метою потрібно вирішити задачу удосконалення технології збирання, а також технічних засобів для її реалізації, зокрема для навантаження та транспортування зібраного урожаю.

Технологічний процес у плодовоовочевих господарствах містить операції збирання

урожаю, його пакування в тару, складування, завантаження та транспортування. Причому, кожна із зазначених технологічних операцій впливає на якість фруктів та ягід, і, відповідно, їх вартість.

Вплив навантажувальних і транспортних операцій на якість плодовоовочевої продукції досліджено науковцями Каверин (1976), Успенський та ін. (2015a), Успенський та ін. (2015b). Зокрема, у роботі (Каверин, 1976) визначено основні фактори, які впливають на пошкодження плодів. Серед цих факторів є тип тари і навантажувально-розвантажувальні та транспортні засоби.

Навантажувальні операції виконуються навантажувачами: самохідними фронтальними навантажувачами, електронавантажувачами, телескопічними навантажувачами (Николаев та ін., 2018; Рожко, 2020; Семашко & Петрусевич, 2011; Сметнев & Владыкина, 2006). Крім самохідних навантажувачів, зокрема у фермерських господарствах, використовують також самохідні шасі, наприклад, Т-16, Т-16М, Т-16МГ, ВТЗ-30СШ, СШ-2540, із навісними навантажувачами (рис. 1).



а



б



в

Рис. 1 – Навантажувачі для сільського господарства:

а – самохідний фронтальний навантажувач Claas; б – електронавантажувач UniCarriers TX3; в – телескопічний навантажувач Manitou

Аналіз навантажувальних засобів (Базанов & Забегалов, 1979; Вернер, 2002; Николаев та ін., 2018; Рожко, 2020; Семашко & Петрусевич, 2011; Сметнев & Владыкина, 2006) показав, що вони успішно використовуються для піднімання та транспортування вантажів у сільському господарстві, зокрема рулонів і тюків сіна, а також інших габаритних вантажів. Водночас, необхідно наголосити на особливостях вантажів у плодоовочевій галузі. Пакування овочів і фруктів проводять в безпечні та екологічно чисті упаковки: поліетиленова плівка, спеціальний папір, стружка, пластикові порційні контейнери тощо. Основне призначення упаковки – запобігти тертю і ударам плодів, оскільки ці процеси можуть у подальшому негативно вплинути на якість плодів.

Для транспортування плодів доцільно розробляти захоплювачі та використовувати маніпулятори, які встановлюються на самохідні шасі (Пындак та ін., 2016; Несмиянов та ін., 2019). Відомі наукові праці (Смелягин & Бабенко, 2011; Ширинкин та ін., 2010), які присвячені розробленню спеціальних роботів, що призначені для виконання технологічних операцій в плодоовочевій галузі (рис. 2).



а



б

Рис. 2 – Використання роботів у плодоовочевій галузі:
а – Agrobot SW6010; б – Robot Apple Harvester

Мета дослідження – розробити модель змінного захоплювального робочого органу навантажувача, який можна використовувати для піднімання та транспортування плодово-ягідної продукції, що укладена в м'яку тару.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для розроблення конструкції механізму, що призначений для захоплення м'якої тари, використано метод аналізу науково-технічної інформації, в якій представлені технічні засоби, що використовуються для виконання навантажувально-розвантажувальних робіт під час збирання ягід у м'яку тару. Проведено також структурний синтез запропонованого механізму для навантажувача з вилами.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Нині для вкладання та транспортування ягід використовується різна високоякісна тара. Ця тара (рис. 3), переважно, виготовляється із високоякісного пластику та інших матеріалів, що забезпечують належне транспортування та зберігання вантажу будь-якого характеру. Також транспортування ягід проводять у картонних ящиках.



Рис. 3 – Контейнери для ягід

Для захоплення м'яких контейнерів із ягодами пропонується використовувати навантажувач, який містить змінний робочий орган із двома вилами та захоплювальним механізмом (рис. 4). Механізм монтується на навантажувач за потреби навантаження, транспортування та розвантаження м'яких контейнерів. Механізм приводиться в рух від гідроциліндра. Захоплювачі механізму мають гумові накладки із хвилястою або рифленою поверхнею. Гума забезпечує виникнення додаткових сил тертя на поверхні контакту захоплювача та контейнерів і дозволяє дещо зменшити силу притискання, яка необхідна для утримання контейнеру. Крім того, уникнення контакту із твердою металевою поверхнею зменшує ймовірність пошкодження стінок контейнерів. Захоплювачі прикріплені до пластин із можливістю заміни за потреби. Пластина кріпиться до косинок, які шарнірно з'єднані з повзунами, що мають можливість переміщуватися в середині горизонтального стрижня (рис. 4). Переміщення повзунів відбувається у випадку зміни положення пантографоподібного стрижневого механізму.

Вантаж, який захоплюється механізмом, утримується силами P , що виникають внаслідок дії захоплювачів. Тобто має місце силове замикання, яке забезпечує утримання вантажу. Вантаж (контейнери з ягодами) має потрапити на вила навантажувача. Щоб вила не пошкодили вантаж, його потрібно дещо підняти над поверхнею, на якій вони виставлені перед завантаженням.

Для захоплення початкове положення захоплювача має бути таким, щоб відстань між зовнішніми поверхнями гумових накладок була більшою за ширину м'яких контейнерів із плодами, які встановлюються на вила навантажувача (рис. 5):

$$l > 2c + \Delta, \quad (1)$$

де l – початкова (конструктивна) відстань між зовнішніми поверхнями гумових накладок захоплювача, м; c – довжина контейнерів із плодами, м; Δ – відстань між контейнерами за умови, що вони заходять із деяким зміщенням (положення показано на рис. 5 розривною лінією) відносно осей вилок навантажувача, м.

Ширина контейнерів із ягодами для виконання умови (1) та унеможливлення значного їх перекосу має становити:

$$c \leq (a - b) / 2. \quad (2)$$

На захоплювачах необхідно передбачити виступи (рис. 4) з довжиною щонайменше $c/3$.

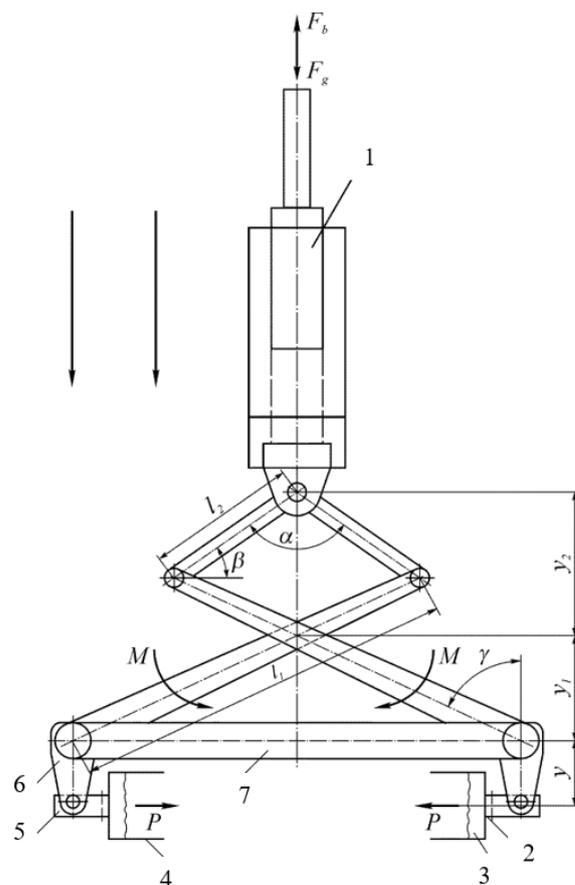


Рис. 4 – Схема захоплювального механізму: 1 – гідроциліндр; 2 – захоплювачі; 3 – гумові накладки; 4 – виступи; 5 – пластини; 6 – косинки; 7 – горизонтальний стрижень

Довжина нижньої горизонтальної ланки має становити (рис. 5):

$$L = l + 2\nabla + 2r = l + 2\nabla + d, \quad (3)$$

де ∇ – довжина пластини кріплення, м; d – діаметр шарнірів, м.

Сила F_b , яка забезпечує утримання вантажу, значним чином буде залежати від відносного положення важелів механізму, тобто кутів α та β , а також довжин важелів l_1 та l_2 (рис. 4). Для утримання вантажу потрібно створити зусилля, яке буде перевищувати зусилля F_g .

Якщо припустити, що контейнери із плодами утримуються за рахунок сил тертя,

які виникають на площині контакту їхніх бічних стінок і гумових накладок, тоді має виконуватися умова:

$$P > G / (2f), \quad (4)$$

де f – коефіцієнт тертя; P – сила притискання контейнеру, Н; G – вага вантажу, Н.

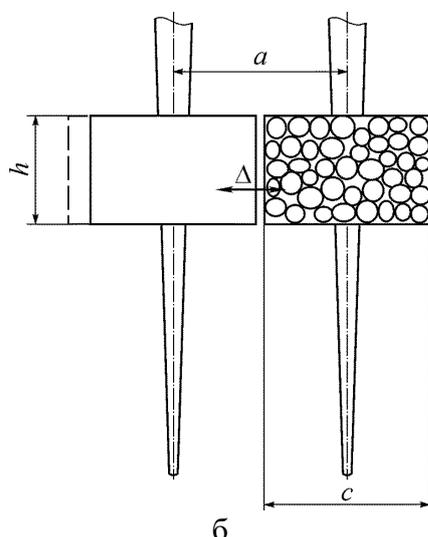
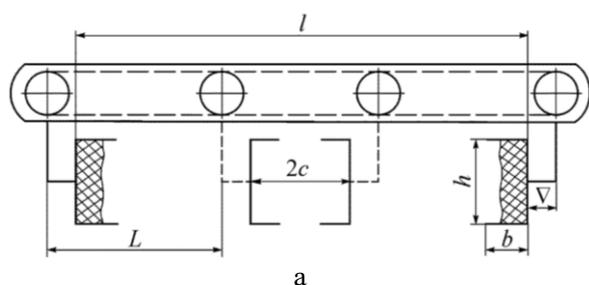


Рис. 5 – Схема встановлення контейнерів із ягодами (h – ширина контейнерів, a – відстань між осями вил):

- a – нижня ланка із захоплювачами;
- b – розташування контейнерів на вилах

Під час роботи механізму на ланки діє момент M (рис. 4), який впливає на величину сили захоплення F_E . Із урахуванням моменту M , матимемо умову для сили F_E :

$$F_E > \frac{\sum_{j=1}^2 M_j \cos \alpha}{l_1 \eta_p}, \quad (5)$$

де F_E – сила, яка утримує вантаж, Н; l_1 – довжина важеля, м; η_p – ККД, який враховує

втрати на тертя у системі важелів механізму ($\eta_p = 0,9-9,95$ (Романчук та ін., 2014)); M – момент, що прикладено до важеля, Н·м.

Визначимо момент, який прикладено до важеля механізму:

$$M_j = P_j \cdot a, \quad (6)$$

де a – відстань від накладки механізму до точки контакту з гідроциліндром (рис. 4), м.

Згідно рис. 4 маємо відстань a :

$$a = y + y_1 + y_2, \quad (7)$$

де y, y_1, y_2 – відстані між конструктивними елементами механізму (рис. 4), м.

Визначимо відстані y_1 та y_2 (рис. 4):

$$y_1 = (l_1 - l_2) \cdot \cos \gamma, \quad (8)$$

$$y_2 = 2l_2 \cdot \cos (\alpha / 2), \quad (9)$$

де l_1, l_2 – довжина важелів, м; γ – кут між віссю важеля та вертикаллю, град.

Із урахуванням виразів (8) і (9), матимемо:

$$M = P \cdot (y + (l_1 - l_2) \cdot \cos \gamma + 2l_2 \cdot \cos (\alpha / 2)). \quad (10)$$

Тоді сила, яка необхідна для утримання вантажу, визначається з умови:

$$F_E > \frac{2Pa \cos \alpha}{l_1 \eta_p}. \quad (11)$$

ВИСНОВКИ

Для навантаження та транспортування ягід у м'якій тарі розроблено схему змінного робочого органу, який містить дві вилки та захоплювальний механізм. Також отримано умову для визначення сили утримання м'яких контейнерів розробленим механізмом. Запропонований змінний робочий орган рекомендується до використання разом із навантажувачами для виконання широкого спектру завдань в агропідприємствах.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Базанов, А. Ф., & Забегалов, Г. В. (1979). *Самоходные погрузчики (Self propelled loaders)*. Москва: Машиностроение.
- Вернер, Е. А. (2002). Краткое описание конструкции, результаты испытаний и техническая характеристика четырех новых

- навесных телескопических погрузчиков (*Brief description of the design, test results and technical characteristics of four new mounted telehandlers*). *AgroBonus*, 53(1), 64-73.
- Каверин, В. А. (1976). О причинах механических повреждений плодов и овощей при транспортировании (*On the causes of mechanical damage to fruits and vegetables during transportation*). *Консервная и овощесушильная промышленность*, 9, 17-19.
- Несмиянов, И. А., Николаев, М. Е., Захаров, Е. Н., & Карева, Н. В. (2019). Статическая устойчивость погрузочно-транспортного агрегата на базе самоходного шасси (*Static stability of a loading and transport unit based on a self-propelled chassis*). *Сельский механизатор*, 7, 28-29.
- Николаев, М. Е., Несмиянов, И. А., & Дяшкин, А. В. (2018). Погрузочно-транспортный робот для сбора упаковок с овощами (*Loading and transport robot for picking up packages of vegetables*). В: *Материалы международной научно-практической конференции «Прогресс транспортных средств и систем»* (с. 127-128). Волгоград, Россия.
- Пындак, В. И., Воробьева, Н. С., & Фомин, С. Д. (2016). Кинематические возможности погрузочных манипуляторов на базе пространственных механизмов (*Kinematic capabilities of loading manipulators based on spatial mechanisms*). *Известия НВ АУК*, 1(41), 190-194.
- Рожко, Н. Я. (2020). Розвиток ринку овочів та фруктів на засадах симбіозу конфронтації та кооперації (*Development of the vegetable and fruit market based on the symbiosis of confrontation and cooperation*). *Економіка та управління підприємствами*, 39, 219-225. <https://doi.org/10.32843/infrastructure39-36>
- Романчук, С. И., Сухоцкий, П. Г., Фролов, И. С., & Курч, Л. В. (2014). Автоматизация производственных процессов в машиностроении (*Automation of production processes in mechanical engineering*). Белорусский национальный технический университет, Минск.
- Семашко, В. Ю., & Петрусевич, В. Ю. (2011). Сельскохозяйственные погрузчики (*Agricultural loaders*). *Техника и оборудование для села*, 11(173), 22-23.
- Смелягин, А. И., & Бабенко, Е. В. (2011). Моделирование структуры роботов и манипуляторов (*Modeling the structure of robots and manipulators*). *Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского*, 4(2), 315-317.
- Сметнев, А. С., & Владыкина, И. В. (2006). Классификация погрузчиков сельскохозяйственного назначения (*Classification of agricultural loaders*). *Вестник российского государственного аграрного заочного университета*, 1(6), 221-223.
- Успенский, И. А., Юхин, И. А., Жуков, К. А., Зейналов, Э. А., & Шафоростов, В. А. (2015а). Перспективы развития транспортной техники для внутрихозяйственных перевозок плодовоовощной продукции в агропромышленном комплексе (*Prospects for the development of transport equipment for on-farm transportation of fruits and vegetables in the agro-industrial complex*). Рязань: Изд. ФГБОУ ВПО РГАТУ.
- Успенский, И. А., Юхин, И. А., Шафоростов, В. А., & Воронкин, Н. М. (2015б). Техника, технологии и оборудование для вывозки плодов из сада (*Machinery, technologies and equipment for the removal of fruits from the garden*). *Научный журнал КубГАУ*, 3(107), 459-472.
- Ширинкин, М. А., Глазунов, В. А., & Палочкин, С. В. (2010). Разработка манипуляционного механизма параллельной структуры с четырьмя степенями свободы (*Development of a manipulation mechanism for a parallel structure with four degrees of freedom*). *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 1, 102-107.

KINEMATICS OF THE DISC-BELT FLAX PULLING DEVICE

S.M. Yukhymchuk*, M.M. Tolstushko, S.F. Yukhymchuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES

AM
CM

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

The new design of the disc-belt flax pulling device, which will increase the durability of the pulling belts and reduce the material consumption of the flax pulling machine, is described in the article. The disc-belt flax pulling device consist of a prefabricated frame and dividers. The proposed flax pulling device and a transverse conveyor are located on the frame. Moreover, the flax pulling device is made in the form of active pulling discs that contact the pulling belts, each of which is mounted on two rollers, one of which is spring-loaded. The pulling belt does not transmit torque from the drive pulley to the driven pulley, as a result of which the belt stretches less. The geometrical parameters of the pulling section of the disc-belt flax pulling device were established. Namely, the dimensions of the pulling disk, belt drive and the length of the pulling shaft were determined. A kinematic analysis of the flax pulling process was carried out. Theoretical studies were based on the basic principles of higher mathematics, physics and theoretical mechanics, the theory of mechanisms and machines. Analysis of mathematical models was carried out with the help of applied computer programs, in particular in the computer mathematics environment Maple V. According to the equations, the trajectories of the flax stem movement were constructed for various indicators of the speed regime of the pulling device. It was studied how the indicator of the speed regime of the pulling device and the angle of inclination of the pulling device to the horizontal affect the length of the trajectory of the flax stem movement by the pulling device. The conditions for selecting the indicator of the speed regime of the flax pulling device was considered. It was established that the flax puller speed should not exceed the circular speed of pulling disk rotation. The performed calculations confirmed that the selected geometric and kinematic parameters of the pulling section of the disc-belt flax puller will ensure the complete extraction of flax stalks from the soil.

Key words:

flax pulling,
flax stalks,
flax pulling device,
flax pulling device parameters,
speed regime indicator

Article history:

Received 02.09.2022

Accepted 04.10.2022

***Corresponding author:**

uyhimchyksveta@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.865

To cite this article:

Yukhymchuk, S. M., Tolstushko, M. M., & Yukhymchuk, S. F. (2022). Kinematics of the disc-belt flax pulling device. *Agricultural Machines*, 48, 81-87. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.865>

УДК 631.358

КІНЕМАТИКА ДИСКОВО-ПАСОВОГО ЛЬОНОБРАЛЬНОГО АПАРАТА

С.М. Юхимчук*, М.М. Толстушко, С.Ф. Юхимчук

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

AGRICULTURAL MACHINES

АМ
СММ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

У статті представлено опис нової конструкції дисково-пасового льонобрального апарата, що дозволить підвищити довговічність бральних пасів апарата та зменшити матеріаломісткості машини. Це досягається за рахунок того, що бральні паси не передають тягових зусиль, а виконують тільки затискання і утримування стебел льону. Дисково-пасовий льонобральний апарат містить збірну раму та розташовані на ній подільники, бральний вузол і поперечний транспортер. Причому, бральний вузол виконано у вигляді активних бральних дисків, що контактують із бральними пасами, кожен із яких встановлено на двох роликах, один з яких підпружинений. Обґрунтовано геометричні параметри бральної секції дисково-пасового льонобрального апарата. А саме, розміри брального диска, пасової передачі та визначено довжину брального ривчака. Проведено кінематичний аналіз процесу брання льону. Теоретичні дослідження базувалися на основних положеннях вищої математики, фізики і теоретичної механіки, теорії механізмів і машин. За одержаними рівняннями у просторовій системі координат були побудовані траєкторії руху точки затискання стебла льону бральним ривчаком за різного швидкісного режиму брального апарата. Досліджено залежність довжини траєкторії руху стебла льону бральним ривчаком від зміни показника швидкісного режиму брального апарата і кута нахилу брального апарата до горизонталі. Розглянуто умови вибору показника швидкісного режиму льонобрального апарата. Встановлено, що швидкість льонозбиральної машини не має перевищувати значення колової швидкості обертання брального диска. Проведені розрахунки підтвердили, що підібрані геометричні та кінематичні параметри бральної секції дисково-пасового льонобрального апарата забезпечать повне витягування стебел льону із ґрунту та високу чистоту брання льону.

Ключові слова:

брання льону,
стебла льону,
льонобральний апарат,
параметри льонобрального апарата,
показник швидкісного режиму

Історія публікації:

Отримано 02.09.2022

Затверджено 04.10.2022

***Автор для листування:**

yuhimchyksveta@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.865

Цитувати цю статтю:

Юхимчук, С. М., Толстушко, М. М., & Юхимчук, С. Ф. (2022). Кінематика дисково-пасового льонобрального апарата. *Сільськогосподарські машини*, 48, 81-87. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.865>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У науковій роботі (Юхимчук та ін., 2022) запропонована нова конструкція дисково-пасового браального апарата, в якому привод здійснюється безпосередньо на браальні диски, а паси притискають стебла льону до поверхні браальних дисків. Тобто браальний пас не передає крутного моменту від ведучого шківів до веденого шківів, тому менше розтягується під час роботи. Запропонований дисково-пасовий льонобраальний апарат розташовується під кутом до горизонталі та містить (рис. 1): збірну раму; подільники; браальний вузол, який містить браальні диски, браальні паси, ролики, підпружинені кріплення та напрямні прутки; поперечний транспортер.

