

ЛУЦЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

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

AGRICULTURAL MACHINES

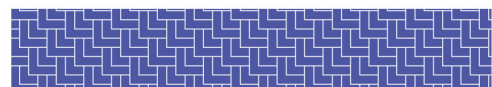
А
С М

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ
МАШИНИ

AGRICULTURAL MACHINES

2021' 47





**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 47

ТЕХНОЛОГІЯ

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС

ТЕХНІКА

Луцьк 2021

*Рекомендовано до друку вченою радою
Луцького національного технічного університету
(протокол № 5 від 29.12.2021 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*

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*

Тетяна КУЗЬМІНА *д.т.н., професор, Херсонський національний технічний університет, Україна*

Роман КУЗЬМІНСЬКИЙ *д.т.н., професор, Львівський національний аграрний університет, 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*

Ганна ТІХОСОВА *д.т.н., професор, Херсонський національний технічний університет, Україна*

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

Ігор ЦИЗЬ *к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет, 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 47

TECHNOLOGY

TECHNOLOGICAL PROCESS

MACHINERY

Lutsk 2021

UDC 631.3

Agricultural Machines. Vol. 46. LNTU, Lutsk, 2021. 134 p.

*Academic Council of Lutsk National Technical University
confirmed for printing
(record № 5 dated December, 29, 2021)*

*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*
Oleksandr GERASIMCHUK *Ph.D., Assoc. Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*
Tetiana HOLOVENKO *D.Sc., Assoc. Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*
Viktor ZAKHARCHUK *D.Sc., Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*
Tetiana KUZMINA *D.Sc., Professor, Kherson National Technical University, Ukraine*
Roman KUZMINSKY *D.Sc., Professor, Lviv National Agrarian 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 ROGATINSKY *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*
Hanna TIKHOSOVA *D.Sc., Professor, Kherson National Technical University, Ukraine*
Mykola TOLSTUSHKO *Ph.D., Assoc. Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*
Ihor TSYZ *Ph.D., Assoc. Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*
Viktor SHEYCHENKO *D.Sc., Professor, Poltava State Agrarian University, Ukraine*
Svitlana YAHELIUK *D.Sc., Professor, Lutsk National Technical University, Ukraine*

ЗМІСТ

Б.І. Котов, Ю.І. Панцир, І.Д. Герасимчук, Р.А. Калініченко, В.О. Грищенко МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕЖИМІВ ТЕПЛОНАСОСНОЇ СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ.....	7
Н.В. Васильчук ОГЛЯД НОВІТНІХ КОНСТРУКЦІЙ ЖАТОК ДЛЯ ЗБИРАННЯ СОНЯШНИКУ	15
С.П. Степаненко, Б.І. Котов, Р.А. Калініченко ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ЧАСТИНОК ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ КАНАЛІ ЗА УМОВ ДІЇ ПУЛЬСАЦІЙ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ	25
І.Є. Цизь, С.М. Хомич, В.В. Сацюк АГРО-ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДОБУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ САПРОПЕЛЮ.....	37
Н.П. Ковальчук, О.П. Герасимчук АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ НА РЕКРЕАЦІЙНІ ПУНКТИ ЛІСІВ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	46
М.В. Вржещ, О.П. Герасимчук, Л.М. Дацюк МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СИЛОВИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПИЛЯННЯ ЛАНЦЮГОВОЮ ПИЛКОЮ.....	55
Ів.Б. Гевко, Т.А. Довбуш, О.П. Цьонь, А.Д. Довбуш, А.І. Станько СИНТЕЗ ГВИНТОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ІЗ ЕЛАСТИЧНИМИ ПОВЕРХНЯМИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	63
С.М. Замойський, В.П. Олександренко, М.Я. Довжик, А.В. Мартинюк, В.С. Курської РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТАЦІЙНОГО РОЗПУШУВАЧА.....	73
Н.П. Ковальчук, О.П. Герасимчук, Ю.П. Шимчук ТЕХНОЛОГІЯ ЖИВЦЮВАННЯ НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИХ ВІЧНОЗЕЛЕНИХ ДЕРЕВ ТА ЧАГАРНИКІВ В УМОВАХ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	79
І.Є. Цизь, С.М. Хомич, А.Т. Вакулюк ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗРІЗУВАННЯ ГИЧКИ КОРЕНЕПЛОДІВ ЦУКРОВОГО БУРЯКА.....	87
С.В. Ягелюк, М.І. Фомич, О.В. Голій, А.В. Хомич ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАЛИШКІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ВИКОРИСТАННЯ.....	95
В.О. Ольховський, І.М. Дударев СПОСОБИ СЕПАРУВАННЯ ТА СЕПАРАТОРИ ЗЕРНОВОЇ МАСИ.....	102
І.М. Дударев, С.Г. Панасюк ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМУВАННЯ ПАРТІЙ ЗЕРНА ШЛЯХОМ ЗМІШУВАННЯ.....	113
Т.М. Головенко, О.О. Налобіна, О.В. Шовкомуд, О.П. Герасимчук, В.М. Козел АВТОМАТИЗАЦІЯ ОЦІНЮВАННЯ ЛУБ'ЯНОЇ СИРОВИНИ З ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО.....	124