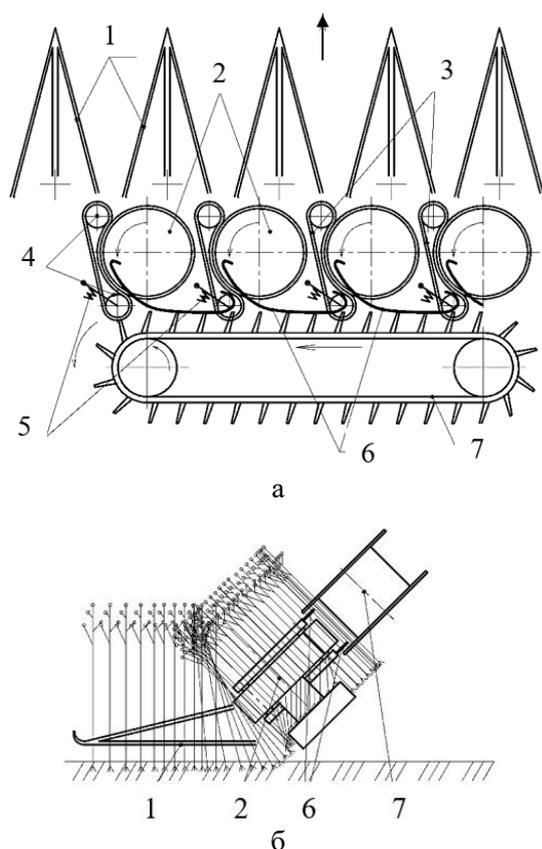


Рис. 1 – Види зверху (а) та збоку (б) дисково-пасового льонобраального апарата:
1 – подільники; 2 – браальні диски;
3 – браальні паси; 4 – ролики; 5 – підпружинені кріплення; 6 – напрямні прутки;
7 – поперечний транспортер

Дисково-пасовий льонобраальний апарат працює таким чином. Привод браальних дисків,

які обертаються в однаковому напрямку, здійснюється з картера рами. З одного боку кожен браальний диск охоплюється браальним пасом, який надітий на ролики. За рахунок підпружиненого кріплення верхнього ролика забезпечується постійний натяг браального паса і, відповідно, тиск у браальному рівчаку. Під час руху льонозбиральної машини полем подільники розділяють стеблостій льону на окремі смужки та спрямовують їх у гирла браальних рівчаків. Далі стебла льону затискаються між контактуючими поверхнями браальних дисків і браальних пасів, витягуються із ґрунту і переміщуються до виходу із браальних рівчаків, де захоплюються пальцями поперечного транспортера машини і, ковзаючи поверхнею напрямних прутків, переміщуються до виходу із дисково-пасового льонобраального апарата. Залежно від типу льонозбиральної машини стеблова стрічка або розстеляється на льонищі, або подається на наступні робочі органи машини для обчисування насінневих коробочок льону.

Запропонований льонобраальний апарат має меншу матеріаломісткість порівняно з аналогами. Підвищення довговічності браальних пасів забезпечується за рахунок того, що вони не передають тягових зусиль, а виконують лише затискання і утримування стебел льону.

Мета дослідження – обґрунтувати геометричні параметри браальної секції дисково-пасового льонобраального апарата та провести кінематичний аналіз процесу браання для забезпечення повного витягування стебел льону із ґрунту.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Теоретичні дослідження базувалися на основних положеннях вищої математики, фізики, теоретичної механіки та теорії механізмів і машин. Аналіз математичних моделей та графічні побудови здійснювалися за допомогою прикладних комп'ютерних програм, зокрема в середовищі комп'ютерної математики Maple V.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Підберемо за допомогою ескізного компоновання, використовуючи комп'ютерну програму КОМПАС, геометричні розміри

льонобральної секції. Аналогічно до відомих конструкцій льонобральних апаратів з чотирма рівчаками приймаємо ширину захвату однієї бральної секції $B = 380$ мм.

Під час компоновання враховувалися дві умови:

- довжина затискання стебел льону у бральному рівчаку повинна бути достатньою, щоб забезпечити брання стеблостою із різними характеристиками (висота, полеглість) і за різної швидкості льонозбиральної машини;

- гілки брального паса, який приводиться від брального диска, не повинні торкатися між собою.

У результаті графічного компоновання отримано геометричні параметри бральної секції (рис. 2): відстань між центрами бральних дисків апарата – 380 мм; радіус прогумованого брального диска – $R = 160$ мм; діаметри роликів пасової передачі – 80 мм; товщина брального паса – 10 мм; зазор між притискною та збігаючою гілками паса за умови, що в бральному рівчаку відсутні стебла, – 15 мм; довжина брального паса – 1000 мм; ширина брального диска і брального паса, за аналогією з відомими конструкціями пасових бральних апаратів, – 100 мм. Зона контакту брального диска і брального паса AB відповідає куту охоплення брального диска $\alpha = 80^\circ$, що в перерахунку на довжину зони обхвату становить:

$$L = 2\pi R\alpha / 360^\circ \approx 223 \text{ мм.} \quad (1)$$

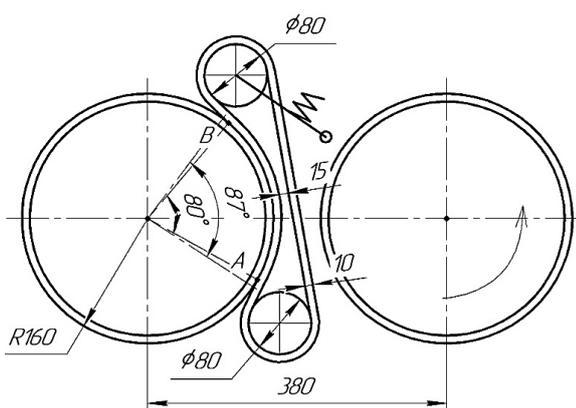


Рис. 2 – Компоновальна схема бральної секції

Необхідно зазначити, що під час брання льону, коли між бральним диском і бральним пасом знаходяться стебла льону, ця зона збільшується. Якщо стебла льону затиснуті в

один шар товщиною 1 мм, тоді ця зона буде характеризуватися кутом охоплення брального диска $\alpha = 86^\circ 30'$ та довжиною $L = 241$ мм. У випадку збільшення товщини стрічки стебел льону зона затискання також збільшиться.

Льонобральний апарат виконує дві основні функції – витягування стебел льону із ґрунту і їх переміщення до поперечного транспортера. При цьому затиснуті в бральних рівчаках стебла льону здійснюють складний рух, а саме: відносний рух внаслідок обертання брального диска та переносний – внаслідок руху льонозбиральної машини.

На рис. 3 представлена схема фронтальної проєкції льонобрального апарату у Декартовій системі координат $X'Y'$. Вісь Y' розташована горизонтально і спрямована вправо, а вісь X' – спрямована вниз. Стебло льону умовно позначене матеріальною точкою M , що рухається в системі координат $X'Y'$ кривою AB . При цьому швидкість точки M у бральному рівчаку V_p співпадає з коловою швидкістю обода брального диска і швидкістю переміщення брального паса (рис. 3). Швидкість V_p утворює з віссю Y' деякий змінний кут φ , залежно від якого значення проєкції швидкості V_x набуває або додатних, або від'ємних значень.

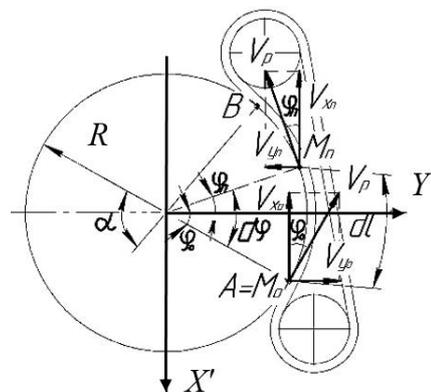


Рис. 3 – Схема до визначення швидкостей стебла льону у бральному рівчаку

Проекції швидкості V_p на осі X' та Y' визначаються із рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} V_x &= V_p \cos \varphi; \\ V_y &= V_p \sin \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

На криволінійних ділянках бральних рівчаків апарата кут φ рівний гострому куту

між проведеним у точку M радіусом кривизни та віссю X' (рис. 3), оскільки швидкість V_p спрямована вздовж дотичної до кривої і вектор V_p з радіусом утворює прямиий кут.

Під час переміщення бральним рівчаком стебло льону (точка M) за деякий час dt пройде шлях dl :

$$dl = V_p \cdot dt. \quad (3)$$

Цей самий шлях dl можна виразити через відповідну зміну кута $d\varphi$, як деяку довжину дуги кола:

$$dl = R \cdot d\varphi, \quad (4)$$

де R – радіус брального диска, м.

До цього рух стебла льону розглядався тільки під дією обертання брального диска і не враховуючи впливу швидкості поступального руху агрегата V_m . Під дією останнього фактора стебло набуває ще й переносної швидкості V_m . Відповідно, точку M розглядали в просторовій системі координат XYZ (рис. 4). Нерухомі осі координат X , Y та Z спрямовували таким чином: вісь X – паралельна до напрямку швидкості руху льонозбиральної машини V_m ; вісь Y – паралельна площині брального апарата та спрямована у напрямку руху затиснутих стебел; вісь Z – перпендикулярна до поверхні поля та спрямована вгору. При цьому вісь X' фронтальної площини льонобрального апарата утворює з віссю X кут β (кут нахилу брального апарата до горизонталі), а вісь Y' – паралельна до осі Y . При цьому швидкість V точки M у просторовій системі координат визначається як векторна сума проєкцій V_x , V_y та V_z :

$$\left. \begin{aligned} V_x &= V_{px} + V_m = V_p \cos \varphi \cos \beta + V_m; \\ V_z &= V_{pz} = V_p \cos \varphi \sin \beta; \\ V_y &= V_{py} = V_p \sin \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

За відомих значень проєкцій швидкостей V точки M визначаються проєкції на осі координат X , Y та Z переміщень dX , dY , dZ точки M залежно від часу dt :

$$\left. \begin{aligned} dX &= V_x dt; \\ dY &= V_y dt; \\ dZ &= V_z dt. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Виразивши для криволінійної ділянки dt через $d\varphi$ та прирівнявши праві частини рівняння (3) і (4), отримаємо:

$$dt = \frac{R}{V_p} d\varphi. \quad (7)$$

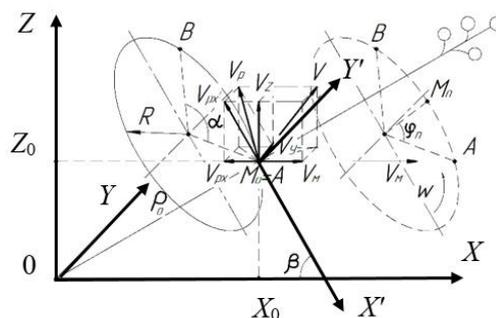


Рис. 4 – Розрахункова схема брання стебла

Інтегруючи отриману систему рівнянь (6), із урахуванням рівнянь (5) та (7), знайдемо рівняння для визначення координат точки M у певний момент часу. Межі інтегрування при цьому для криволінійної ділянки брального рівчака будуть від φ_0 до $\varphi_0 + \alpha$, тобто кут $\varphi_n \in [\varphi_0; \varphi_0 + \alpha]$ (рис. 4). Тоді, під час руху стебла льону бральним рівчаком, координати точки M можна визначити за рівняннями:

$$\left. \begin{aligned} X_n &= R \left[\cos \beta (\sin \varphi_n - \sin \varphi_0) + \frac{V_m}{V_p} (\varphi_n - \varphi_0) \right] + X_0; \\ Y_n &= R (\cos \varphi_n - \cos \varphi_0) + Y_0; \\ Z_n &= R (\sin \varphi_n - \sin \varphi_0) \sin \beta + Z_0. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

У рівняннях системи (8) величини X_0 , Y_0 , Z_0 є постійними інтегрування і відповідають координатам точки A початку ділянки кривої AB . За початок координат просторової системи XYZ вибрано точку розташування у ґрунті стебла льону, яке потрапляє в гирло брального рівчака брального апарата перпендикулярно до його площини (рис. 4). При цьому координати точки A становитимуть:

$$X_0 = h \cdot \operatorname{tg} \beta, Y_0 = 0, Z_0 = h, \quad (9)$$

де h – висота точки початку брання, м; $h \cdot \operatorname{tg} \beta$ – проєкція частини стебла льону OM на ґрунт, м.

Використавши рівняння системи (8) та підібрані геометричні параметри дисково-пасового льнобрального апарата (рис. 2) з допомогою комп'ютерної програми Maple V були побудовані у просторовій системі координат траєкторії руху точки M бральним рівчаком (зона AB) за різних показників швидкісного режиму брального апарата. Для побудови брали значення параметрів: радіус брального диска – $R = 0,16$ м; висота точки початку брання льону – $h = 0,2$ м; кут нахилу брального апарата до горизонталі – $\beta = \pi/3$; кути – $\varphi_0 = -\pi/6$ та $\alpha = \pi/2$; колова швидкість брального диска – $V_p = 2,35$ м/с; швидкості руху машини $V_m = 1,18$ м/с, $2,01$ м/с та $2,47$ м/с, що відповідає показнику швидкісного режиму брального апарата $\mu = V_m/V_p = 0,50, 0,85$ і $1,05$.

За центр просторової системи координат приймаємо точку розташування в ґрунті стебла льону, яке затискається перпендикулярно в бральному рівчаку (на рис. 5 – це точка A). З точки A відкладемо отримані траєкторії використовуючи комп'ютерну програму КОМПАС (рис. 5). Аналіз рис. 5 показує, що із збільшенням швидкості руху машини V_m і, відповідно, показника швидкісного режиму брального апарата μ довжина траєкторії руху точки M бральним рівчаком зростає. Причому, довжина цих траєкторій значно більша за довжину, на яку треба перемістити стебло льону, щоб витягнути його з ґрунту до повного відриву корінців ($a = 0,05$ м (Хайлис, 2011)).

Знайдемо довжину траєкторії руху стебла льону в бральному рівчаку. Із курсу вищої математики (Выгодский, 2006) відома формула для визначення довжини дуги:

$$S = \int \sqrt{\left(\frac{dX}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dY}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dZ}{dt}\right)^2} dt = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} dt. \quad (10)$$

Підставивши в рівняння (10) праві частини рівнянь (6) і (7), після спрощення отримаємо інтеграл для визначення довжини траєкторії руху точки M при проходженні стебла льону криволінійною ділянкою брального рівчака льнобрального апарата:

$$S = R \int_{\varphi_0}^{\varphi_n} \sqrt{1 + 2 \frac{V_M}{V_P} \cos \varphi \cos \beta + \left(\frac{V_M}{V_P}\right)^2} d\varphi. \quad (11)$$

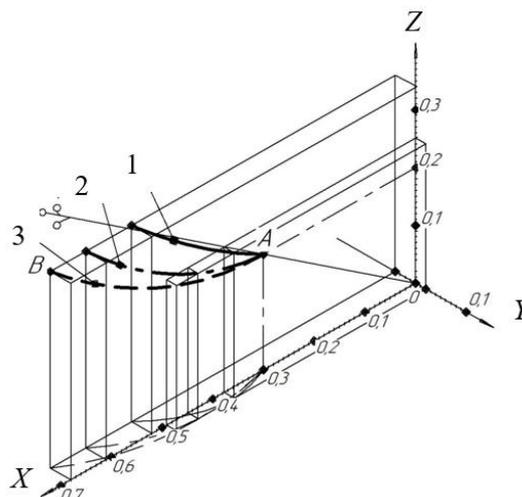


Рис. 5 – Траєкторії руху точки затискання стебла льону бральним рівчаком (зона AB) для різних показників швидкісного режиму льнобрального апарата:

1 – $\mu = 0,50$; 2 – $\mu = 0,85$; 3 – $\mu = 1,05$

Хоча отриманий інтеграл (11) є інтегралом неперервної функції, але він не виражається елементарними функціями. Тому розв'язок будемо проводити за допомогою комп'ютерної програми Maple V. Приймаємо такі значення параметрів: радіус брального диска – $R = 0,16$ м; кути – $\varphi_0 = -\pi/6$, $\alpha = \pi/2$, $\varphi_n = \varphi_0 + \alpha = \pi/3$; кути нахилу льнобрального апарата до горизонталі – $\beta_1 = 2\pi/9$, $\beta_2 = 5\pi/18$ та $\beta_3 = \pi/3$; показник швидкісного режиму льнобрального апарата – $\mu \in [0; 2]$. У результаті проведених обчислень були побудовані графічні залежності довжини S траєкторії руху точки M при проходженні стебла криволінійною ділянкою брального рівчака від показника швидкісного режиму льнобрального апарата μ для різних кутів нахилу апарата до горизонталі β (рис. 6). Усі криві виходять з точки, що відповідає значенню $S = 0,24$ м. Тому, у випадку $\mu = 0$ чи $V_M = 0$ м/с довжина траєкторії буде рівна величині дуги охоплення пасом брального диска (рис. 2). Довжина S траєкторії руху точки M при проходженні стебла ділянкою брального рівчака збільшується із збільшенням показника швидкісного режиму брального апарата μ і зі зменшенням кута нахилу брального апарата до горизонталі β . Однак, вплив кута β незначний порівняно із впливом показника швидкісного режиму μ . Оскільки відстань, на яку потрібно витягнути стебло

льону з ґрунту до повного відриву корінців ($a = 0,05$ м (Хайлис, 2011)), менша за довжину S траєкторії руху точки M при проходженні стебла ділянкою брального рівчака, тоді повне витягування стебел льону із ґрунту буде забезпечене за будь-якого значення показника швидкісного режиму брального апарата μ .

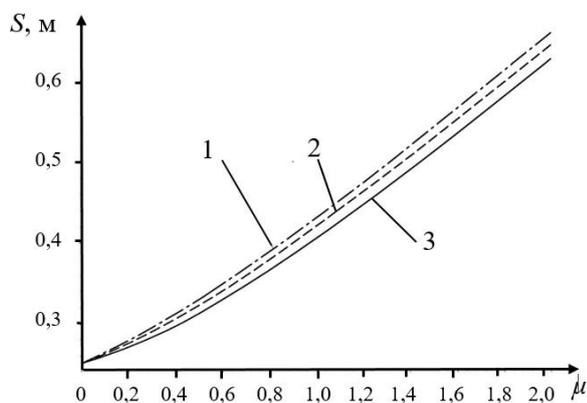


Рис. 6 – Залежність довжини S траєкторії руху точки M при проходженні стебла льону ділянкою брального рівчака від показника швидкісного режиму брального апарата μ за різних кутів нахилу брального апарата:
1 – $\beta_1 = 40^\circ$; 2 – $\beta_2 = 50^\circ$; 3 – $\beta_3 = 60^\circ$

У найсприятливішому випадку (рис. 4) для процесу брання стебло льону затискається перпендикулярно до площини льонобрального апарата та при його витягуванні із ґрунту швидкість брання V спрямована вздовж осі стебла. Тобто матимемо $\cos\beta = V_p/V_M = 1/\mu$ або $\mu = 1/\cos\beta$, тоді при $\beta = 60^\circ$ отримаємо $\mu = 2$.

Відомо (Хайлис, 2011), що для бральних апаратів із поздовжніми бральними рівчаками за зростання показника швидкісного режиму μ збільшується розтягнутість стебел, а чистота

брання – зменшується. Крім цього, за зростання значення μ збільшується товщина шару стебел, які затискаються в бральному рівчаку. Тому необхідно враховувати, що показник μ не повинен бути більшим за одиницю. Тобто швидкість машини V_M не повинна перевищувати колову швидкість обертання брального диска V_p . За такого μ нижня частина стебла льону при витягуванні з ґрунту буде відхилятися, але це відхилення буде до 30° і при повному витягуванні з ґрунту стебло за рахунок пружності відновить свою форму (Хайлис, 2011).

ВИСНОВКИ

Проведені розрахунки підтвердили, що підібрані геометричні і кінематичні параметри бральної секції дисково-пасового брального апарата забезпечать повне витягування стебел льону із ґрунту. Ця конструкція дисково-пасового брального апарата знаходиться на стадії проектування – розробляються креслення складальних одиниць та деталей. Оскільки конструкція є новою, тому автори будуть дуже вдячні за зауваження і пропозиції щодо її вдосконалення.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Выгодский, М. Я. (2006). *Справочник по высшей математике (Handbook of higher mathematics)*. Москва: Астрель.
- Хайлис, Г. А. (2011). *Теория льноуборочных машин (Theory of flax harvesters)*. Москва: Росинформагротех.
- Юхимчук, С. М., Толстушко, М. М., Юхимчук, С. Ф., & Дацюк, Л. М. (2022). Розробка конструкції дисково-пасового льонобрального апарата (*Development of the design of a disc-belt flax-pulling device*). *Наукові нотатки*, 73, 239-242. <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2022.73.35>

FOREST PHYTOCOENOSES OF UKRAINE UNDER CONDITIONS OF MARITAL STATE**N. Kovalchuk, N. Tolstushko****Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine*

AGRICULTURAL MACHINES

AM
СМ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ**ABSTRACT**

The research program included the study and analysis of the problem of preserving forest phytocenoses under the conditions of a full-scale invasion of the aggressor on the territory of Ukraine and the conduct of hostilities. The object of the research was the forest phytocenoses of Ukraine. The impact of negative factors of anthropogenic origin on the forests of Ukraine, which was caused by the full-scale invasion of the aggressor country and the conduct of hostilities, is describes in the article. Special attention is paid to the forest phytocenoses of the territories most affected during the war and their map is proposed. The main functions of the forest as a multifactorial system are disclosed, as well as the conditions under which the specified system will be able to fully function. The main problems of the functioning of the forest industry during the war are analyzed and clearly explained. The damage caused to forest plantations is also indicated, in particular, the danger posed by fires and the destruction of under-tent cover caused by uncontrolled human activity is described. It was established that the forests of the east, south and north of Ukraine are among the most affected forest plantations during the war. As a result of the research, conclusions, recommendations and possible directions for the development of the forest industry and restoration of forests after the end of military operations on the territory of Ukraine were proposed. In particular, it is stated that ecosystems of artificial origin are less resistant to various environmental factors, therefore the priority should be the preservation of natural forests. Each ecosystem is capable of self-recovery, so there is hope that, over the years, destroyed forest phytocenoses will begin to recover naturally and become more resistant to the influence of negative environmental factors. Especially during the war, Ukrainian society must understand the importance of forests and treat both forest ecosystems and the environment as a whole with care, approaching the harmony of existence with nature.

Key words:

forest phytocenoses,
forest,
plantations,
forest fire,
forests during war

Article history:

Received 10.09.2022

Accepted 19.10.2022

***Corresponding author:**

tmmtno@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.879**To cite this article:**

Kovalchuk, N., & Tolstushko, N. (2022). Forest phytocenoses of Ukraine under conditions of marital state. *Agricultural Machines*, 48, 88-92. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.879>

УДК 712.4 (477.82)

ЛІСОВІ ФІТОЦЕНОЗИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Н.П. Ковальчук, Н.О. Толстушко*

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

AGRICULTURAL MACHINES

А
С
М
М

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Дослідження передбачали вивчення та аналізування проблеми збереження лісових фітоценозів в умовах повномасштабного вторгнення агресора на територію України та ведення бойових дій. Об'єктом дослідження були лісові фітоценози України. У статті описано вплив негативних факторів антропогенного походження на ліси України, що спричинено повномасштабним вторгненням країни-агресора та веденням бойових дій. Особлива увага приділена лісовим фітоценозам найбільш постраждалих під час війни територій та запропоновано їх карту. Розкрито основні функції лісу як багатofакторної системи, а також умови, за яких вказана система зможе повноцінно функціонувати. Проаналізовано та чітко роз'яснено основні проблеми функціонування лісової галузі у період війни. Також зазначена завдана шкода лісовим насадженням, зокрема описана небезпека, яку становлять пожежі і руйнація піднаметового покриття, що спричинена безконтрольною діяльністю людини. Встановлено, що серед найбільш постраждалих лісових насаджень внаслідок війни є ліси сходу, півдня та півночі України. За результатами досліджень сформульовані висновки, рекомендації та можливі напрями розвитку лісової галузі і відновлення лісів після завершення військових дій на території України. Зокрема, зазначено, що екосистеми штучного походження є менш стійкими до різних факторів навколишнього середовища, тому пріоритетом має стати збереження природних лісів України. Кожна екосистема здатна до самовідновлення, тому є надія, що з плином років знищені лісові фітоценози почнуть відновлюватися природним шляхом та стануть стійкішими до впливу негативних факторів навколишнього середовища. Особливо у період війни українське суспільство має зрозуміти важливість лісів та дбайливо ставитися як до лісових екосистем, так і до навколишнього середовища в цілому, наближуючись до гармонії існування з природою.

Ключові слова:

лісові фітоценози,
ліс,
насадження,
лісова пожежа,
ліси під час війни

Історія публікації:

Отримано 10.09.2022

Затверджено 19.10.2022

***Автор для листування:**

tmmtno@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.879

Цитувати цю статтю:

Ковальчук, Н. П., & Толстушко, Н. О. (2022). Лісові фітоценози України в умовах воєнного стану. *Сільськогосподарські машини*, 48, 88-92. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.879>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Ліс – це складна і багатофакторна система. На життєві процеси, які відбуваються в лісових фітоценозах беззаперечно впливає ґрунт, вода, світло та тепло, але ліс і сам може створювати властиве лише йому середовище та здійснювати вплив на клімат прилеглих територій і гідрологічний режим місцевості. Ліс може продукувати необхідну кількість органічної маси, деревини, кисню і виконувати усі фітомеліоративні функції за умови, якщо його породний склад, структура, тваринний світ та інші компоненти будуть відповідати умовам навколишнього середовища, а фітоценотичні взаємини будуть сприятливими (*Запорізьке обласне управління лісового та мисливського господарства, 2022; Ковальчук, 2011; Кучерявий та ін., 2004; Район. Еко, 2022*). Отже, ліс є унікальною системою, яка надзвичайно важлива для існування як людства, так і всієї планети Земля.

Протягом 2022 року значно збільшився негативний антропогенний вплив на ліси України, що зумовлено повномасштабною російською агресією в Україні. В умовах війни значну небезпеку для лісових фітоценозів становлять пожежі та руйнація піднаметового покриття, що спричинена діяльністю людини (*Запорізьке обласне управління лісового та мисливського господарства, 2022; Ковальчук, 2011; Кучерявий та ін., 2004; Район. Еко, 2022*).

В умовах воєнного стану пріоритет, який був спрямований на збереження лісів та їх охорону, стає менш вагомим. Проблема знищення лісових масивів внаслідок пожеж та руйнації піднаметового покриття, що спричинені війною, займаються як українські, так і закордонні вчені. Серед яких біолог та член ГО «Українська природоохоронна група» Єгор Гринник, який впевнений, що окрім безпосереднього впливу війни на довкілля, є також і опосередкований вплив. Він вважає, що цей опосередкований вплив є гіршим. Проблема зменшення рівня антропогенного впливу на природні та штучні екосистеми розглянуто у працях (*Ковальчук, 2011; Кучерявий та ін., 2004*).

Сьогодні увага багатьох вчених із різних галузей досліджень – екологів, лісівників, біологів, зоологів, орнітологів – прикута до масового знищення рослинного і тваринного

світу, а також отруєння атмосфери і водних ресурсів, що безжально вчиняє країна-агресор внаслідок повномасштабного вторгнення. Це є особливо важким злочином відповідно до Кримінального Кодексу України та положень Римського статуту і призводить до екологічної катастрофи, що можна розцінювати як екоцид.

Мета дослідження – вивчення та аналізування проблеми знищення лісових масивів внаслідок пожеж та руйнації піднаметового покриття, що спричинені антропогенною діяльністю повномасштабного вторгнення агресора на територію України та веденням бойових дій.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Програмою досліджень передбачалося вивчення та аналізування проблеми збереження лісових фітоценозів в умовах повномасштабного вторгнення агресора на територію України та ведення бойових дій. Об'єктом дослідження були лісові фітоценози України. Під час проведення досліджень були застосовані методи порівняльного аналізу та синтезу інформації, спостереження, опису, узагальнення, а також був застосований системний методи.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Площа лісового фонду України становить 10,4 млн га, із яких лісовою рослинністю вкрито 9,6 млн га, а охоплено пожежами понад 40 тис га. Серед найбільш постраждалих лісових насаджень під час війни є ліси сходу, півдня та півночі України (**рис.**).

Значна кількість пожеж була зафіксована у Чорнобильській зоні відчуження. У результаті загинуло багато тварин, а також було знищено дерева, чагарники та надґрунтовий покрив. У цій місцевості спостерігається мінування окупантами великих територій, внаслідок чого багато співробітників лісової галузі загинуло, підірвавшись на мінах. Тому, ці території підлягають вилученню з господарського обігу.

У результаті активної діяльності окупантів у лісах Чорнобильської зони відчуження особливо велика шкода була завдана ґрунтовому покриву, внаслідок прокладання та експлуатації транспортних шляхів і доріг, риття ровів, траншей, окопів. Геомеханічні порушення – це насипи та виїмки усіх форм

локалізації: точкові, лінійні, площинні та об'ємні. Вони є потенційно найістотнішими негативними змінами у лісовому середовищі. Важкі машини ворога, рухаючись ґрунтовою поверхнею, заглиблюються в ґрунт під дією сили власної ваги. Повторні проходи важкої військової техніки тими ж маршрутами призводять до утворення великих та глибоких колій. Колієутворення спричинює значне ущільнення ґрунту. Також під час руху важкі машини часто буксують, внаслідок чого руйнується опорна поверхня, зміщуються ґрунтові компоненти на глибину понад 50 мм, пошкоджується коріння.

Пошкодження ґрунтового покриву у лісі зумовлює низку фітоценотичних порушень, а саме, пошкодження дерев, знищення підросту, видозміни трав'яної рослинності лісу. Це ускладнює поновлення лісу, а також сприяє заміні цінних лісових порід малоцінними. Для України питання відновлення лісів постане ще не скоро, оскільки є низка важливіших проблем. Тому лісові фітоценози будуть відновлюватися без участі людини.

Загрозлива ситуація на Херсонщині, де пожежами було охоплено 260 га штучно створених лісових насаджень. Окупанти навмисне підпалювали ліси та цілеспрямовано перешкоджали гасінню пожеж.

Ліси Херсонської області є найбільшими лісами штучного походження в Європі та створені з метою зупинення розширення пустелі. Деякі вчені вважають, що лісові фітоценози на території Херсонщини можуть відновитися природно або ж, в протилежному випадку, відбудеться відновлення степів. На жаль, подібна ситуація спостерігається з лісами штучного походження, які зростають на Кінбурнському півострові. У лісових фітоценозах навколо річки Сіверський Донець також спостерігалися пожежі. Масштаби шкоди, що завдана окупантами внаслідок повномасштабного вторгнення та ведення бойових дій на тимчасово окупованій частині України, поррахувати вкрай важко.

Штучні ліси Луганської області були рекреаційними зонами, а також відігравали величезну роль у регуляції водного режиму та мікроклімату місцевості. Війна зумовила глобальні зміни не лише у житті українського суспільства, але і спричинила негативні зміни у природних та штучних екосистемах України, де одне з основних місць посідають лісові фітоценози.

Лісова галузь України зіткнулася з низкою проблем, що впливають на її функціонування в період війни. У **таблиці** представлені нагальні проблеми лісової галузі України.

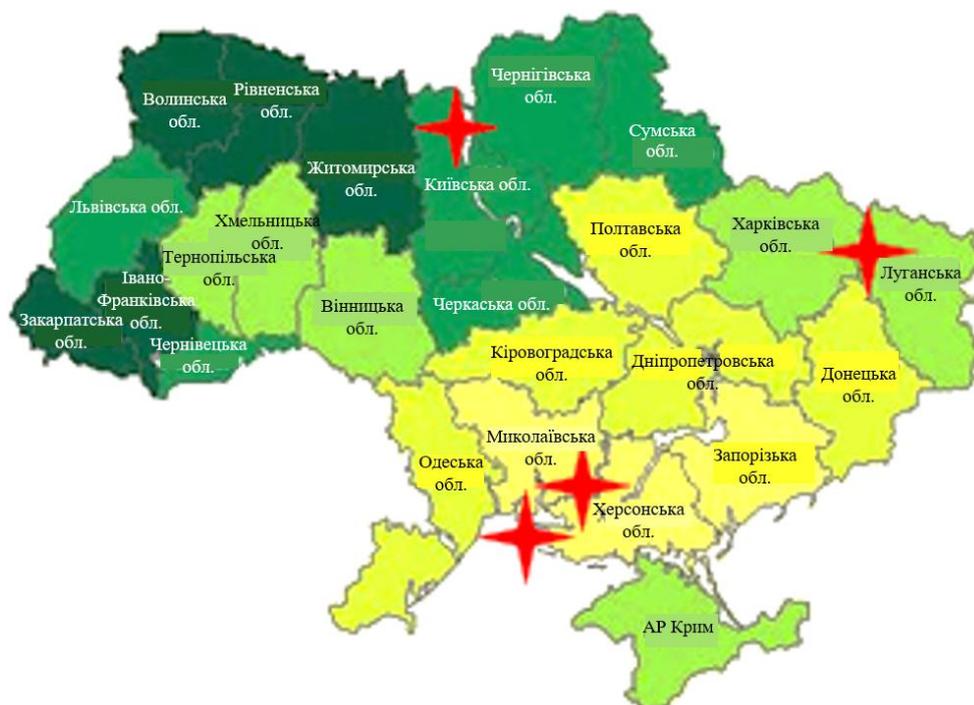


Рис. – Карта найбільш постраждалих від пожеж лісів України внаслідок російської агресії

Таблиця – Основні проблеми лісової галузі України у період війни

Проблема лісової галузі	Пояснення проблеми
Збільшення вирубування лісів	Україна нарощуватиме обсяги вирубування лісів для часткового заміщення імпорту деревини з країни-агресора на європейських ринках деревини та поповнення бюджету.
Дефіцит коштів для фінансування лісового господарства	Мінування лісів унеможливило проведення запланованих робіт у лігоспах та спричинило дефіцит коштів внаслідок знаходження підприємств лісової галузі на самофінансуванні. Призупинена робота зі створення нових заповідних територій у лісах.
Неможливість контролю лісів	Тимчасове закриття процедури оцінювання впливу на довкілля та заборона на відвідування лісів у період війни унеможливила їх перевіряння з метою встановлення незаконних вирубок.
Скасування на період воєнного стану «сезону тиші»	Заборону на вирубування лісів у період з квітня до червня протягом розмноження тварин було скасовано.

ВИСНОВКИ

Війна завдала великої шкоди лісовій галузі України та унеможливила її повноцінне функціонування. Це зумовило низку негативних наслідків для лісових фітоценозів, зокрема руйнування насаджень та піднаметового покриву, рослинного та тваринного світу внаслідок виникнення пожеж і руйнування ґрунтового покриву антропогенного характеру, що пов'язане з механічними порушеннями. Серед найбільш постраждалих лісових насаджень є ліси сходу, півдня та півночі України.

Нарощування обсягів вирубування лісів не зможе збагатити державний бюджет в достатній мірі, оскільки кошти, що отримані від продажу деревини, є мізерними порівняно з користю, яку приносить ліс.

Екосистеми штучного походження є менш стійкими до різних факторів навколишнього середовища, тому пріоритетом має стати збереження природних лісів України. Кожна екосистема здатна до самовідновлення, тому є надія, що із плином років знищені лісові фітоценози України почнуть відновлюватися природним шляхом та стануть стійкішими до впливу негативних факторів навколишнього середовища. Українське суспільство у період

війни має зрозуміти важливість лісів та дбайливо ставитися як до лісових екосистем, так і до навколишнього середовища в цілому, наближуючись до гармонії існування із природою.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Запорізьке обласне управління лісового та мисливського господарства. (2022). *Лісівники і екологи обговорили тему рубок під час дії воєнного стану (Foresters and ecologists discussed the topic of felling during martial law)*. Retrieved May 13, 2022, from <https://zaplis.gov.ua/press-sluzhba/novini-derzhagentstva/lisivniki-i-ekologi-obgovorili-temu-rubok-pid-chas-dii-voennogo-stanu.html>
- Ковальчук, Н. П. (2011). *Еколого-біологічні проблеми зелених насаджень м. Луцька (Ecological and biological problems of green spaces in the city of Lutsk)*. Луцьк: РВВ ЛНТУ.
- Кучерявий, В. А., Дудин, Р. Б., Ковальчук, Н. П., & Пилат, О. С. (2004). *Дерева, чагарники, ліани в ландшафтній архітектурі (Trees, shrubs, vines in landscape architecture)*. Львів: Кварт.
- Район. Еко. (2022). *Лісова галузь в умовах війни. Чого чекати і чого боятися? (The forest industry in war conditions. What to expect and what to fear?)*. Retrieved June 2, 2022, from <https://eco.rayon.in.ua/topics/517755-lisova-galuz-v-umovakh-viyni-chogo-chekati-i-chogo-boyatisya>

RESEARCH OF QUALITY INDICATORS OF GNSS SIGNAL RECEIPT BY NAVIGATION EQUIPMENT OF MACHINE-TRACTOR UNITS

V. Satsiuk*, V. Didukh, M. Fedoniuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES

**ABSTRACT**

In the world, precision farming, which is based on geo-information technologies, has become widespread. The precision farming system application ensures a more rational use of cultivated areas and increases the ecological protection of soils. Using the ASN-Agro parallel driving system with the ASN-Agro V1.03 software, the effect of ground obstacles (forest strips, power lines) on the number of satellites, which are within the range of navigation equipment, is investigated in the article. The number of satellites, which are within the range of navigation equipment, and the number of satellites used by the navigation equipment were determined by applying the satellite filter. The quality indicator of signal received by the navigation equipment according to the SNR (signal/noise) indicator were studied. Research of SNR-signals from GNSS satellites was carried out using the GPS Test application. Signals from GPS satellites had the best value of SNR indicators. Machine-tractor units perform technological operations next to forest and power lines, which create interference («radio shadow») for GNSS-signals. The influence of «radio curtains» caused by forest and power lines on the quality of GNSS-signals received by the antenna of the navigation equipment of the machine-tractor unit was examined. The quality of GNSS-signals was evaluated based on indicators of DOP signal accuracy reduction: for location – PDOP; in the horizontal plane – HDOP; in the vertical plane – VDOP. Research on DOP indicators was carried out using the Precision GPS PRO application. The conducted studies established that the greatest impact on indicators of DOP signal accuracy reduction is caused by interference from 200 kV power lines. The highest value of DOP signal accuracy reduction indicators was recorded when the navigator's antenna was located at a distance of 5 m from the 200 kV power line. If the antenna of the navigation equipment is located at a distance of 25 m or more from the forest, it almost does not affect the indicators of the decrease in the accuracy of the DOP signal.

Key words:

precision farming,
navigation system,
satellite,
navigation equipment,
machine-tractor unit

Article history:

Received 11.09.2022

Accepted 19.10.2022

***Corresponding author:**

satsyukvasyl@lutsk-ntu.com.ua

DOI: 10.36910/acm.vi48.880

To cite this article:

Satsiuk, V., Didukh, V., & Fedoniuk, M. (2022). Research of quality indicators of GNSS signal receipt by navigation equipment of machine-tractor units. *Agricultural Machines*, 48, 93-99. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.880>

УДК 631.3:629.783

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРИЙОМУ СИГНАЛІВ GNSS
НАВІГАЦІЙНИМ ОБЛАДНАННЯМ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ****В.В. Сацюк*, В.Ф. Дідух, М.А. Федонюк***Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна*

AGRICULTURAL MACHINES

**А
С М М**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

У світі набуває значного поширення точне землеробство, яке ґрунтується на геоінформаційних технологіях. Застосування системи точного землеробства забезпечує більш раціональне використання посівних площ та підвищує екологічний захист ґрунтів. У статті, використовуючи систему паралельного водіння ASN-Agro із програмним забезпеченням ASN-Agro V1.03, досліджено вплив наземних перешкод (лісосмуг, ліній електропередачі (ЛЕП)) на кількість супутників у зоні дії навігаційного обладнання. Використовуючи супутниковий фільтр встановлено кількість супутників, які знаходяться у зоні дії антени навігаційного обладнання, та кількість супутників, що використовуються навігаційним обладнанням. Досліджено характеристику якості прийнятого сигналу навігаційним обладнанням за показником SNR (сигнал/шум) у розрізі досліджуваних GNSS. Дослідження SNR сигналів від супутників GNSS проводили за допомогою додатку GPS Test. Встановлено, що сигнали від супутників системи GPS мають найкращі показники за параметром SNR. Машино-тракторні агрегати працюють поряд із лісосмугами та ЛЕП, які створюють перешкоди («радіотіні») для сигналів GNSS. У статті досліджено вплив «радіотіней», що спричинені лісосмугами та ЛЕП 200 кВ на якість сигналів GNSS, які сприймаються антеною навігаційного обладнання. Оцінювання якості сигналів GNSS проводили використовуючи додаток Precision GPS PRO за показниками зниження точності сигналу DOP: за місцем розташування – PDOP; у горизонтальній площині – HDOP; у вертикальній площині – VDOP. За результатами досліджень встановлено, що найбільший вплив на показники зниження точності сигналу DOP мають перешкоди від ЛЕП 200 кВ. У випадку розташування антени навігаційного обладнання на відстані 25 м і більше від лісосмуги, вона майже не впливає на показники зниження точності сигналу DOP.

Ключові слова:

точне землеробство,
навігаційна система,
супутник,
навігаційне обладнання,
машино-тракторний агрегат

Історія публікації:

Отримано 11.09.2022

Затверджено 19.10.2022

***Автор для листування:**

satsyukvasyl@lutsk-ntu.com.ua

DOI: 10.36910/acm.vi48.880

Цитувати цю статтю:

Сацюк, В. В., Дідух, В. Ф., & Федонюк, М. А. (2022). Дослідження якісних показників прийому сигналів GNSS навігаційним обладнанням машинно-тракторних агрегатів. *Сільськогосподарські машини*, 48, 93-99. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.880>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Точне землеробство – це комплексний підхід в агровиробництві, що містить технології глобального позиціонування, географічні інформаційні системи, технології оцінювання урожайності, технологію змінного нормування і технології дистанційного зондування ґрунту. Упровадження системи точного землеробства не можливе без використання супутникової системи навігації для машинно-тракторних агрегатів (МТА). Точне землеробство дозволяє автоматизувати роботу механізатора, а також збільшити виробіток, зменшити пошкодження сільськогосподарських культур під час проведення робіт із догляду за посівами, забезпечити економію паливо-мастильних матеріалів до 18% та добрив і засобів захисту рослин до 8% (Аніскевич та ін., 2016).

В Україні все частіше використовується сучасна технологія глобальних навігаційних супутникових систем (Global Navigation Satellite System – GNSS). Серед основних GNSS є GPS, Galileo, ГЛОНАСС та Beidou (Вечера та ін., 2018). Із метою підвищення точності позиціонування МТА під час виконання технологічних операцій розроблені інформаційні радіосистеми для передачі користувачам диференційних поправок. Диференційні поправки можуть відправлятися із наземних базових станцій або із геостационарних супутників: системи European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS), Wide Area Augmentation System (WAAS), Multi-functional Satellite Augmentation System (MSAS) (Tu & Tang, 2019).

EGNOS – це європейська геостационарна система навігаційного покриття. Зона дії системи EGNOS охоплює Європу та північ Африки. В Україні немає наземних станцій системи EGNOS, тому диференційні поправки системи EGNOS приймаються лише у західних областях України від станцій, які розташовані в Польщі. Для центральних та східних областей України диференційні поправки системи EGNOS практично недоступні. Системи WAAS та MSAS є аналогами системи EGNOS, але діють на території країн Північної Америки та Японії.