CONTENT

B. Kotov, Y. Pantsyr, I. Gerasymchuk, R. Kalinichenko, V. Hryshchenko MATHEMATICAL MODEL OF HEAT ENERGY REGIMES OF HEAT PUMP DRYING PLANT.....	7
N. Vasylchuk OVERVIEW OF THE MODERN DESIGNS OF SUNFLOWER HEADER.....	15
S. Stepanenko, B. Kotov, R. Kalinichenko INVESTIGATION OF THE MOVEMENT OF GRAIN MATERIAL PARTICLES IN A VERTICAL CHANNEL UNDER THE ACTION OF AIR FLOW PULSATIONS.....	25
I. Tsiz, S. Khomych, V. Satsiuk AGRO-ECOLOGICAL ASPECTS OF MINING AND USE OF SAPROPEL.....	37
N. Kovalchuk, A. Herasymchuk ANTHROPOGENIC IMPACT ON RECREATIONAL POINTS OF FORESTS OF VOLYN REGION.....	46
M. Vrzheshch, A. Herasymchuk, L. Datsiuk METHOD OF POWER AND ENERGY PARAMETERS CALCULATION OF CHAINSAW SAWING PROCESS.....	55
I. Hevko, T. Dovbush, O. Tson, A. Dovbush, A. Stanko SYNTHESIS OF SCREW WORKING BODIES WITH ELASTIC SURFACES AND RESULTS OF WORKING BODY RESEARCH.....	63
S. Zamoysky, V. Oleksandrenko, M. Dovzhik, A. Martyniuk, V. Kurskoy CALCULATION AND SELECTION OF STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ROTARY RIPPER.....	73
N. Kovalchuk, A. Herasymchuk, Y. Shymchuk TECHNOLOGY OF SUPPLEMENTATION OF THE MOST COMMON ETERNAL EVERGREEN TREES AND SHRUBS IN THE CONDITIONS OF VOLYN REGION.....	79
I. Tsiz, S. Khomych, A. Vakulyuk RESEARCH OF SUGAR BEET HAULM CUTTING PROCESS.....	87
S. Yaheliuk, M. Fomych, O. Holiy, A. Khomych THE IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION OF THE AGRICULTURAL CROPS RESIDUES FOR FURTHER USE.....	95
V. Olkhovskiy, I. Dudarev SEPARATION METHODS AND SEPARATORS OF GRAIN MASS.....	102
I. Dudarev, S. Panasyuk RESEARCH OF GRAIN BATCH FORMATION BY MIXING.....	113
T. Holovenko, O. Nalobina, O. Shovkomud, A. Herasymchuk, V. Kozel AUTOMATION OF EVALUATION OF BAST RAW MATERIALS FROM LINSEED.....	124