Найбільша точність позиціонування МТА досягається під час використання поправок Real Time Kinematic (RTK), що зв'язані із наземними базовими станціями. З 2011 року в

Україні діє мережа «System.NET», яка надає послуги RTK-корекції. Для використання цих поправок необхідно оформити платну підписку на один із пакетів RTK. Однак, використання високої точності позиціонування МТА є економічно обґрунтованим не для усіх технологічних операцій агровиробництва.

Мета дослідження – дослідити кількість супутників, які знаходяться у зоні дії антени навігаційного обладнання МТА, а також кількість супутників, що використовуються навігаційним обладнанням для різних GNSS, та вплив наземних перешкод (лісосмуг, ліній електропередачі (ЛЕП)) на якісні показники приймання сигналів GNSS навігаційним обладнанням.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для визначення кількості супутників, сигнал яких сприймається навігаційним обладнанням, у дослідженнях використовували систему паралельного водіння ASN-Agro із програмним забезпеченням ASN-Agro V1.03. Тестування сигналів GNSS здійснювали за допомогою додатку GPS Test та Precision GPS PRO. GPS Test застосовували для визначення SNR сигналу (співвідношення сигнал/шум), а Precision GPS PRO використовували для визначення показників зниження точності сигналу DOP (Dilution of Precision).

Дослідження передбачали визначення:

- кількості супутників кожної GNSS, які знаходяться в зоні дії антени навігаційного обладнання;
- кількості супутників GNSS, які використовуються навігаційним обладнанням;
- показника SNR-сигналів GNSS.

Дослідження проводилися на полях Луцького району Волинської області України в сонячну погоду. Поряд із полем, на якому проводилися дослідження, не було наземних перешкод, зокрема лісосмуг та ЛЕП.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Однією із основних проблем використання супутникової системи навігації у виробництві агропродукції є забезпечення точності позиціонування МТА. Для задовільної роботи супутникової системи навігації антена приймача повинна отримувати GPS-сигнал щонайменше від чотирьох супутників системи.

Якщо всі чотири супутники знаходяться близько один від одного та розташовані відносно антени приймача лише на півдні, тоді точність позиціонування буде низькою. Тобто оцінювання якості GPS-сигналу, який сприймається антеною приймача за кількістю супутників, які знаходяться в межах зони дії антени приймача, не відображає реального значення якості отриманих сигналів. Тому, під час досліджень оцінювання якості отриманих GPS-сигналів відбувалося за показниками:

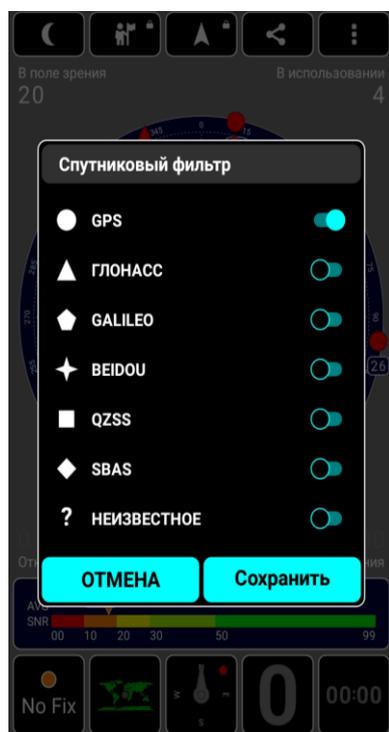
- кількість супутників, які знаходяться в зоні дії антени приймача;
- показник GPS-сигналу SNR (це співвідношення сигнал/шум);
- показники зниження точності сигналу DOP.

Навігаційне обладнання МТА залежно від виробника отримує сигнали від однієї або одночасно від декількох глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS): GPS, Galileo, Beidou, ГЛОНАСС.

Для дослідження кількості супутників кожної GNSS, що знаходилися у зоні дії антени навігаційного обладнання МТА та супутників GNSS, було використано сучасне

навігаційне обладнання з додатком GPS Test. Додаток GPS Test має супутниковий фільтр та дозволяє приймати сигнали лише від однієї GNSS, наприклад GPS, а сигнали від інших систем почергово вимикати (**рис. 1, а**).

Результати застосування супутникового фільтра із прийманням сигналів GNSS GPS представлено на **рис. 1, б**. Використовуючи супутниковий фільтр для кожної GNSS, визначили кількість супутників, що знаходяться у зоні дії антени навігаційного обладнання, та кількість супутників, які використовуються навігаційним обладнанням. Результати цих досліджень представлено на **рис. 2**. Аналіз отриманих результатів дослідження (**рис. 2**) вказує на те, що у зоні дії антени навігаційного обладнання кількість супутників GNSS GPS є найбільшою (12 супутників). Однак, лише 10 супутників GNSS GPS використовуються навігаційним обладнанням. Серед усіх досліджуваних GNSS супутники системи Galileo знаходяться у зоні дії антени навігаційного обладнання у найменшій кількості (6 супутників). Однак, лише 5 супутників GNSS Galileo використовуються навігаційним обладнанням.



а



б

Рис. 1 – Супутниковий фільтр додатка GPS Test:

а – супутниковий фільтр додатку; б – результати застосування супутникового фільтрування GNSS за сигналом GPS

Для характеристики якості прийнятого від супутника сигналу навігаційним обладнанням використовували співвідношення сигнал/шум (SNR). Результати досліджень SNR в розрізі досліджуваних GNSS представлено на **рис. 3**. Найвища якість сигналу за показником SNR спостерігається для GNSS GPS, що становить 38,5. Практика застосування навігаційного обладнання на мобільних МТА свідчить про те, що досить часто виникає ситуація із втратою сигналів із супутників GNSS. Основними факторами, що зумовлюють ці втрати, є викривлення сигналів GNSS за умови приймання антеною відбитих променів та попадання антени МТА в зони «радіотіней»,

які спричинені ЛЕП, лісосмугами, високими будівлями тощо. Це обумовило необхідність дослідити вплив «радіотіней», які спричинені ЛЕП та лісосмугами, на якість сигналу GNSS, що приймається антеною навігатора. Для цих досліджень застосовувався додаток Precision GPS PRO, за допомогою якого визначали показники зниження точності сигналу DOP (**рис. 4**): PDOP (зниження точності за місцем розташування); HDOP (зниження точності сигналу у горизонтальній площині); VDOP (зниження точності сигналу у вертикальній площині). Польові дослідження проводили на відстанях 5 м, 15 м та 30 м від лісосмуг (**рис. 5, а**) та ЛЕП 220 кВ (**рис. 5, б**).

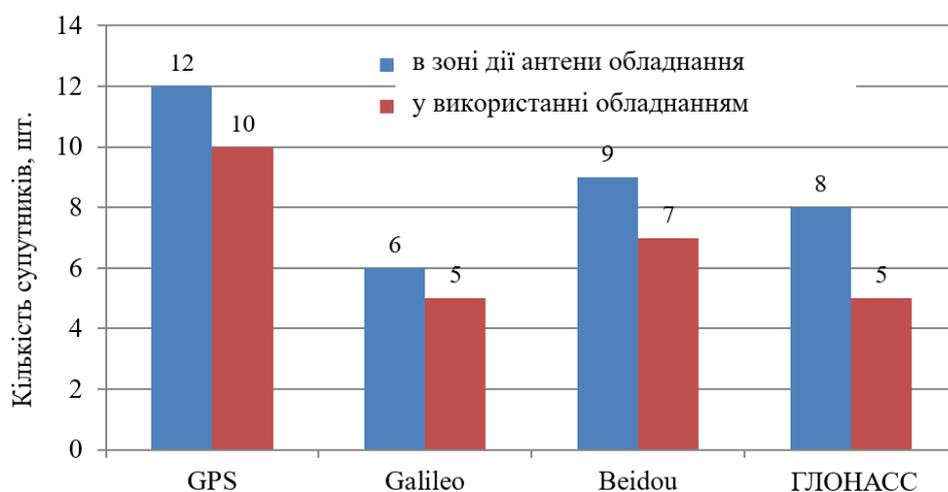


Рис. 2 – Результати дослідження кількості супутників GNSS, які знаходяться у зоні дії антени навігаційного обладнання МТА, та кількості супутників GNSS, що використовуються обладнанням

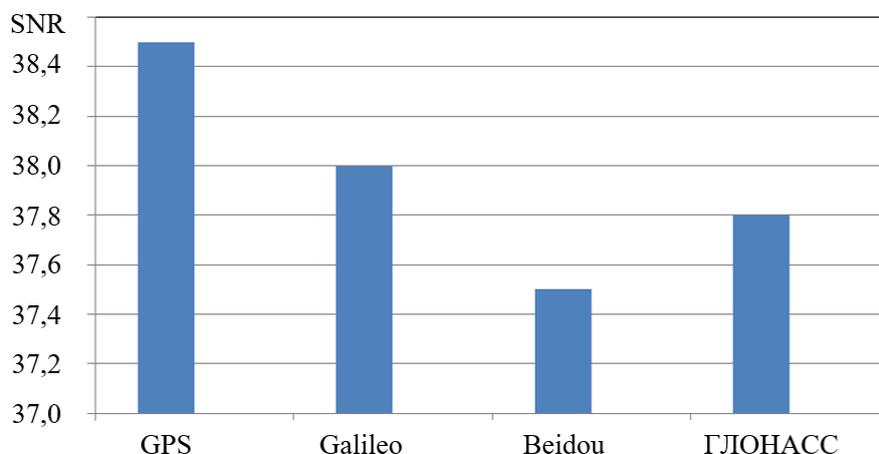


Рис. 3 – Результати дослідження SNR-сигналів GNSS

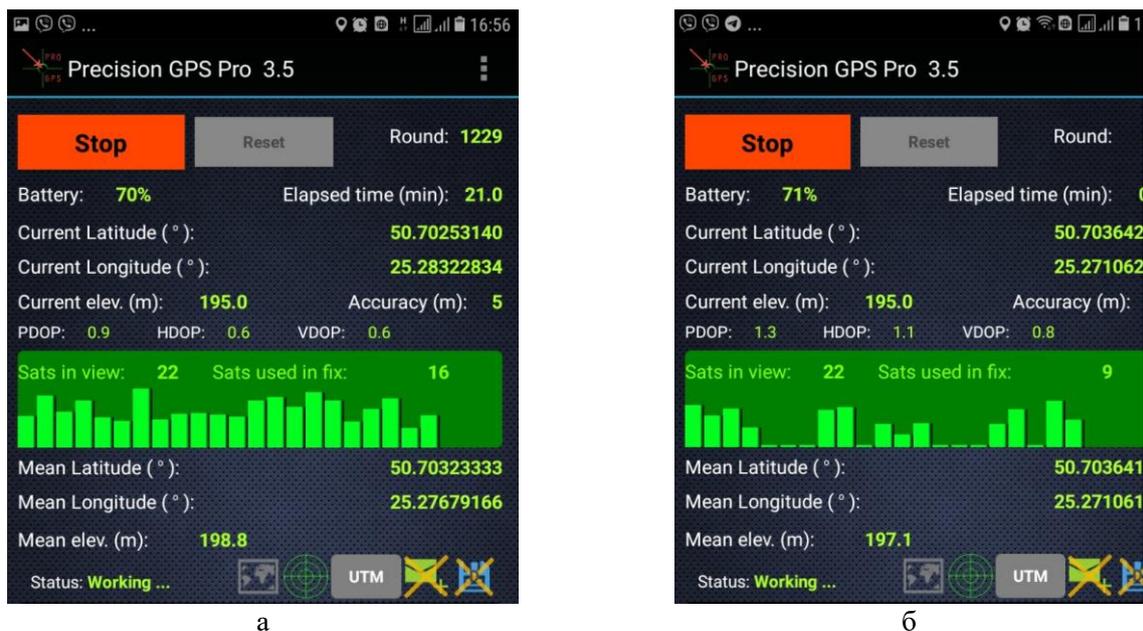


Рис. 4 – Визначення DOP показників для сигналів GNSS за допомогою додатку Precision GPS PRO:

а – на ділянці без «радіотіней»; б – на відстані антени приймача 15 м від ЛЕП 220 кВ



а



б

Рис. 5 – Дослідження впливу «радіотіней», які спричинені лісосмугами (а) та лініями електропередачі (б), на якісні показники DOP сигналів GNSS

Аналіз отриманих графічних залежностей (рис. 6, а) показує, що із збільшенням відстані l між ЛЕП та антеною навігаційного обладнання усі показники DOP зменшуються. Це свідчить про те, що якість супутникового сигналу за показниками DOP зростає із збільшенням відстані між ЛЕП 200 кВ та антеною навігаційного обладнання.

Графічні залежності, що демонструють вплив відстані l між лісосмугою та антеною навігаційного обладнання на показники PDOP, HDOP і VDOP зниження точності сигналів, представлені на рис. 6, б. Порівняння графіків на рис. 6, а та рис. 6, б показує, що перешкоди від ЛЕП 200 кВ мають більш значний вплив на показники DOP, ніж перешкоди від лісосмути.

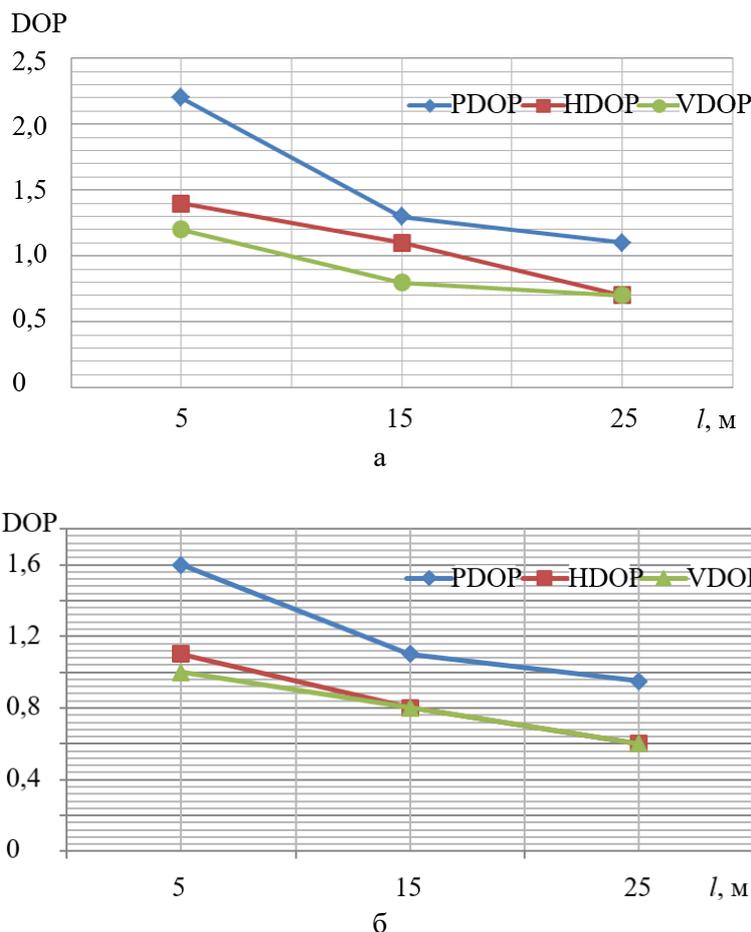


Рис. 6 – Графічні залежності показників зниження точності PDOP, HDOP, VDOP сигналів GNSS від відстані l розташування антени приймача до ЛЕП 200 кВ (а) та лісосмуги (б)

ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень встановлено, що найбільша кількість супутників, які знаходяться в зоні дії антени навігаційного обладнання МТА, є супутники системи GPS. Ця система супутників має найвищу якість сигналу за показником SNR. «Радіотіні» від ЛЕП 200 кВ на відстані, що більша за 25 м, практично не впливають на якість прийому GPS-сигналу. Залежно від виробника навігаційні системи МТА можуть працювати із супутниками як від однієї, так і одночасно від декількох GNSS. Результати проведених дослідження із визначення якісних показників супутникових сигналів доцільно враховувати під час вибирання навігаційного обладнання МТА.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Tu, X., & Tang, L. (2019). Headland turning optimization for agricultural vehicles and those with towed implements. *Journal of Agriculture and Food Research*, 1, 1-41. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2019.100009>
- Аніскевич, Л. В., Свірень, М. О., Коваленко, М. М., & ін. (2016). *Система точного землеробства (System of precision farming)*. Кропивницький: Лисенко В. Ф.
- Вечера, О. М., Роговський, І. Л., & Пастушенко, С. І. (2018). Навігаційні системи в технологіях точного землеробства (*Navigation systems in precision farming technologies*). *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*, 296, 133-138. <https://doi.org/10.31548/machenergy.2018.02.133-13>

ALGORITHM FOR ASSESSING THE SUITABILITY OF PLANT RAW MATERIALS FOR PROCESSING ACCORDING TO A CERTAIN TECHNOLOGY**I. Dudarev****Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine*

AGRICULTURAL MACHINES

**ABSTRACT**

In order to obtain the final product with the necessary indicators, it is necessary to process the raw materials according to a certain technology. Processing of plant raw materials according to a certain technology and obtaining high-quality products are possible only if the initial quality indicators of the raw materials meet the technological requirements. The same applies to the possibility of applying harvesting technologies for agricultural crops, in particular bast crops. But in this case, the stem condition of the crops must be taken into account when choosing a harvesting technology. For assessing the suitability of plant raw materials for processing or the stem condition, in particular bast crops, for harvesting, the universal algorithm has been developed. The algorithm includes the following stages: selection of raw material processing technology; determination of indicators that characterize the suitability of raw materials for processing according to the selected technology; carrying out an expert assessment of the importance of the selected indicators and calculating their importance coefficients; establishment of basic (recommended) values of indicators that allow the application of the selected technology; determination of absolute (actual) values of indicators; calculation of relative indicator values; calculation of value of complex quality indicator of raw materials; result analysis of the indicator assessing; based on the results of the assessment, making a decision regarding the possibility of applying the selected technology; application of the chosen technology or choosing another. An expert method was used to assess the importance of indicators of the stem condition of fibre flax and the quality of retted flax straw, as well as to calculate their weighting coefficients. The developed algorithm was tested on the examples of fibre flax and retted flax straw. This algorithm can be applied to any plant material in order to determine its suitability for processing according to a certain technology.

Key words:

assessing of plant raw materials,
assessing of stem condition,
comprehensive quality indicator,
flax,
flax raw materials

Article history:

Received 11.09.2022

Accepted 20.10.2022

***Corresponding author:**

i_dudarev@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi48.888**To cite this article:**

Dudarev, I. (2022). Algorithm for assessing the suitability of plant raw materials for processing according to a certain technology. *Agricultural Machines*, 48, 100-109. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.888>

УДК 620.21:633.5

**АЛГОРИТМ ОЦІНЮВАННЯ ПРИДАТНОСТІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ
ДЛЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ЗА ПЕВНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ****І.М. Дударєв****Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна***АНОТАЦІЯ**

Для того, щоб отримати кінцевий продукт з необхідними показниками потрібно провести перероблення сировини за певною технологією. Перероблення рослинної сировини за певною технологією та одержання високоякісної продукції можливе лише у випадку, якщо початкові якісні показники сировини відповідають технологічним вимогам. Це ж стосується можливості застосування технологій збирання сільськогосподарських культур, зокрема луб'яних, але у цьому випадку необхідно враховувати стан стеблостою при вибиранні технології збирання. Розроблено універсальний алгоритм оцінювання придатності рослинної сировини для перероблення за певною технологією або стану стеблостою сільськогосподарських культур, зокрема луб'яних, для збирання за певною технологією. Алгоритм містить етапи: вибирання технології перероблення сировини; визначення показників, які характеризують придатність сировини до перероблення за вибраною технологією; проведення експертного оцінювання вагомості вибраних показників та обчислення їх коефіцієнтів вагомості; встановлення базових (рекомендованих) значень показників, що дозволяють застосовувати вибрану технологію; визначення абсолютних (фактичних) значень показників; обчислення значень відносних показників; обчислення значення комплексного показника якості сировини; аналізування результатів оцінювання показників; за результатами оцінювання прийняття рішення щодо можливості застосування вибраної технології; застосування вибраної технології або вибирання іншої. Для оцінювання вагомості показників стану стеблостою льону-довгунця та якості лляної трести з льону-довгунця, а також обчислення їх коефіцієнтів вагомості використовували експертний метод. Розроблений алгоритм було апробовано на прикладах стеблостою льону-довгунця та лляної трести. Цей алгоритм можна застосовувати для будь-якої рослинної сировини з метою визначення її придатності до перероблення за певною технологією.

Ключові слова:

оцінювання рослинної сировини,
оцінювання стану стеблостою,
комплексний показник якості,
льон,
лляна сировина

Історія публікації:

Отримано 11.09.2022

Затверджено 20.10.2022

***Автор для листування:**

i_dudarev@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi48.888

Цитувати цю статтю:

Дударєв, І. М. (2022). Алгоритм оцінювання придатності рослинної сировини для перероблення за певною технологією. *Сільськогосподарські машини*, 48, 100-109. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.888>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У світі спостерігається стійка тенденція зростання попиту на товари широкого вжитку з екологічно чистої натуральної рослинної сировини, зокрема із луб'яних культур (Березовський, 2016). Серед луб'яних культур, які вирощують в Україні, найбільші площі займають льон (льон-довгунець, льон олійний) та коноплі. Урожай цих культур (солому та насіння) після первинного перероблення використовують для виготовлення різних текстильних матеріалів, паперу, картону, канатів, композитних матеріалів різного цільового призначення, а також виробництва олії, що використовується в лакофарбовій, косметичній, медичній, харчовій та інших галузях промисловості (Березовський, 2017). Відходи (костриця та макуха) первинного перероблення урожаю луб'яних культур використовуються у виробництві корму для тварин, добрив, паливних брикетів та пелетів, будівельних матеріалів, меблевих плит тощо (Горач & Домбровська, 2021). Низькоякісна стеблова лляна сировина, сформована у рулони та тюки, використовується в якості палива (Yaheliuk et al., 2020).