MATHEMATICAL MODEL OF HEAT ENERGY REGIMES OF HEAT PUMP DRYING PLANT

B. Kotov¹, Y. Pantsyr¹, I. Gerasymchuk¹, R. Kalinichenko^{2*}, V. Hryshchenko³

¹Podillia State Agrotechnical University, Kamianets-Podilskyi, Ukraine

²SS National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

«Nizhyn Agrotechnical Institute», Nizhyn, Ukraine

³National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES

AM
СМ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

In the post-harvest processing of grain and seeds, the drying process is the most energy-intensive. During the drying of seed, energy consumption increases by 1.3–1.4 times compared to the drying of grain. Significant energy costs for the process of dehydration of grain are a prerequisite for the introduction of new energy-saving equipment and increase the efficiency of existing plants through their technical and technological modernization. Reduction of energy consumption in the agro-industrial complex for drying grain is possible through measures aimed at reducing heat emissions from spent fuel, the use of renewable energy sources and secondary energy resources. These measures are implemented, including the use of energy-efficient heat pump equipment. To determine energy and technological efficiency, rational modes of operation of heat pump drying equipment and its design parameters, it is necessary to have a method of calculations based on mathematical models of thermal energy processes in the equipment of such units, which usually operate in non-stationary conditions. The research was based on the use of the main provisions of the theory of heat and mass transfer. In the article, based on the theoretical analysis of heat and mass transfer processes in a heat pump dryer, a mathematical model of nonstationary heat and mass transfer processes is developed. The synthesized mathematical model can be used in the development of automatic control of the drying process of agricultural products, and the transformation of the dynamic model into static by excluding derivative variables that characterize the process will determine the rational operation of the heat pump system of the grain dryer. The use of heat pumps for the preparation of drying agent or cooling air in low-capacity grain dryers will eliminate the use of natural gas, diesel and furnace fuel.

Key words:

heat pump,
grain dryer,
heat pump drying equipment,
mathematical model of heat and
mass transfer process,
grain drying

Article history:

Received 22.09.2021

Accepted 10.11.2021

*Corresponding author:

rkalinichenko@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi47.616

To cite this article:

Kotov, B., Pantsyr, Y., Gerasymchuk, I., Kalinichenko, R., & Hryshchenko, V. (2021). Mathematical model of heat energy regimes of heat pump drying plant. *Agricultural Machines*, 47, 7-14. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.616>

УДК 631.365

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕЖИМІВ
ТЕПЛОНАСОСНОЇ СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ****Б.І. Котов¹, Ю.І. Панцир¹, І.Д. Герасимчук¹, Р.А. Калініченко^{2*}, В.О. Грищенко³**¹Подільський державний аграрно-технічний університет,
Кам'янець-Подільський, Україна²ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут», Ніжин, Україна³Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

AGRICULTURAL MACHINES

**АНОТАЦІЯ**

У післязбиральному обробленні зерна та насіння найбільш енергоємним є процес сушіння. Значні енергетичні витрати на процес зневоднення зерна є передумовою до впровадження нового енергозберігаючого обладнання і підвищення ефективності існуючих установок через їх технічну і технологічну модернізацію. Скорочення енерговитрат в АПК на сушіння зернових матеріалів є можливим через заходи, що спрямовані на зменшення викидів тепла із відпрацьованим теплоносієм, використання поновлювальних джерел енергії і вторинних енергоресурсів. Ці заходи реалізуються шляхом використанням енергоефективного теплонасосного обладнання. Для визначення енергетичної і технологічної ефективності, раціональних режимів функціонування теплонасосних сушильних установок та їх конструктивних параметрів необхідно мати науково-обґрунтований метод розрахунків, що базується на математичних моделях теплоенергетичних процесів в елементах обладнання цих установок, що функціонують, як правило, в нестационарних режимних умовах. У статті на основі теоретичного аналізу тепломасообмінних процесів у теплонасосній сушильній установці розроблена математична модель нестационарних процесів тепло- і масообміну. Синтезовану математичну модель можна використовувати для розроблення системи автоматичного керування процесом сушіння сільськогосподарської продукції. Перетворення динамічної моделі в статичну шляхом виключення похідних змінних параметрів, що характеризують процес, дозволить визначити раціональні режими функціонування теплонасосної системи теплопостачання сушильної установки і оптимізувати режими функціонування насінневої сушарки.