Якість продукції, що містить луб'яну сировину, залежить від сортності сировини та її фізико-механічних властивостей (Толмачов & Кузьміна, 2010) і формується упродовж усіх етапів її виробництва (Ягелюк & Дідух, 2021), починаючи із вирощування луб'яних культур, їх збирання, первинного перероблення урожаю та завершуючи виробництвом кінцевого продукту. Визначення якості лляної сировини проводять різними методами, зокрема інструментальним та органолептичним. Також науковцями розроблені комп'ютерні програми, що дозволяють автоматизувати процедуру визначення основних фізико-механічних властивостей лляної сировини, зокрема соломи та трести льону, а також визначити їх номер (Головенко та ін., 2021; Толмачов & Кузьміна, 2010).

Для оцінювання якості лляної сировини використовуються: одиничні показники, що характеризують одну властивість сировини; комплексні показники, що характеризують одночасно декілька властивостей сировини; інтегральні показники – відношення сумарного корисного ефекту від вжитку одиниці лляної сировини протягом певного часу до сумарних

витрат на її створення (Дідух та ін., 2017; Ягелюк, 2013). Зокрема, методика обчислення комплексного показника якості волокна луб'яних культур (льону-довгунця, льону олійного), що запропонована у праці (Ягелюк та ін., 2019), дозволяє встановити його придатність для подальшого перероблення з метою одержання різноманітної текстильної продукції.

Перероблення рослинної сировини за певною технологією та одержання якісної продукції можливе лише у випадку, якщо початкові якісні показники сировини відповідають технологічним вимогам. Це ж стосується можливості застосування певних технологій збирання сільськогосподарських культур, зокрема луб'яних, але у цьому випадку необхідно враховувати стан стеблостою культури при вибранні технології збирання. Отже, актуальним є розроблення нового універсального алгоритму оцінювання придатності різної рослинної сировини для її перероблення за певною технологією або ж стану стеблостою сільськогосподарських культур для їх збирання із застосуванням певної технології.

Мета дослідження – розроблення алгоритму оцінювання придатності рослинної сировини для перероблення за певною технологією або ж стану стеблостою сільськогосподарських культур для збирання за певною технологією.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для оцінювання вагомості показників стану стеблостою льону-довгунця та якості лляної трести з льону-довгунця, а також обчислення коефіцієнтів вагомості використано експертний метод (Садовников, 2009). Процедура застосування методу передбачала: складання переліку основних показників, що характеризують стан стеблостою та якість трести льону-довгунця; анкетування експертів (чисельність експертної групи 7 осіб) щодо оцінювання вагомості показників; статистичне оброблення результатів анкетування експертів; оцінювання узгодженості думок експертів; аналізування діаграм коефіцієнтів вагомості вибраних показників.

Відповідно до методики експертного методу обчислювали середнє значення суми рангів:

$$T = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k t_i, \quad (1)$$

де T – середнє значення суми рангів; k – кількість показників, що оцінювали експерти; t_i – сума рангів i -го показника.

Відхилення суми рангів від середньої суми рангів обчислювали за формулою:

$$\Delta_i = t_i - T, \quad (2)$$

де Δ_i – відхилення суми рангів i -го показника від середньої суми рангів.

Сума квадратів відхилень від середньої суми рангів:

$$S = \sum_{i=1}^k \Delta_i^2. \quad (3)$$

Узгодженість думок експертів визначали за коефіцієнтом конкордації Кендалла:

$$W = \frac{12S}{l^2(k^3 - k)}, \quad (4)$$

де l – кількість експертів.

Якщо коефіцієнт конкордації $W > 0,7$ – думки усіх експертів достатньо узгоджені. Статистичну значущість коефіцієнта W оцінювали шляхом перевіряння статистичних гіпотез:

$$H_0: W = 0, \quad (5)$$

$$H_1: W \neq 0. \quad (6)$$

При підтвердженні основної гіпотези H_0 буде визнано, що думки усіх експертів не узгоджені. У випадку відхилення цієї гіпотези приймається альтернативна гіпотеза H_1 , що вказує на узгодженість думок експертів. Критерієм перевіряння основної гіпотези H_0 є статистичний критерій Пірсона (χ^2 -критерій):

$$\chi^2 = l(k-1)W. \quad (7)$$

Обчислене значення критерію χ^2 за формулою (7) порівнюється із табличним значенням χ_m^2 , вибраним для рівня значущості $\alpha = 0,05$ та числа ступенів вільності $f = k - 1$. У випадку $\chi^2 > \chi_m^2$ гіпотеза H_0 відхиляється та

думки фахівців вважаються узгодженими.

Коефіцієнти вагомості i -го показника обчислювали за формулою:

$$m_{ci} = \frac{t_i}{\sum_{i=1}^k t_i}. \quad (8)$$

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Для того, щоб отримати кінцевий продукт з необхідними показниками потрібно провести перероблення сировини у відповідності до технології. Однак, сировина не завжди відповідає технологічним вимогам, які висуваються до неї відповідно до технології. Тому необхідно оцінювати показники якості сировини для визначення її придатності до перероблення за певною технологією.

Комплексне оцінювання якості сировини пропонується проводити за середньозваженим арифметичним показником:

$$Q_c = \sum_{i=1}^m m_{ci} K_i^+ + \sum_{j=1}^n m_{cj} K_j^-, \quad (9)$$

де Q_c – середньозважений арифметичний показник якості сировини; m_{ci} та m_{cj} – відповідно, коефіцієнти вагомості i -го та j -го показника якості сировини; K_i^+ – відносний i -й показник якості сировини (застосовується для показників при збільшенні абсолютного значення яких якості сировини краща); K_j^- – відносний j -й показник якості сировини (застосовується для показників при зменшенні абсолютного значення яких якості сировини краща); m , n – відповідно, кількість відносних показників K_i^+ та K_j^- .

Відносний i -й показник якості сировини обчислюється за виразом (Соколовский, 2008):

$$K_i^+ = \frac{P_i}{P_{\text{баз.}i}}, \quad (10)$$

де P_i – абсолютне (фактичне) значення i -го показника якості сировини; $P_{\text{баз.}i}$ – базове (рекомендоване) значення i -го показника якості сировини.

Відносний j -й показник якості сировини обчислюється за виразом (Соколовский, 2008):

$$K_j^- = \frac{P_{\text{баз.}j}}{P_j}, \quad (11)$$

де P_j – абсолютне (фактичне) значення j -го показника якості сировини; $P_{\text{баз.}j}$ – базове (рекомендоване) значення j -го показника якості сировини.

Під базовим значенням показника якості сировини розуміється значення показника, яке прийняте за основу під час порівняльного оцінювання (граничне рекомендоване значення показника, що характеризує придатність сировини за цим показником до застосування тієї чи іншої технології її перероблення). Базові значення показників якості сировини можуть встановлюватися із урахуванням технологічних вимог до сировини, що визначають можливість застосування тієї чи іншої технології її перероблення.

Технологію перероблення сировини, базові значення показників якої використовуються для обчислення показника якості сировини Q_c , рекомендується застосовувати до сировини, якщо виконується умова:

$$Q_c \geq 1. \quad (12)$$

У цьому випадку важливо, щоб, окрім виконання умови (12), всі відносні показники K_i^+ та K_j^- якості сировини були більшими за 1.

У випадку, коли умова (12) виконується, але значення окремих відносних показників якості сировини менші за 1, тоді необхідно аналізувати кожен відносний показник, що менше за 1, окремо. Якщо значення окремого відносного показника якості сировини є меншим за 1, але величина абсолютного показника не є критичною, тобто допустимою для використання технології, тоді її можна застосовувати для перероблення цієї сировини із незначними корективами, що враховують відхилення зазначеного показника від базового значення в гіршу сторону. Відхилення показника від базового значення можна вважати незначним, якщо відносний показник не менше за 0,9.

У випадку, коли умова (12) не виконується, також необхідно аналізувати кожен відносний показник, що менше за 1, окремо. У цьому випадку технологію доцільно застосовувати для перероблення сировини, якщо більше ніж 80% відносних показників

якості сировини мають значення $K_i^+ \geq 1$, $K_j^- \geq 1$. Значення решти відносних показників не має бути меншим за 0,9.

Отже, алгоритм оцінювання сировини для визначення її придатності до перероблення за певною технологією містить етапи (рис. 1):

- вибирання технології перероблення сировини;
- визначення показників (якісних тощо), які характеризують придатність сировини до перероблення за вибраною технологією;
- проведення експертного оцінювання вагомості вибраних показників та обчислення їх коефіцієнтів вагомості;
- встановлення базових (рекомендованих) значень показників сировини, які дозволяють застосовувати вибрану технологію;
- визначення абсолютних (фактичних) значень показників сировини;
- обчислення відносних показників;
- обчислення значення середньозваженого арифметичного показника якості сировини;
- аналізування результатів оцінювання показників сировини;
- за результатами оцінювання прийняття рішення щодо можливості застосування вибраної технології;
- застосування вибраної технології або вибирання іншої.

Розглянемо застосування запропонованого універсального алгоритму на прикладах. Обчислимо середньозважений арифметичний показник стану стеблостою льону-довгунця для збирання якого планується застосувати комбайнову технологію збирання.

Під час збирання луб'яних культур (льону-довгунцю, льону олійного) потенційно можна отримати два види сировини: льяне насіння та льяну солому або тресту. Залежно від стану стеблостою та призначення посівів вибирають технологію збирання луб'яних культур та технологію первинного перероблення луб'яної сировини. Вибирання цих технологій має проходити за результатами оцінювання стану стеблостою та якості одержаної сировини. Основні показники, які характеризують стан стеблостою луб'яних культур у фазах ранньої жовтої та жовтої стиглості: загальна та технічна довжина стебел, діаметр стебел, вміст волокна у стеблах, полеглість і забур'яненість стеблостою, пошкодження стеблостою різними хворобами, урожайність насіння, вологість

насіння або насінневих коробочок.

За результатами оцінювання експертами вагомості цих показників для вибирання технології збирання луб'яних культур були визначені коефіцієнти вагомості кожного показника (рис. 2): загальна довжина стебел – $m_c = 0,15$; технічна довжина стебел – $m_c = 0,17$; діаметр стебел – $m_c = 0,05$; вміст волокна у стеблах – $m_c = 0,2$; урожайність насіння льону – $m_c = 0,12$; полеглість стеблостою – $m_c = 0,08$; забур'яненість стеблостою льону – $m_c = 0,07$; пошкодження стеблостою льону хворобами –

$m_c = 0,05$; вологість насіння – $m_c = 0,11$. Серед показників, які розглядалися експертами, найбільш вагомим є вміст волокна у стеблах льону ($m_c = 0,2$), а найменш вагомими є діаметр стебел ($m_c = 0,05$) та пошкодження стеблостою льону хворобами ($m_c = 0,05$). Коефіцієнт конкордації Кендалла $W = 0,78$, що свідчить про достатню узгодженість думок експертів. Оскільки $\chi^2 = 43,68 > \chi_m^2 = 15,51$ (при $f = 8$ та $\alpha = 0,05$), то прийнята нульова гіпотеза H_0 відхиляється та думки усіх фахівців є узгодженими.

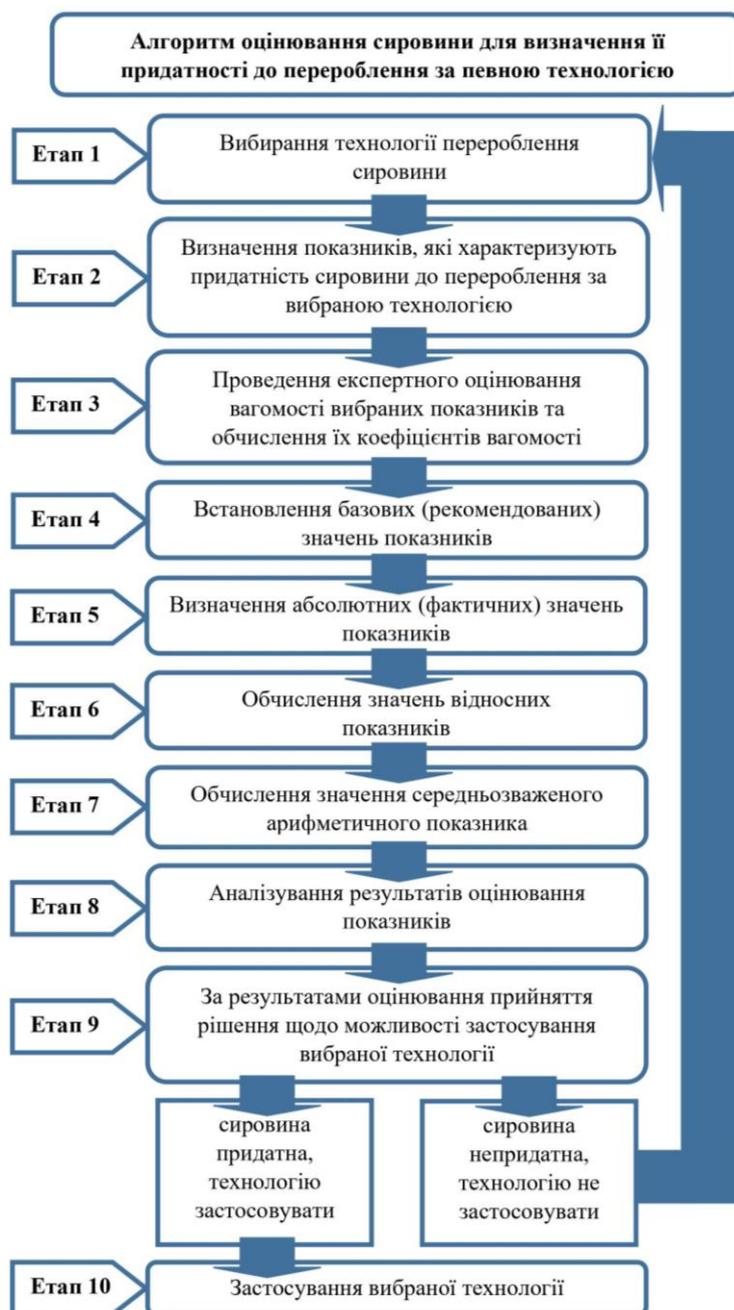


Рис. 1 – Алгоритм оцінювання сировини для визначення її придатності до перероблення

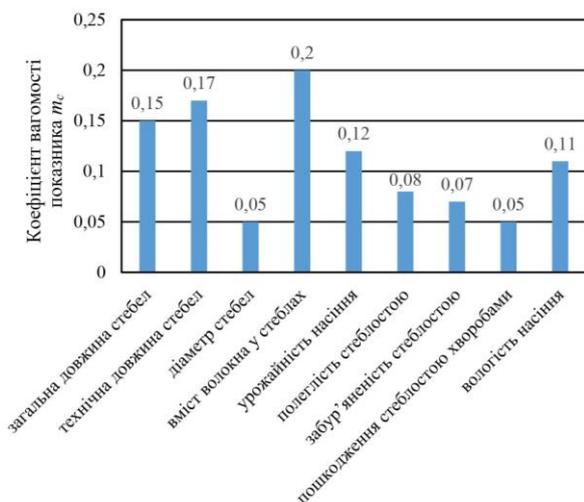


Рис. 2 – Коефіцієнти вагомості m_c показників стану стеблостою льону-довгунця

Нехай, стеблостій льону-довгунця, що досліджується, характеризується абсолютними значеннями показників:

1. Для показників стеблостою, за зростання абсолютного значення яких стан стеблостою льону кращий ($i = \overline{1, m}$, де $m = 5$): загальна довжина стебел льону – $P_1 = 0,85$ м; технічна довжина стебел – $P_2 = 0,7$ м; діаметр стебел льону – $P_3 = 1,3$ мм; вміст волокна у стеблах льону – $P_4 = 19\%$; урожайність насіння льону – $P_5 = 380$ кг/га.

2. Для показників стеблостою льону, за зменшення абсолютного значення яких стан стеблостою льону кращий ($j = \overline{1, n}$, де $n = 4$): полеглість стеблостою льону – $P_1 = 3\%$; забур'яненість стеблостою льону – $P_2 = 6\%$; пошкодження стеблостою льону хворобами – $P_3 = 2\%$; вологість насіння льону – $P_4 = 25\%$.

Для комбайнової технології збирання льону-довгунця у фазі ранньої жовтості на основі даних наукової літератури та нормативних документів (Dudarev, 2022; Держспоживстандарт України, 2004; Соловьев, 1989) встановлені базові значення показників стану стеблостою:

1. Для показників стеблостою льону, за зростання абсолютного значення яких стан стеблостою льону кращий ($i = \overline{1, m}$, де $m = 5$): загальна довжина стебел льону – $P_{баз.1} = 0,8$ м; технічна довжина стебел льону – $P_{баз.2} = 0,6$ м; діаметр стебел – $P_{баз.3} = 1,2$ мм; вміст волокна у стеблах – $P_{баз.4} = 18\%$; урожайність насіння льону – $P_{баз.5} = 400$ кг/га.

2. Для показників стеблостою льону, за зменшення абсолютного значення яких стан

стеблостою льону кращий ($j = \overline{1, n}$, де $n = 4$): полеглість стеблостою льону – $P_{баз.1} = 5\%$; забур'яненість стеблостою льону – $P_{баз.2} = 5\%$; пошкодження стеблостою льону хворобами – $P_{баз.3} = 5\%$; вологість насіння – $P_{баз.4} = 25\%$.

Зведемо початкові дані та результати обчислення показників якості стеблостою та середньозваженого арифметичного показника стану стеблостою до таблиці 1.

У результаті проведених обчислень отримали значення середньозваженого арифметичного показника стану стеблостою льону-довгунця $Q_c = 1,16$, що задовольняє умову (12). Маємо випадок, коли умова (12) виконується, але значення окремих відносних показників стану стеблостою менші за 1 (для урожайності насіння льону – $K_5^{+} = 0,95$; для забур'яненості стеблостою льону – $K_2^{-} = 0,83$). Відхилення показника урожайності насіння від базового значення можна вважати незначним, оскільки відносний показник $K_5^{+} = 0,95 > 0,9$, а відхилення показника забур'яненості льону від базового значення є значним, оскільки відносний показник $K_2^{-} = 0,83 < 0,9$. Отже, застосування комбайнової технології збирання льону з таким показником забур'яненості стеблостою допустиме лише у випадку, якщо режими роботи технічних засобів дозволяють це зробити. У разі, якщо технічні засоби, що використовуються за комбайнової технології збирання льону-довгунця, не можуть забезпечити належне збирання стеблостою з такими характеристиками, тоді необхідно провести аналогічне оцінювання стеблостою, але вже за новими базовими показниками альтернативної технології збирання льону-довгунця і на основі результатів прийняти рішення щодо можливості її застосування. На основі проведеного оцінювання стану стеблостою можна зробити висновки щодо подальшого призначення лляної сировини.

Використовуючи алгоритм також можна провести оцінювання лляної сировини, на основі якого прийняти рішення щодо її подальшого призначення та доцільності застосування тієї чи іншої технології її первинного перероблення.

Розглянемо застосування запропонованого універсального алгоритму на прикладі лляної трести (з льону-довгунця), що отримана шляхом росяного мочіння та яку планується переробляти за технологією отримання довгого волокна.

Таблиця 1 – Початкові дані та результати обчислення середньозваженого арифметичного показника стану стеблостою льону-довгунця

Показник стану стеблостою	Абсолютне значення показника P_{ij}	Базове значення показника $P_{баз.ij}$	Вираз, за яким розраховується відносний показник	Відносний показник K_i^+, K_j^-	Ваговий коефіцієнт m_{ci}, m_{cj}	Показник Q_c
Загальна довжина стебел	0,85 м	0,8 м	(10)	$K_1^+ = 1,06$	0,15	1,16
Технічна довжина стебел	0,7 м	0,6 м	(10)	$K_2^+ = 1,17$	0,17	
Діаметр стебел	1,3 мм	1,2 мм	(10)	$K_3^+ = 1,08$	0,05	
Вміст волокна у стеблах	19%	18%	(10)	$K_4^+ = 1,06$	0,20	
Урожайність насіння	380 кг/га	400 кг/га	(10)	$K_5^+ = 0,95$	0,12	
Полеглість стеблостою	3%	5%	(11)	$K_1^- = 1,67$	0,08	
Забур'яненість стеблостою	6%	5%	(11)	$K_2^- = 0,83$	0,07	
Пошкодження стеблостою хворобами	2%	5%	(11)	$K_3^- = 2,5$	0,05	
Вологість насіння	25%	25%	(11)	$K_4^- = 1,0$	0,11	

Основними якісними показниками, які характеризують лляну тресту відповідно до (Держспоживстандарт України, 2004), є довжина та вологість трести, розтягнутість стрічки трести льону, відокремлюваність та засміченість трести, вихід довгого тіпаного волокна та інтенсивність відбитого світлового потоку поверхнею трести. За результатами оцінювання експертами вагомості цих показників були визначені коефіцієнти їх вагомості (рис. 3): довжина трести – $m_c = 0,19$; відокремлюваність трести – $m_c = 0,17$; вихід довгого тіпаного волокна – $m_c = 0,25$; вологість трести льону – $m_c = 0,13$; розтягнутість стрічки трести – $m_c = 0,07$; засміченість трести льону – $m_c = 0,05$; інтенсивність відбитого світлового потоку поверхнею трести – $m_c = 0,14$. Серед показників, які розглядалися експертами, найбільш вагомим є вихід довгого тіпаного волокна ($m_c = 0,25$), а найменш вагомим – засміченість трести ($m_c = 0,05$). Коефіцієнт

конкордації Кендалла $W = 0,84$, що свідчить про достатню узгодженість думок експертів. Оскільки $\chi^2 = 35,28 > \chi_m^2 = 12,59$ (при $f = 6$ та $\alpha = 0,05$), то нульова гіпотеза H_0 відхиляється та думки усіх фахівців є узгодженими.

Нехай, лляна треста характеризується абсолютними значеннями показників:

1. Для показників трести, за зростання абсолютного значення яких якості трести льону краща ($i = 1, m$, де $m = 3$): довжина трести льону – $P_1 = 0,55$ м; відокремлюваність трести льону – $P_2 = 3,2$; вихід довгого тіпаного волокна льону – $P_3 = 6\%$.

2. Для показників трести, за зменшення абсолютного значення яких якості трести льону краща ($j = 1, n$, де $n = 4$): вологість трести льону – $P_1 = 21\%$; розтягнутість стрічки трести льону – $P_2 = 1,2$; засміченість трести льону – $P_3 = 5,5\%$; інтенсивність відбитого світлового потоку поверхнею трести льону-довгунця приймаємо $P_4 = 26$ люкс.

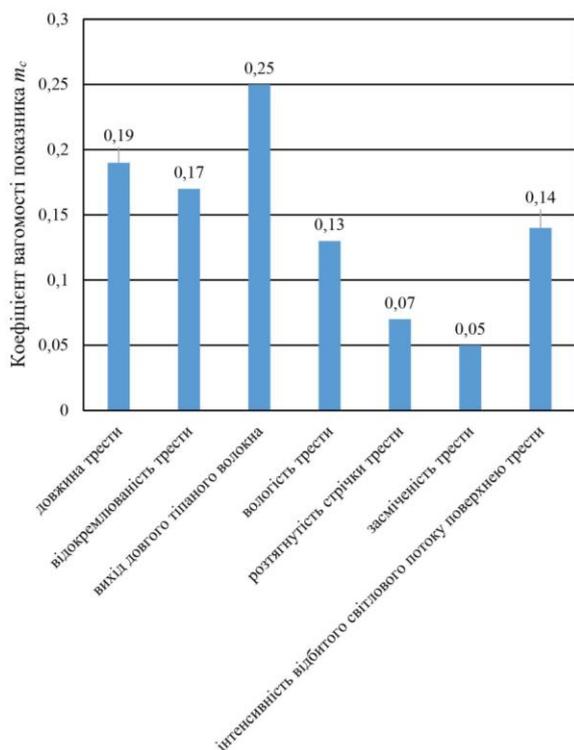


Рис. 3 – Коефіцієнти вагомості m_c показників якості лляної трести

Для технології первинного перероблення лляної трести з метою виділення довгого волокна на основі даних нормативних документів (*Держспоживстандарт України, 2004*) встановлені базові значення показників якості лляної трести:

1. Для показників трести, за зростання абсолютного значення яких якість трести льону краща ($i = \overline{1, m}$, де $m = 3$): довжина трести льону – $P_{баз.1} = 0,6$ м; відокремлюваність трести – $P_{баз.2} = 3,1$; вихід довгого тіпаного волокна – $P_{баз.3} = 5\%$.

2. Для показників трести, за зменшення абсолютного значення яких якість трести льону краща ($j = \overline{1, n}$, де $n = 4$): вологість трести – $P_{баз.1} = 20\%$; розтягнутість стрічки трести – $P_{баз.2} = 1,3$; засміченість трести – $P_{баз.3} = 5\%$; інтенсивність відбитого світлового потоку поверхнею трести – $P_{баз.4} = 27$ люкс.

Зведемо початкові дані та результати обчислення комплексного показника якості лляної трести до **таблиці 2**. За результатами обчислень отримали показник якості трести льону $Q_c = 1,05$, що задовольняє умову (12).

Таблиця 2 – Початкові дані та результати обчислення середньозваженого арифметичного показника якості лляної трести

Показник якості лляної трести	Абсолютне значення показника P_{ij}	Базове значення показника $P_{баз.ij}$	Вираз, за яким розраховується відносний показник	Відносний показник K_i^+, K_j^-	Ваговий коефіцієнт m_{ci}, m_{cj}	Показник Q_c
Довжина трести	0,55 м	0,6 м	(10)	$K_1^+ = 0,92$	0,19	1,05
Відокремлюваність трести	3,2	3,1	(10)	$K_2^+ = 1,03$	0,17	
Вихід довгого тіпаного волокна	6%	5%	(10)	$K_3^+ = 1,2$	0,25	
Вологість трести	21%	20%	(11)	$K_1^- = 0,95$	0,13	
Розтягнутість стрічки трести	1,2	1,3	(11)	$K_2^- = 1,08$	0,07	
Засміченість трести	5,5%	5%	(11)	$K_3^- = 0,91$	0,05	
Інтенсивність відбитого світлового потоку поверхнею трести	26 люкс	27 люкс	(11)	$K_4^- = 1,04$	0,14	

Однак, значення окремих відносних показників лляної трести менші за 1 (для довжини трести – $K_1^+ = 0,92$; для вологості трести – $K_1^- = 0,95$; для засміченості трести – $K_3^- = 0,91$). Відхилення усіх трьох показників, що менші за 1, від базових значень можна вважати незначними, оскільки: $K_1^+ = 0,92 > 0,9$; $K_1^- = 0,95 > 0,9$; $K_3^- = 0,91 > 0,9$.

Отже, застосування технології первинного перероблення лляної трести, що передбачає отримання довгого волокна, можливе, оскільки лляна треста придатна для цього.

ВИСНОВКИ

Розроблено універсальний алгоритм оцінювання придатності рослинної сировини для перероблення за певною технологією або стану стеблостою сільськогосподарських культур, зокрема луб'яних, для його збирання за певною технологією. На прикладах стеблостою льону-довгунця і лляної трести було апробовано розроблений алгоритм та обчислено середньозважені арифметичні показники стану стеблостою льону-довгунця і якості лляної трести, а також встановлено придатність, відповідно, стеблостою льону для збирання за комбайнвою технологією, а лляної трести – для первинного перероблення за технологією, що передбачає виділення довгого волокна. Цей алгоритм можна застосовувати для будь-якої рослинної сировини з метою визначення її придатності до перероблення за певною технологією.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Dudarev, I. (2022). A review of fibre flax harvesting: conditions, technologies, processes and machines. *Journal of Natural Fibers*, 19(12), 4496-4508. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1863296>
- Yaheliuk, S., Didukh, V., Busnyuk, V., Boyko, G., & Shubalyi, O. (2020). Optimization on efficient combustion process of small-sized fuel rolls made of oleaginous flax residues. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 62(3), 361-368. <https://doi.org/10.35633/inmateh-62-38>
- Березовський, Ю. В. (2016). Вплив нових технічних рішень на проектування екологічно безпечної продукції з використанням лляної сировини (*The influence of new technical solutions on designing environmentally safe products by using of flax raw material*). *Енергетика: економіка, технології, екологія*, 3, 104-113.
- Березовський, Ю. В. (2017). Технічні рішення процесу переробки лляної сировини (*Technical solution for processing of flax raw materials*). *Science and Innovation*, 13(3), 25-37. <https://doi.org/10.15407/scin13.03.025>
- Головенко, Т. М., Налобіна, О. О., Шовкомуд, О. В., Герасимчук, О. П., & Козел, В. М. (2021). Автоматизація оцінювання луб'яної сировини з льону олійного (*Automation of evaluation of bast raw materials from linseed*). *Сільськогосподарські машини*, 47, 124-132. <https://doi.org/10.36910/asn.vi47.657>
- Горач, О. О., & Домбровська, О. П. (2021). Використання насіння льону олійного та конопель у харчовій промисловості (*Use of oilflower seeds and hemp in the food industry*). *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*, 28, 18-22. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2021-28-03>
- Держспоживстандарт України. (2004). *Треста лляна. Технічні умови* (ДСТУ 4149:2003) (*Retted flax straw. Specifications*).
- Дідух, В. Ф., Ягелюк, С. В., & Онюх, Ю. М. (2017). Показники споживних властивостей волокна льону олійного, вирощеного в умовах Західного Полісся (*Indicators of consumption properties of oilseed flax fiber grown in the conditions of the Western Polissia*). *Сільськогосподарські машини*, 38, 47-52.
- Садовников, И. В. (2009). *Квалиметрия* (*Qualimetry*). Чита: ЧитГУ.
- Соколовский, С. С. (2008). *Методы менеджмента качества. Квалиметрия* (*Quality management methods. Qualimetry*). Минск: БНТУ.
- Соловьев, А. Я. (1989). *Льноводство* (*Cultivation of flax*). М.: Агропромиздат.
- Толмачов, В. С., & Кузьміна, Т. О. (2010). Програмні засоби для визначення показників лляної сировини (*Software for determining indicators of flax raw materials*). *Вісник КНУТД*, 5, 120-123.
- Ягелюк, С. В. (2013). Визначальні показники якості льоносировини (*Determining indicators of the flax raw material quality*). *Товарознавчий вісник*, 6, 153-157.
- Ягелюк, С., & Дідух, В. (2021). *Формування якості лляної продукції* (*Flax product quality formation*). Луцьк: ЛНТУ.
- Ягелюк, С., Дідух, В., & Онюх, Ю. (2019). Оцінка якості волокна зі стебел льону олійного, вирощеного в умовах Західного Полісся (*Quality evaluation of fiber from the stalks of oil flax grown in the conditions of the Western Polissia*). *Товарознавчий вісник*, 1(11), 169-175. <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2018-11-19>

METHODOLOGY FOR EVALUATING CHANGES IN PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF FOAM MATERIALSO. Mikulich^{1*}, V. Khvesyk²¹Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine²Liubeshiv Technical College, Liubeshiv, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES

AM
CM

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

An analytical-numerical approach for studying the dynamic stress state of foam materials (auxetics) with negative Poisson's coefficients is developed in the article. Auxetics have the property of expanding during axial stretching. This effect results from the unique structure of these materials, which are formed by combining different types of nanotubes. Special interest in auxetics arises during the development of methods for increasing the operational characteristics of classical materials by creating structures that have adaptive mechanical reactions to external influences. To model the dynamic stress state, the Cosserat moment continuum model with compressed rotation – the couple stress elasticity – was used. The development of the analytical-numerical approach was carried out with the simultaneous use of the Fourier transform in the time variable and the method of integral equations. The use of such an approach made it possible to reduce the solution of a non-stationary problem to a finite system of the issues written in the form of a system of integral equations with established singular features. Analytical equations for determining radial stresses in the medium in integral form were obtained in the article. Numerical modelling was carried out for the case of an infinite structural-inhomogeneous medium weakened with tunnel cavities. The numerical analysis was carried out for the case under the action of an impulse load applied to the boundary of the tunnel cavity in the radial direction. Based on the developed approach, the distribution of dynamic radial stresses in foam materials with a positive and negative Poisson's ratio was studied. The impact of the impulse duration on the stress state of the bodies made with classical and auxetic foam was studied. The developed approach makes it possible to evaluate the influence of the change in the microstructure of the material on the propagation of non-stationary processes in foam materials with a positive and negative Poisson's ratio.

Key words:

impulse loading,
moment stresses,
auxetics,
foam materials,
dynamic stress state

Article history:

Received 02.09.2022

Accepted 20.10.2022

***Corresponding author:**

shyprao@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.893

To cite this article:

Mikulich, O., & Khvesyk, V. (2022). Methodology for evaluating changes in performance characteristics of foam materials. *Agricultural Machines*, 48, 110-117. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.893>

УДК 539.3

**МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЗМІНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПІНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ****О.А. Мікуліч^{1*}, В.О. Хвесик²**¹Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна²Любешівський технічний коледж, Любешів, Україна

AGRICULTURAL MACHINES

**АМ
СМ**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Розроблено аналітично-числовий підхід для дослідження динамічного напруженого стану пінистих матеріалів із від'ємним коефіцієнтів Пуассона – ауксетиків. Ауксетики мають властивість розширюватися за осьового розтягу. Цей ефект є результатом особливої структури таких матеріалів, що формуються шляхом комбінації різних видів нанотрубок. Особливий інтерес до ауксетиків виникає під час розроблення методів підвищення експлуатаційних характеристик класичних матеріалів шляхом створення структур, що мають адаптивні механічні реакції на зовнішні впливи. Для моделювання динамічного напруженого стану використано модель моментного континууму Коссера зі стисненим обертанням – моментну теорію пружності. Побудови аналітично-числового підходу здійснено за сумісного використання перетворення Фур'є за часом та методу інтегральних рівнянь. Використання цього підходу дозволило звести розв'язання нестационарної задачі до скінченної системи задач, що записані у вигляді системи інтегральних рівнянь, які мають усталені сингулярні особливості. Отримано залежності для визначення радіальних напружень у середовищі в інтегральній формі. Числове моделювання проведено для випадку нескінченного структурно-неоднорідного середовища, що послаблене тунельними порожнинами. Числовий аналіз проведено для випадку дії імпульсного навантаження, що прикладене до границі тунельної порожнини у радіальному напрямку. На основі розробленого підходу досліджено розподіл радіальних напружень у пінистих матеріалах із додатнім та від'ємним коефіцієнтом Пуассона і вивчено вплив тривалості імпульсу на напружений стан тіл. Розроблений підхід дозволяє оцінити вплив зміни мікроструктури матеріалу на перебіг нестационарних процесів у пінистих матеріалах із додатнім та від'ємним коефіцієнтом Пуассона.

Ключові слова:

імпульсне навантаження,
моментні напруження,
ауксетики,
пінисті матеріали,
динамічний напружений стан

Історія публікації:

Отримано 02.09.2022

Затверджено 20.10.2022

***Автор для листування:**

shyprao@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.893

Цитувати цю статтю:

Мікуліч, О. А., & Хвесик, В. О. (2022). Методика оцінювання зміни експлуатаційних характеристик пінистих матеріалів. *Сільськогосподарські машини*, 48, 110-117. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.893>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В останні роки значна кількість наукових праць присвячена створенню нового класу матеріалів – ауксетиків, що мають від’ємний коефіцієнт Пуассона. Цей ефект є результатом особливої структури цих матеріалів, що формуються шляхом комбінації різних видів нанотрубок. Особливий інтерес до ауксетиків виникає під час розроблення наукових методів підвищення експлуатаційних характеристик класичних матеріалів шляхом створення структур, що мають адаптивні механічні реакції на зовнішні впливи. Переважна кількість наукових досліджень, результати яких представлені у технічній літературі, присвячена пінистим ауксетик-матеріалам, що мають широке застосування та можуть бути виготовлені із полімерів.

У зв’язку зі зростанням вимог до конструкційних матеріалів в останні роки широкого розвитку набули неруйнівні методи діагностування матеріалів (*Ostash et al., 2013; Ostash et al., 2014; Skalsky et al., 2014; Куриляк & Назарчук, 2011*), що можуть бути застосовані для дослідження властивостей ауксетиків.

У науковій праці *Evans (1991)* описано інтерес до ауксетиків у зв’язку з особливими властивостями цих матеріалів: модуль зсуву цих матеріалів може істотно перевищувати їх об’ємний модуль пружності, що діаметрально протилежно порівняно із класичними матеріалами. У науковій праці *Kurashige et al. (2005)* описані дослідження поведінки пінистих середовищ, насичених рідиною, за дії раптового навантаження. Матеріали із від’ємним коефіцієнтом Пуассона мають особливі акустичні властивості, що пов’язані із структурою ауксетиків (*Chen & Lakes, 1989*).

Основний метод отримання пінистих ауксетичних матеріалів, який описано у наукових працях (*Brandel & Lakes, 2001; Friis et al., 1988; Lakes, 1991; Lakes, 2016; Rueger & Lakes, 2016*), полягає у всебічному стиску початкового пінистого середовища із його нагріванням до температури розм’якшення та подальшим охолодженням до кімнатної температури.

Аналіз мікроструктури отриманих піно-ауксетичних середовищ показав, що у процесі отримання матеріалу ребра пор прогинаються усередину, тому за розтягу цих тіл поперечний

переріз збільшується, як описано у науковій праці (*Friis et al., 1988*). Значна кількість наукових робіт присвячена дослідженню особливих властивостей матеріалів із від’ємним коефіцієнтом Пуассона. У науковій праці (*Rueger & Lakes, 2016*) визначено пружні характеристики пінистих ауксетиків, причому, із урахуванням впливу мікроструктури середовища. З огляду на зазначене, вивчення поведінки таких нетрадиційних матеріалів як ауксетики є важливим із точки зору фундаментальних досліджень та практичного застосування.

Мета дослідження – розроблення методики оцінювання зміни експлуатаційних характеристик пінистих ауксетик-середовищ, що послаблені тунельними порожнинами довільного перерізу, за дії імпульсного навантаження, яке прикладене до їх границі. Аналітико-числова методика розроблена для поліуретанових структур у рамках псевдо-континуума Коссера, що дає можливість ураховувати вплив мікроструктури матеріалу.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Розглянемо пружне пінисте ізотропне ауксетик-середовище, послаблене тунельною порожниною. Позначимо через L його границю. Віднесемо його до Декартової системи координат $x_1x_2x_3$ (рис. 1), яку розмістимо у центрі ваги тіла (точка O). Вісь x_3 спрямуємо вздовж осі перерізу.

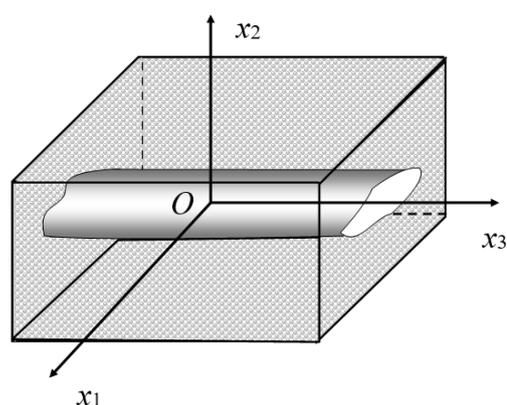


Рис. 1 – Моделювання об’єкту дослідження

Дослідимо розподіл у тілі динамічних радіальних напружень за дії імпульсного навантаження, що прикладене до границі порожнини. За числових розрахунків зміну

інтенсивності імпульсу з часом представимо у вигляді:

$$\phi(\tau) = p_* \tau^{n_*} e^{-\alpha_* \tau}, \tau > 0, n_* \geq 0, \quad (1)$$

де p_* , n_* , α_* – сталі; $\tau = c_1 t/a$ – безрозмірний часовий параметр; c_1 – швидкість хвиль розширення, $c_1 = \sqrt{(\lambda + 2\mu)/\rho}$; ρ – густина; μ , λ – сталі Ляме; a – деякий характерний розмір.

Дослідження динамічного напруженого стану пінистих середовищ проведемо із використанням рівняння моментної теорії пружності зі стисненим обертанням – апарат псевдоконтинууму Коссера, що враховують внутрішній момент кількості руху мікрочастинок (Savin & Shulga, 1967):

$$(\lambda + 2\mu) \text{grad div } u + \text{rot rot} \left(\frac{B}{4} \Delta u - \mu u \right) = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad (2)$$

де Δ – оператор Лапласа; $u(x, t) = [u_j(x, t)]$, $j = 1, 2$ – вектор переміщень; $x = (x_1, x_2)$; B – стала, що відповідає мікроструктурі матеріалу ($B = \gamma + \varepsilon$).

Граничні умови задачі записуються у вигляді:

$$\sigma_r|_L = \sigma_0 \phi(t), \tau_{r\theta}|_L = 0. \quad (3)$$

Представимо вектор переміщень $u(x, t)$ у вигляді суми потенціальної φ та вихрової ψ функцій:

$$u = \text{grad} \varphi + \text{rot} \bar{\psi}. \quad (4)$$

Підставивши (4) у рівняння (2), отримаємо два рівняння гіперболічного та параболічного типу:

$$\Delta \varphi - \frac{1}{c_1^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = 0, \quad (5)$$

$$l^2 \Delta \psi - \Delta \psi + \frac{1}{c_2^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0, \quad (6)$$

де c_2 – швидкість хвиль зсуву, $c_2 = \sqrt{\mu/\rho}$; l – масштабний фактор, $l^2 = B/(4\mu)$.

Із отриманих рівнянь (5) та (6) зрозуміло, що у моментному псевдоконтинуумі Коссера хвилі зсуву і хвилі поперечного обертання мають дисперсійні властивості та утворюють хвилі зсуву-обертання.

Застосуємо до отриманих хвильових рівнянь перетворення Фур'є за часовою змінною t :

$$\tilde{f}(x, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, t) e^{-i\omega t} dt, \quad (7)$$

Це дозволить визначити швидкість поширення хвиль:

$$c_3 = \sqrt{c_2(\sqrt{c_2^2 + 4l^2\omega^2} + c_2)}/2, \quad (8)$$

$$c_4^2 = \sqrt{c_2(\sqrt{c_2^2 + 4l^2\omega^2} - c_2)}/2. \quad (9)$$

Залежності (8) та (9) показують, що при $l \rightarrow 0$ швидкість першої з хвиль $c_3 \rightarrow c_2$, а друга, з уявним хвильовим числом $i\omega/c_4$, зникає.

Застосовуючи перетворення Фур'є (7) до рівняння (2), отримаємо аналоги рівнянь усталених коливань із циклічною частотою ω :

$$(\lambda + \mu) \partial_j \tilde{\theta} + \frac{B}{4} \Delta \partial_j \tilde{\theta} - \frac{B}{4} \Delta \Delta \tilde{u}_j + \mu \Delta \tilde{u}_j + \omega^2 \tilde{u}_j = 0, \quad (10)$$

де \tilde{u}_j – Фур'є-зображення переміщень; $\tilde{\theta} = \partial_j \tilde{u}_j$.

Виокремивши вплив часового фактору, подальші дослідження будемо проводити в області Фур'є-зображень. Граничні умови задачі в зображеннях зводяться до вигляду:

$$\tilde{\sigma}_r|_L = \sigma_0 \tilde{\phi}(\omega), \tilde{\tau}_{r\theta}|_L = 0, \quad (11)$$

де $\tilde{\phi}(\omega)$ – Фур'є-зображення функції (1).

Для розв'язання поставленої задачі в області Фур'є-зображень використаємо метод граничних інтегральних рівнянь. У випадку першої основної задачі потенціальне зображення загального розв'язку для переміщень виберемо у вигляді, що представлено у науковій праці (Bonnet, 1995):

$$\tilde{y}_k(x, \omega) = \int_L p_j(x^0, \omega) \cdot U_{jk}^*(x, x^0, \omega) ds, \quad (12)$$

де p_1, p_2 – невідомі потенціальні функції; $k = 1, 2$; L – границя перерізу тунельної порожнини.

Інтегрування рівняння (12) вздовж границі проводиться за змінними $x^0 = \{x_1^0; x_2^0\}$.

У рамках моментного псевдоконтинууму Коссера представлення для зображень U_{jk}^* побудоване для випадку врахування умови випромінювання Зомерфельда:

$$U_{jk}^* = U_{jk}^{*kl} + U_{jk}^{*m}, \quad (13)$$

де U_{jk}^{*kl} – фундаментальний тензор переміщень класичної теорії пружності.

Фундаментальний тензор переміщень класичної теорії пружності:

$$U_{jk}^{*kl} = \frac{1}{2\pi\mu} (K_0(\kappa_2 r) \delta_{jk} + \frac{1}{\kappa_2^2} \partial_k \partial_j (K_0(\kappa_1 r) - K_0(\kappa_2 r))), \quad (14)$$

де U_{jk}^{*m} – фундаментальний тензор, який враховує оберально-зсувні деформації у псевдоконтинуумі Коссера.

Фундаментальний тензор, що враховує вплив оберально-зсувних деформацій у псевдоконтинуумі Коссера:

$$U_{jk}^{*m} = -\frac{D}{2\pi\mu} \Delta (\Delta \delta_{jk} - \partial_k \partial_j) D_m K_0(\kappa_m r), \quad (15)$$

де $\kappa_m = i\omega/c_m$; $m = 2, 3, 4$ – хвильові числа; $K_0(\kappa_m r)$ – модифікована функція Бесселя третього роду нульового порядку (функція Макдональда); $r = \sqrt{(x_1 - x_1^0)^2 + (x_2 - x_2^0)^2}$ – відстань; $j, k = 1, 2$.

Сталі рівняння (15):

$$D = \frac{c_3^2 c_4^2}{\omega^2 (c_3^2 + c_4^2)},$$

$$D_m = \left(\frac{1}{\kappa_m^2 - \kappa_3^2} - \frac{1}{\kappa_m^2 - \kappa_4^2} \right) \delta_{m2} - \frac{\delta_{m3}}{\kappa_{m-1}^2 - \kappa_m^2} + \frac{\delta_{m4}}{\kappa_{m-2}^2 - \kappa_m^2}.$$

Для задоволення умов на границі порожнини (11) розрахуємо напруження за формулами (Savin & Shulga, 1967):

$$\tilde{\sigma}_r = \frac{\sigma_{11} + \sigma_{22}}{2} + \frac{1}{4} (e^{-2i\theta} (\sigma_{11} - \sigma_{22} + i(\tau_{12} + \tau_{21})) + e^{2i\theta} (\sigma_{11} - \sigma_{22} - i(\tau_{12} + \tau_{21}))), \quad (16)$$

$$\tilde{\tau}_{r\theta} = \frac{\tau_{12} - \tau_{21}}{2} + \frac{i}{4} (e^{2i\theta} (\sigma_{11} - \sigma_{22} - i(\tau_{12} + \tau_{21})) - e^{-2i\theta} (\sigma_{11} - \sigma_{22} + i(\tau_{12} + \tau_{21}))), \quad (17)$$

де θ – кут між нормаллю до площинки та віссю Ox_1 .

Підставляючи (12) з урахуванням виразів (14)–(15) у формули (16) та (17), отримаємо інтегральні представлення виду:

$$\tilde{\sigma}_r = \int_L (f_j(x, x^0) p_j) ds, \quad (18)$$

$$\tilde{\tau}_{r\theta} = \int_L (g_j(x, x^0) p_j) ds, \quad (19)$$

де f_j, g_j – відомі функції.

Виокремивши нерегулярні складові підінтегральних функцій та провівши граничний перехід на основі формул Племеля-Сохоцького у залежностях (18) та (19), отримаємо систему інтегральних рівнянь для визначення невідомих на границі функцій:

$$\operatorname{Re}(q)/2 + \mathbf{v.p.} \int_L f_1(x, x^0) q d\zeta + \mathbf{v.p.} \int_L f_2(x, x^0) \bar{q} d\bar{\zeta} = \sigma_0 \tilde{\phi}(\omega), \quad (20)$$

$$\operatorname{Im}(q(1 - (l/c_2)^2))/2 + \mathbf{v.p.} \int_L g_j(x, x^0) q d\zeta + \mathbf{v.p.} \int_L g_j(x, x^0) \bar{q} d\bar{\zeta} = 0, \quad (21)$$

де $p ds = -iq d\zeta$; $p = p_1 + ip_2$ – невідома функція; $\zeta = x_1^0 + ix_2^0$.

У рівняннях (20) та (21) інтеграли розуміються у сенсі головного значення.

Невідомі на границі функції визначалися числово на основі методики, розвинутої у науковій праці (Shvabyuk et al., 2015), яка ґрунтується на сумісному використанні методу механічних квадратур та колокації. У рамках запропонованого алгоритму для інтегралів, що містять особливості типу Коші, використано квадратурні формули підвищеної точності. Використання цього підходу дозволило звести задачу до розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

Для дослідження динамічної поведінки пінистих ауксетик-середовищ за дії імпульсного навантаження, що прикладене до границі порожнини, проводився розрахунок радіальних напружень у тлі:

$$\tilde{\sigma}_r = \mathbf{v} \cdot \mathbf{p} \cdot \int_L f_j(x, x^0) p_j ds. \quad (22)$$

Оригінали напружень знаходилися із використанням дискретного оберненого перетворення Фур'є:

$$\sigma_r(T_k) = \frac{2}{T} \operatorname{Re} \left(\sum_{n=0}^{K-1} \tilde{\sigma}_r(\omega_n) \exp\left(2\pi i \frac{nk}{K}\right) - \sum_{n=0}^{K-1} \tilde{\sigma}_r(\omega_n) \right), \quad (23)$$

де K – кількість елементів дискретної вибірки; $\omega_n = 2\pi n/T$ – частоти вибірки; $T_k = kT/K$; $k = 0..K-1$ – фіксовані моменти часу.

Для оптимізації числових розрахунків представлення (23) обчислювалося на основі відомого алгоритму швидкого дискретного перетворення Фур'є (Ramamohan et al., 2010) при $K = 2^m$ (де m – ціле додатне число).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Із використанням розробленої методики досліджено динамічний напружений стан пінистого ауксетик-середовища, послабленого тунельною циліндричною порожниною. Числові розрахунки динамічних радіальних напружень виконані для пінистого поліуретану із від'ємним коефіцієнтом Пуассона, для якого у науковій праці (Rueger & Lakes, 2016) визначено фізичні характеристики: густина –

$\rho = 96 \text{ кг/м}^3$; модуль зсуву – $G = 16 \text{ кПа}$; масштабний фактор – $l = 2,3 \text{ мм}$; коефіцієнт Пуассона – $\nu = -0,8$.

Цей ауксетик-матеріал отримано із пінистого поліуретану з характеристиками: густиною, яка становить $\rho = 30 \text{ кг/м}^3$; модулем зсуву $G = 45 \text{ кПа}$ та додатнім коефіцієнтом Пуассона $\nu = 0,4$. Матеріал отримано шляхом всебічного стискання із нагріванням до температури розм'якшення. У результаті ребра пор матеріалу вгинаються всередину. За дії розтягувального навантаження цей матеріал розширюється внаслідок розкриття на зовні увігнутих ребер пор. Результати числових розрахунків відносних радіальних динамічних напружень для пінистого матеріалу із від'ємним значенням коефіцієнта Пуассона представлені на **рис. 2, а**. Аналогічні результати розрахунків для пінистого матеріалу з додатнім коефіцієнтом Пуассона, отримані у праці (Мікуліч, 2017), показані на **рис. 2, б**. Числові розрахунки для тривалості імпульсу $\tau^* = 1$ виконано для випадку, коли прикладене до границі навантаження задане у вигляді представлення (1) при $\alpha^* = 10$, $p^* = 185$, $n^* = 2$.

Аналізуючи графічні залежності на **рис. 2** доходимо висновку, що за дії імпульсного навантаження розподіл радіальних напружень у пінистому середовищі має знакозмінний характер. Поширення імпульсної хвилі в ауксетиках та неауксетиках характеризується наявністю полів як розтягувальних (під час проходження імпульсу), так і стискувальних (після проходження імпульсу) напружень. Стискувальні напруження, що виникають після проходження імпульсного навантаження у пінистих матеріалах із від'ємним коефіцієнтом Пуассона є меншими у 2,2 рази порівняно із відповідними напруженнями для початкового матеріалу.

Числові розрахунки продемонстрували, що в ауксетик-матеріалах за дії імпульсного навантаження є незначна коливність розподілу динамічних напружень у межах 0,5–1%. Для дослідження цього ефекту проведено числові розрахунки для різної тривалості імпульсу прикладеного навантаження.

На **рис. 3** представлені результати для випадку, коли тривалість імпульсу становить $\tau^* = 0,5$. Аналізуючи графічні залежності на **рис. 3** доходимо висновку, що за зменшення тривалості імпульсу відбувається зростання

коливності розподілу відносних динамічних радіальних напружень, що пов'язано із мікроструктурою ауксетиків. Це також підтвердили числові розрахунки для імпульсів тривалістю $\tau^* = 0,25$ та $\tau^* = 0,1$. Для $\tau^* = 0,5$ коливність розподілу динамічних напружень становить близько 2%, а для $\tau^* = 0,1$ – 6,5–7%.

Проведені числові розрахунки для пінистих ауксетик-матеріалів із значеннями

коефіцієнта Пуассона $\nu = -0,13$ (Lakes & Lowe, 2000), $\nu = -0,19$ (Friis et al., 1988), $\nu = -0,26$ (Lakes & Lowe, 2000) демонструють, що за зміни коефіцієнта Пуассона коливність розподілу радіальних напружень зменшується. Одночасно виконані числові розрахунки для пінистих матеріалів із додатним коефіцієнтом Пуассона за різної тривалості навантаження цих ефектів не виявили.

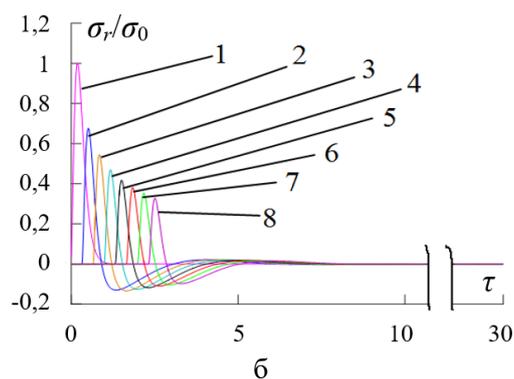
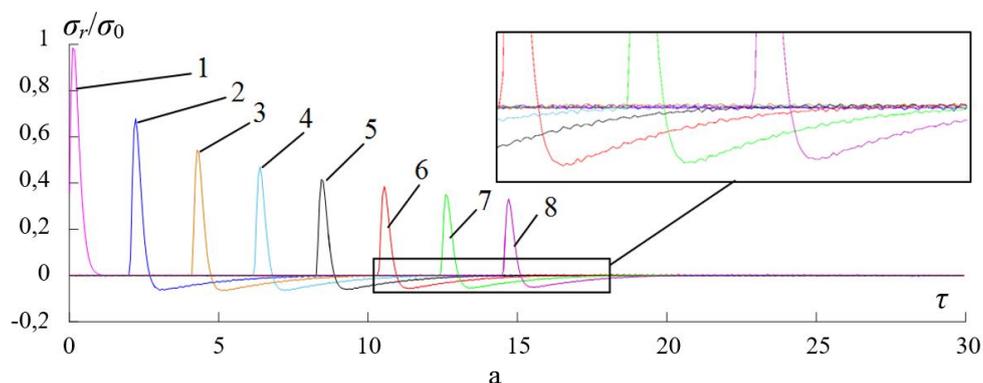


Рис. 2 – Розподіл динамічних радіальних напружень у пінистому поліуретані з від'ємним (а) та додатним (б) коефіцієнтом Пуассона:

1 – на границі порожнини; 2–8 – у перерізах на відстані $\delta = (2 \dots 8)R$ від центру порожнини

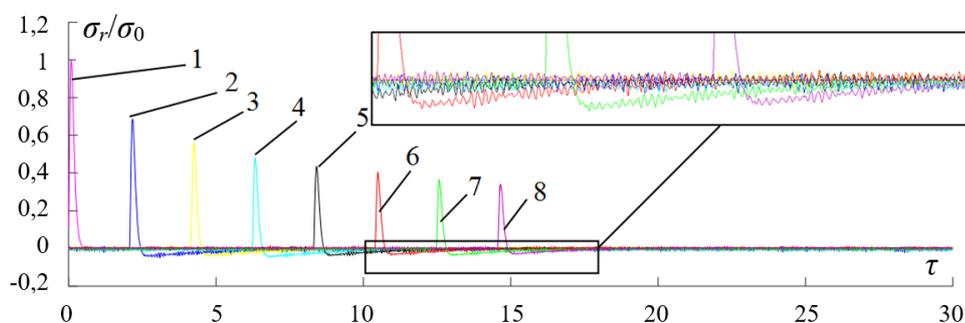


Рис. 3 – Розподіл динамічних радіальних напружень у пінистому поліуретані із від'ємним коефіцієнтом Пуассона за тривалості імпульсу $\tau^* = 0,5$

ВИСНОВКИ

Запропонована методика дослідження динамічного напруженого стану ауксетик-середовищ ґрунтується на сумісному використанні перетворення Фур'є за часом, методу граничних інтегральних рівнянь та методу механічних квадратур. Застосування дискретного перетворення лише на етапі пошуку оригіналів напружень забезпечує високу точність запропонованого підходу.

Також досліджено розподіл динамічних радіальних напружень у пінистих матеріалах із від'ємним коефіцієнтом Пуассона за дії імпульсного навантаження, що прикладене до границі порожнини на основі рівнянь моментного псевдоконтинууму Коссера.

Числові розрахунки показали, що за зменшення тривалості дії прикладеного імпульсу проходження фронту хвилі у пінистих матеріалах із від'ємним коефіцієнтом Пуассона пов'язане з наявністю мікрозбурень, які виникають внаслідок обертальних переміщень мікрочастинок ауксетиків. Швидкість поширення хвиль у пінистих ауксетиках є меншою у 6 разів, ніж у пінистих матеріалах із додатнім коефіцієнтом Пуассона, що підтверджує ефективність їх використання для віброзахисту.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Bonnet, M. (1995). *Integral equations and boundary elements. Mechanical application of solids and fluids. (Équations intégrales et éléments de frontière. Application en mécanique des solides et des fluids)*. Paris, CNRS Éditions / Éditions EYROLLES.
- Brandel, B., & Lakes, R. S. (2001). Negative Poisson's ratio polyethylene foams. *Journal of Material Science*, 36, 5885-5893.
- Chen, C. P., & Lakes, R. S. (1989). Dynamic wave dispersion and loss properties of conventional and negative Poisson's ratio polymeric cellular materials. *Journal of Cellular Polymers*, 8, 343-359.
- Evans, K. E. (1991). Auxetic polymers: a new range of materials. *Endeavour*, 15(4), 170-174.
- Friis, E. A., Lakes, R. S., & Park, J. B. (1988). Negative Poisson's ratio polymeric and metallic materials. *Journal of Material Science*, 23, 4406-4414.
- Kurashige, M., Sato, M., & Imai, K. (2005). Mandel and Cryer problems of fluid-saturated foams with negative Poisson's ratio. *Acta Mechanica*, 175(1-4), 25-43.
- Lakes, R. S. (1991). Experimental micro mechanics methods for conventional and negative Poisson's ratio cellular solids as Cosserat continua. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 113, 148-155.
- Lakes, R. S. (2016). Physical meaning of elastic constants in Cosserat, void, and microstretch elasticity. *Journal of Mechanics of Materials and Structures*, 11(3), 217-229.
- Lakes, R. S., & Lowe, A. (2000). Negative Poisson's ratio foam as seat cushion material. *Cellular Polymers*, 19, 157-167.
- Ostash, O. P., Kiva, D. S., Uchanin, V. M., Semenets', O. I., Andreiko, I. M., & Golovatyuk, Yu. V. (2013). Diagnostics of technical condition of aircraft structures after long-term service. *Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing*, 2, 15-22.
- Ostash, O. P., Vol'demarov, O. V., & Hladysh, P. V. (2014). Diagnostics of the structural-mechanical state of steels of steam pipelines by the coercimetric method and prediction of their service life. *Materials Science*, 49(5), 667-680.
- Ramamohan, K., Kim, D., & Hwang, J. (2010). *Fast Fourier transform: algorithms and applications*. New York, Springer.
- Rueger, Z., & Lakes, R. S. (2016). Cosserat elasticity of negative Poisson's ratio foam: experiment. *Smart Materials and Structures*, 25, 100-108.
- Savin, G. N., & Shulga, N. A. (1967). Dynamic plane problem of the moment theory of elasticity. *Applied Mechanics*, 3(6), 216-221.
- Shvabyuk, V., Sulym, H., & Mikulich, O. (2015) Stress state of plate with incisions under the action of oscillating concentrated forces. *Acta Mechanica et Automatica*, 9(3), 140-144.
- Skalsky, V., Nazarchuk, Z., Hirnyj, S., & Dobrovolska, L. (2014). Acoustic emission during crack propagation in nuclear RPV steels. *International Journal of Innovative and Information Manufacturing Technologies*, 1, 45-48.
- Куриляк, Д. Б., & Назарчук, З. Т. (2011). Розвиток методів аналітичної регуляризації в теорії дифракції (*Development of analytical regularization methods in diffraction theory*). *Фізико-хімічна механіка матеріалів*, 47(2), 42-55.
- Мікулич, О. А. (2017). Розрахунок напруженого стану пінистих матеріалів за динамічних навантажень (*Calculation of the stress state of foam materials under dynamic loads*). *Наукові нотатки*, 58, 243-247.

THE EXPERTISE OF FRUIT AND VEGETABLE PRODUCTS QUALITY

S. Yaheliuk*

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES

AM
СМ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

Fruit and vegetable products are traditionally used in great demand among Ukrainians. In modern economic conditions, imported fruit and vegetable products are increasing rapidly. New manufacturers and suppliers are appearing on the food market. However, at the same time, the problem of low-quality goods being sold and the emergence of conflict situations between sellers and consumers are increasing. This especially applies to little-known for Ukrainian consumers subtropical or tropical fruits. There is a different vision in consumer properties. There is a problem of the modernity of regulatory and technical documentation and its harmonization with the documents of the European Union. In some places, manufacturers still use old, inactive standards. However, it is precisely through standardization that proper conditions are provided for the functioning of the domestic market and the establishment of exports. Quite often, the information that is brought to consumption is not confirmed by scientific research and regulatory documents. Therefore, there is a need to develop a model of examination of fruit and vegetable products taking into account modern consumer requirements, regulatory documents and research methods. In the article, the main components of fruit and vegetable product quality expertise, a model and implementation, proposed methods and means of researching the consumer properties of fruit and vegetable products are proposed. Proposed model allows us to conduct research quickly, rationally choose methods and tools, and provide reliable results. Data from the Food and Agriculture Organization of the United Nation, the State Statistics Service of Ukraine, as well as data from theoretical and experimental studies conducted in 2019–2022 at the Lutsk National Technical University were used in the study. The results of the conducted study and the proposed model of examination of the quality of fruit and vegetable products can be used by expert organizations, food industry enterprises and consumers.

Key words:

fruit and vegetable products,
product expertise,
product quality,
consumption properties,
regulatory documentation

Article history:

Received 10.09.2022

Accepted 20.10.2022

***Corresponding author:**

cler2010@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.896

To cite this article:

Yaheliuk, S. (2022). The expertise of fruit and vegetable products quality. *Agricultural Machines*, 48, 118-124. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.896>

УДК 613.262:631.576

ЕКСПЕРТИЗА ЯКОСТІ ПЛОДООВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ

С.В. Ягелюк*

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

AGRICULTURAL MACHINES



АНОТАЦІЯ

Плодоовочева продукція традиційно користується великим попитом серед населення України. У сучасних економічних умовах спостерігається стрімке збільшення імпортованої продукції, на вітчизняному ринку з'являються нові виробники та постачальники. Однак, разом із цим, збільшується проблема потрапляння у продаж виробів низької якості та виникнення конфліктних ситуацій між продавцями та споживачами. Особливо це стосується маловідомих, чи нових для українського споживача субтропічних чи тропічних плодів. З'являється різне бачення щодо споживних властивостей цих продуктів. Існує проблема осучаснення нормативно-технічної документації та її гармонізації з документами Європейського Союзу. Подекуди виробники досі використовують старі, не чинні ГОСТ. Проте, саме через стандартизацію забезпечуються належні умови для функціонування внутрішнього ринку та налагодження експорту. Досить часто інформація, яка доводиться до споживача не підтверджується науковими дослідженнями та нормативними документами. Тому є потреба у розробленні моделі експертизи плодоовочевої продукції із урахуванням сучасних вимог споживачів, нормативних документів та методів дослідження. У статті розглянуті основні складові експертизи якості плодоовочевої продукції, запропонована узагальнена модель її проведення, запропоновані методи та засоби дослідження споживних властивостей плодоовочевої продукції. У дослідженні використані дані Food and Agriculture Organization of the United Nation, Державної служби статистики та Національного органу зі стандартизації, а також дані теоретичних та експериментальних досліджень, що проводилися у 2019–2022 роках у Луцькому національному технічному університеті. Результати проведених досліджень та запропонована модель експертизи якості плодоовочевої продукції може бути використана в роботі експертних організацій, підприємствами харчової галузі та споживачами.

Ключові слова:

плодоовочева продукція,
експертиза продукції,
якість продукції,
споживні властивості,
нормативна документація

Історія публікації:

Отримано 10.09.2022

Затверджено 20.10.2022

***Автор для листування:**

cler2010@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.896

Цитувати цю статтю:

Ягелюк, С. В. (2022). Експертиза якості плодоовочевої продукції. *Сільськогосподарські машини*, 48, 118-124. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.896>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Споживання плодоовочевої продукції в Україні щороку зростає (*UKRSTAT, n.d.*). Це обумовлено національними особливостями, потребами населення, сучасними трендами здорового харчування. На вітчизняному ринку представлена велика кількість плодоовочевої продукції, в тому числі іноземних виробників (*FAOSTAT, n.d.; UKRSTAT, n.d.*). Необхідно зазначити, що в Україні сучасний асортимент плодоовочевої продукції дуже різноманітний. Великим попитом серед населення країни користуються загалом відомі фрукти та овочі – яблука, картопля, морква, цибуля, часник тощо. Не менш популярними є банани, апельсини, лимони і ананаси, що імпортуються тривалий час в Україну. Щорічно зростає популярність авокадо, манго та лайму.

Продукція перероблення плодів та овочів стає об'єктом досліджень науковців та експертів, розробляються нові рецептури, продукти із поліпшеними властивостями (*Ленерт & Дубініна, 2020*). Очевидно, що група «Плоди, овочі та продукти їх переробки» відноситься до харчових продуктів складної класифікації (*Сирохман, 2016*). Важливим є те, що нормативно-технічна документація, яка регламентує якість плодоовочевої продукції, налічує більше п'ятисот документів. Тому досить часто виникають складнощі із визначенням споживних властивостей та показників якості плодоовочевої продукції, а також її відповідності вимогам якості та безпечності відповідно до санітарних правил і нормативно-технічної документації (НТД). Досить важко визначити недоброякісність, особливо тропічних та субтропічних плодів. Не завжди є відповідні документи, що засвідчують походження, якість та безпечність цих плодів, їх маркування може не відповідати виду та найменуванню. Подекуди складно навіть ідентифікувати вид і визначити терміни придатності окремих екзотичних плодів. Відповідно до праці (*Байдакова та ін., 2014*) означені завдання вирішує експертиза якості харчових продуктів. Тому на сьогодні постала задача систематизації відомої інформації щодо методів дослідження якості плодоовочевої продукції та розроблення комплексної моделі-схеми, що дозволить раціонально та швидко виконувати завдання експертизи якості плодоовочевої продукції.

Мета дослідження – запропонувати та обґрунтувати комплексну модель-схему проведення експертизи якості плодоовочевої продукції, яка забезпечить достовірні результати дослідження згідно з поставленим завданням на основі регламентуючих документів та сучасних законодавчих актів.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

У дослідженні використані дані Food and Agriculture Organization of the United Nation, Державної служби статистики України та Національного органу зі стандартизації, а також дані теоретичних і експериментальних досліджень, що проводилися у 2019–2022 роках у Луцькому національному технічному університеті (*Михальські та ін., 2006; Ягельюк & Сидорук, 2015*). Під час дослідження були застосовані загальнонаукові та спеціальні методи пошуку інформації, її аналізу, порівняння, узагальнення та систематизації наукового матеріалу.

Відповідно до (*UAS, n.d.; Байдакова та ін., 2014; Система «ТПП ЕКСПЕРТ УКРАЇНА», 2010*) процедура проведення експертизи якості складається із трьох основних етапів: підготовчого, основного, заключного. Успішне проведення експертизи якості залежить від раціонального вибору характерних для кожного етапу засобів та методів.

Організації, що вповноважені надавати послуги із проведення експертизи якості, надають ці послуги за заявками замовників на підставі договору або довготривалої письмової заявки із гарантією щодо умов та оплати витрат. Перед початком цієї експертизи розглядаються підстави для її проведення, визначається мета і завдання, вибираються необхідні засоби та методи.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Щороку в торгівельній мережі з'являються сезонні плоди та овочі, а також продукти їх перероблення. На сьогодні на українських прилавках представлена продукція з усіх куточків світу. Споживачі надають перевагу свіжим бананам, апельсинам, лимонам, ананасам, авокадо та багатьом іншим плодам і овочам, імпорту яких постійно зростає (**рис. 1**). Тому об'єктом експертизи щодо визначення якості продукції може бути найрізноманітніша продукція цієї групи.

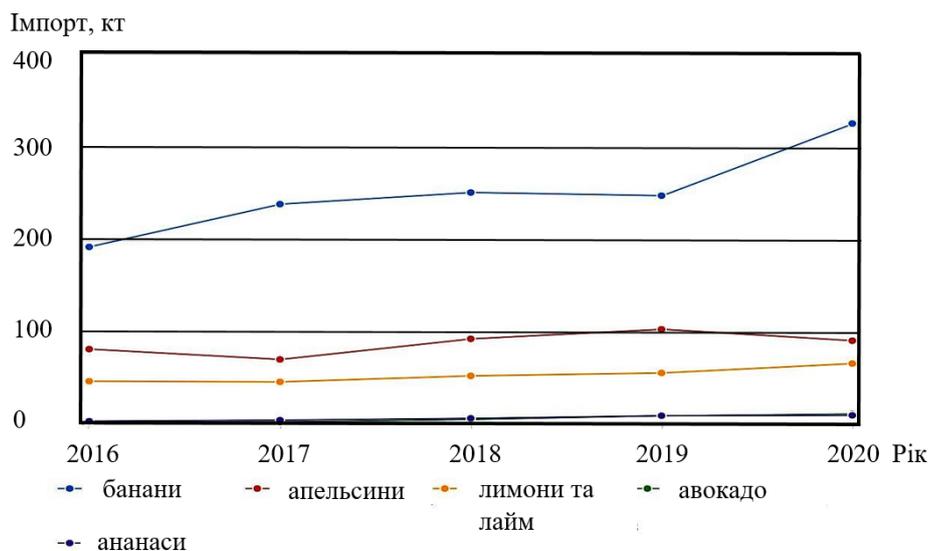


Рис. 1 – Динаміка зростання імпорту в Україну цитрусових, тропічних та субтропічних плодів (FAOSTAT, n.d.)

Експертиза якості продукції, зокрема плодоовочевої, – це дослідження її партії на відповідність НТД із наданням вмотивованого висновку. У процесі експертизи необхідно з'ясувати умови виробництва, закупівлі, поставки, транспортування, зберігання й реалізації продукції. Далі необхідно провести випробування якості продукції, її безпечності та, за потреби, екологічності. Цей процес зручно представити у вигляді схеми основного етапу експертизи якості плодоовочевої продукції (рис. 2). Відповідно до схеми експерт встановлює асортиментну приналежність партії плодоовочевої продукції (рис. 3). Це важливий етап, адже правильно встановлена класифікаційна група та асортиментна приналежність дозволяє швидко визначити необхідну НТД та, відповідно, номенклатуру показників якості, а також раціонально вибрати методи їх дослідження. Наприклад, для партії апельсинів класифікаційною позицією є свіжі плоди, цитрусові. Видова приналежність – апельсини сорту, наприклад, Корольок.

Потрібно наголосити, що НТД з позначенням ГОСТ не чинні в Україні із 01.01.2019 року. Тому потрібно уважно ставитися до вибору нормативно-технічної бази під час проведення експертизи якості плодоовочевої продукції. Приклади позначень чинних в Україні нормативних документів:

- ДСТУ 2079-92. Соління і квашення.

Технологічні процеси. Терміни та визначення;

- ДСТУ 7023:2009. Айва свіжа. Технічні умови;

- ДСТУ ЕЭК ООН FFV-42:2007. Авокадо. Настанови щодо постачання та контролювання якості;

- ДСТУ ISO 7952:2004. Фрукти, овочі та продукти перероблення. Визначення вмісту міді спектрометричним методом полуменевої атомної абсорбції;

- ДСТУ ISO 16050:2007. Продукти харчові. Визначення Афлатоксину В1, В2, G1 та G2 у зернових культурах, горіхах та продуктах їх перероблення. Метод високоефективної рідинної хроматографії;

- ДСТУ 4640:2006. Продукти перероблення субтропічних культур. Листя мирта, зизифуса, маслини та фейхоа. Технічні умови;

- РСТ УССР 261-91. Консерви. Пюре із солодкого перцю. Технічні умови.

Приклади показують, що на сьогодні НТД, яка регламентує вимоги до якості, безпечності та екологічності плодоовочевої продукції потребує оновлення та впорядкування. Подальшими діями експерта є узгодження номенклатури показників якості плодоовочевої продукції, які будуть досліджуватися для виконання поставленого завдання. За необхідності, згідно домовленості із замовником експертизи, можуть визначатися екологічні показники і показники безпечності.

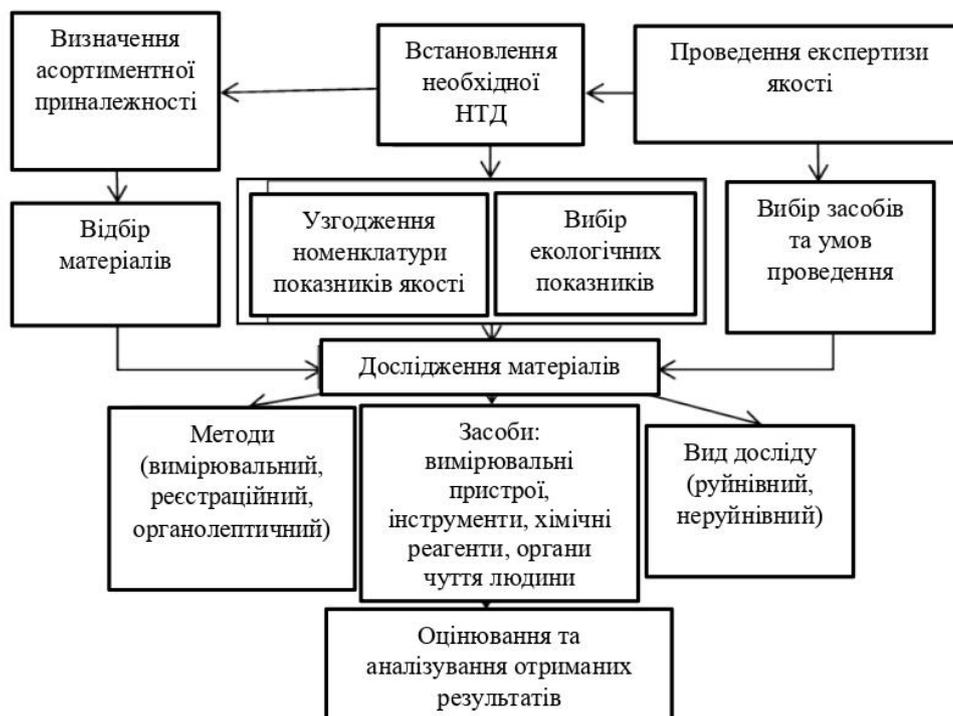


Рис. 2 – Комплексна схема основного етапу експертизи якості плодоовочевої продукції



Рис. 3 – Класифікація плодоовочевої продукції

Для плодоовочевої продукції типовою номенклатурою показників якості є фізико-хімічні та органолептичні показники. До органолептичних показників плодоовочевої продукції відносяться: форма, забарвлення, відокремлюваність кісточки, смак, запах тощо. До фізико-хімічних показників плодоовочевої продукції відносяться: розмір плоду, зараженість шкідниками (для сухофруктів), наявність сторонніх домішок, співвідношення складових частин солених та квашених плодів і овочів, вологість, кислотність, вміст вітаміну С тощо. Вміст важких металів, пестицидів, токсинів, нітратів – це обов'язкові екологічні показники.

Для кожного виду плодоовочевої продукції є свої особливості в номенклатурі показників якості. Наприклад, для моркви необхідно визначати розмір, масову частку овочів із бадиллям, наростами, механічними пошкодженнями, а також масову частку овочів, що ушкоджені шкідниками та хворобами, масову частку підморожених овочів і вміст ґрунту, органічних і мінеральних домішок.

Відповідно до узгодженої номенклатури показників якості відбираються проби і зразки плодоовочевої продукції та вибираються методи і засоби проведення досліджень. Під час експертизи якості використовуються, в основному, органолептичні, вимірювальні, реєстраційні, руйнівні або неруйнівні методи досліджень. Дослідження можуть проводитися безпосередньо експертом або в акредитованих лабораторіях. Для оброблення результатів досліджень використовуються математичні та статистичні методи.

Якість усієї плодоовочевої продукції досліджується на основі органолептичних досліджень вихідного зразка і (за необхідності) лабораторних досліджень середньої проби, що відбирається від однорідної партії продукції. Норми відбирання проб і зразків визначаються відповідними НТД, серед яких ДСТУ ISO 874-2002. Фрукти та овочі свіжі. Відбір проб. (ISO 874:1980, IDT), ДСТУ 3355-95. Продукція сільськогосподарська рослинна. Методи відбору проб у процесі карантинного огляду та експертизи.

Під час органолептичних досліджень експерт на основі власних компетентностей або за описом у контракті, або за наданим зразком визначає зовнішній вигляд і типовість

форми. Плоди та овочі повинні мати типову для сорту, що досліджується, форму. Сортність плодів та овочів знижується, якщо форма не є типовою. Колір, смак, аромат плодів та овочів повинні бути властиві певному природному сорту без сторонніх присмаків і запахів. Наприклад, для якісного плода манго є характерним гармонійне поєднання трьох кольорів: зеленого, жовтого та рожевого. Переважання зеленого кольору може свідчити про незрілість плодів, а потемніння забарвлення – про перезрілість. У зазначених випадках споживні властивості плода манго погіршуються.

Поверхня плодів повинна бути сухою, чистою, без механічних пошкоджень, уражень хворобами і шкідниками, плодоніжка свіжою, а поверхня навколо неї без потемнінь та плісняви. Для визначення розміру вичищені від домішок і помиті плоди та овочі середньої проби оглядаються і вимірюється найбільший діаметр із точністю до 1 мм. Далі плоди сортуються на фракції, зокрема, стандартні, нестандартні (допустимі) та нестандартні (недопустимі).

Для сухофруктів важливим показником якості, що визначається в лабораторних умовах, є зараження шкідниками. Для його розпізнавання пробу сухофруктів, наприклад сушеного винограду (родзинок), висипають на оглядову рамку або темний папір. Плоди оглядаються, шкідники видаляються та поміщаються у пробірку. Металеві сторонні домішки вилучаються магнітом, інші – через сито. Те, що відсіяли, розглядається в лупу. Домішки зважуються і визначається їх масова частка у відсотках. Після проведення досліджень плоди і овочі сортуються на: без пошкоджень; з пошкодженнями й хворобами. Плоди та овочі із пошкодженнями й хворобами сортуються і вираховується масова частка кожного виду окремо, далі результат порівнюється з нормами НТД.

Визначальними показниками якості для плодоовочевої продукції є смак та аромат. Під час оцінювання смаку визначаються типовість, наявність сторонніх смаків та присмаків, аналогічно перевіряється аромат. Консистенція оцінюється за м'ясистістю та м'якістю, а також визначається відокремленість кісточки для кісточкових плодів. Органолептичні дослідження проводяться за кімнатної температури.

У лабораторних умовах визначається також співвідношення складових частин для солених, квашених чи маринованих плодів і овочів. Для сухофруктів важливе значення має вологість, в окремих випадках встановлюється кислотність, вміст вітаміну С, наявність пестицидів, нітратів, радіонуклідів.

Виявлена неякісна та небезпечна плодоовочева продукція на період проведення експертизи, прийняття та виконання рішення про подальше її використання або знищення повинна зберігатися в окремому приміщенні без доступу до неї. На третьому (заключному) етапі експертизи якості плодоовочевої продукції обґрунтовуються результати дослідження та оформляється акт (висновок) експертизи.

ВИСНОВКИ

Обґрунтована модель-схема проведення експертизи якості плодоовочевої продукції та продуктів її перероблення дозволяє проводити дослідження швидко, раціонально вибирати методи та засоби, забезпечувати достовірні результати дослідження відповідно до поставленого завдання. Встановлено, що одним із найважливіших аспектів під час проведення експертизи якості є правильне визначення класифікаційної групи продукції та підбір НТД. Під час досліджень виявлено необхідність оновлення та вдосконалення вітчизняної нормативно-технічної бази, що регламентує якість плодоовочевої продукції, а також проведення її подальшої гармонізації з стандартами Європейського Союзу.

Результати проведених досліджень та запропонована модель-схема експертизи якості плодоовочевої продукції може бути використана в роботі експертних організацій, підприємствами харчової промисловості та споживачами.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- FAOSTAT. (n.d.). *Compare Data*. Retrieved September 5, 2022, from <https://www.fao.org/>
- UAS. (n.d.). *Каталог нормативних документів (Catalog of regulatory documents)*. Retrieved September 5, 2022, from <http://shop.uas.org.ua/ua/katalog-normativnih-dokumentiv.html>
- UKRSTAT. (n.d.). *Обсяг реалізованої продукції (товарів, послуг) суб'єктів господарювання за видами економічної діяльності у розрізі регіонів (The volume of sold products (goods, services) of economic entities by types of economic activity in the cross-section of regions)*. Retrieved September 3, 2022, from <https://www.ukrstat.gov.ua/>
- Байдакова, Л. І., Ягелюк, С. В., & Байдакова, І. М. (2014). *Експертиза товарів (Examination of goods)*. Київ: Слово.
- Ленерт, С. О., & Дубініна, А. А. (2020). Використання бобових для поліпшення якості продуктів харчування (*The use of legumes to improve the quality of food products*). В *Якість і безпечність харчової продукції і сировини – проблеми сьогодення* (С. 83-84). Львів: Видавництво «Растр7».
- Михальські, Т., та ін. (2006). *Управління якістю у харчовій промисловості із врахуванням Європейського харчового кодексу і міжнародно визнаних стандартів (Quality management in the food industry taking into account the European Food Codex and internationally recognized standards)*. Львів: ПАІС: Європейський центр менеджменту якості та гігієни продуктів харчування «Лілія».
- Сирохман, І. В. (2016). *Товарознавство продовольчих товарів (Merchandising of food products)*. Харків: Світ Книг.
- Система «ТПП ЕКСПЕРТ УКРАЇНА». (2010). *Методика проведення товарознавчої експертизи експертами ТПП в Україні (МСЯ-01-05) (Methodology of commodity examination by experts of the CCI in Ukraine)*.
- Ягелюк, С. В., & Сидорук, А. В. (2015). *Європейські стандарти якості та безпечності (European quality and safety standards)*. *Товарознавчий вісник*, 8, 124-129.

Інформація для авторів та читачів

Усі статті, що публікуються у журналі, проходять обов'язкове рецензування, яке здійснюється за анонімною формою як для авторів, так і для рецензентів (подвійне сліпе рецензування).

Унікальність текстів публікацій перевіряється за допомогою системи пошуку ознак плагіату Unicheck.

За достовірність викладених у статті фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор (автори).

Авторські права: за авторами зберігаються усі авторські права та права на видання без обмежень.

Журнал дозволяє користувачам: читати, завантажувати, копіювати, поширювати, друкувати та посилатися на повні тексти статей за умови зазначення авторства.

Information for authors and readers

*All the articles that are published in the Journal must be peer reviewed.
It is conducted anonymous both for authors and reviewers
(double blind peer review).*

The uniqueness of the texts of publications is checked with using the Unicheck plagiarism signs search system.

The authors take responsibilities for the reliability of stated facts, quotations and others statements in the articles.

Author's rights: the authors retained all copyrights and publishing rights with no limited publications.

The Journal allows users: to read, download, copy, distribute type and refer to the whole articles upon conditions of affiliation.



НАУКОВО-ПРАКТИЧНЕ ВИДАННЯ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

Випуск 48

ЖУРНАЛ
«СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ»
Луцький національний технічний
університет
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна
e-mail: agrmash@lutsk-ntu.com.ua
<http://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal32>

JOURNAL
«AGRICULTURAL MACHINES»
Lutsk National Technical
University
75 Lvivska st., Lutsk, 43018, Ukraine
e-mail: agrmash@lutsk-ntu.com.ua
<http://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal32>

Відповідальний за випуск: І.М. Дударев
Комп'ютерна верстка: О.М. Гапонюк

Підписано до друку 31.10.2022 р., формат 60×84/8.
Ум. друк. арк. 14,65. Наклад 100.

Друк ПП Іванюк В.П.
43021 м. Луцьк, вул. Винниченка, 65
Свідоцтво Держкомінформу України ВЛН № 31 від 04.02.2004 р.

Реєстраційне свідоцтво
Міністерство юстиції України КВ № 24919-14859 ПР