Ключові слова:

теплонасос,
сушарка зерна,
теплонасосна сушильна
установка,
математична модель процесу
тепломасообміну,
сушіння зерна

Історія публікації:

Отримано 22.09.2021

Затверджено 10.11.2021

***Автор для листування:**

rkalinichenko@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi47.616

Цитувати цю статтю:

Котов, Б. І., Панцир, Ю. І., Герасимчук, І. Д., Калініченко, Р. А., & Грищенко, В. О. (2021). Математична модель теплоенергетичних режимів теплонасосної сушильної установки. *Сільськогосподарські машини*, 47, 7-14. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.616>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Під час післязбирального оброблення зерна і підготовки насіння для зберігання процес сушіння має найбільшу енергоємність, оскільки на нього витрачається до 80% енергії, яка використовується на усю технологію стаціонарного оброблення урожаю зернових культур. Разом із тим, лише 40–45% витраченої енергії використовується корисно. Під час сушіння зерна насінневого призначення витрати енергії збільшуються в 1,3–1,4 рази порівняно із сушінням зерна продовольчого призначення. Зменшення енергоємності процесу сушіння зерна та його інтенсифікація можуть бути досягнуті шляхом використання теплонасосних систем теплопостачання для сушильних установок, які дозволяють утилізувати теплові викиди сушарок (із відпрацьованим сушильним агентом) і створювати раціональні схеми використання енергії та режими сушіння.

Застосування теплових насосів для підготовки сушильного агента або охолоджуючого повітря в малотоннажних сушарках для насінневого матеріалу дозволить відмовитися від використання природного газу, дизельного або пічного палива. Для визначення енергетичної і технологічної ефективності та раціональних режимів функціонування теплонасосних сушильних установок і їх конструктивних параметрів необхідно мати науково-обґрунтований метод розрахунків, що базується на математичних моделях теплоенергетичних процесів в елементах обладнання цих установок.

Внаслідок значних витрат технологічної теплоти в конвективних сушарках (із відпрацьованим сушильним агентом та нагрітим сухим зерном) виникає необхідність утилізації теплових викидів зерносушарок (Котов та ін., 2017). Дослідженням способів і технічних засобів утилізації теплоти відпрацьованого сушильного агента та нагрітого зерна присвячено низку наукових праць (Сорочинський, 2011; Бурдо, 2010; Пазюк та ін., 2009). У них визначено, що рекуперація викидної теплоти сушильного агента для нагрівання теплоносія низькопотенційним тепловим потоком, хоча і дозволяє знизити витрати енергії на підготовлення сушильного агента (на 10–15%), але залишається малоефективною. У науковій

праці (Снежкін та ін., 2012) проаналізовано сучасні заходи, спрямовані на зниження питомих витрат теплоти в зерносушарках, та встановлено, що застосування утилізації теплоти насиченого вологою теплоносія та охолоджуючого матеріалу повітря дозволяє зменшити питомі витрати теплоти на видалення вологи із зерна з 5000 кДж/кг до 3284 кДж/кг (випареної вологи) і підвищити коефіцієнт корисної дії із 49% до 77,5%. При використанні теплонасосної установки з тепловим двигуном в якості приводу компресора затрати теплової енергії на видалення вологи становитимуть 3000 кДж/кг (випареної вологи).

Проведені експериментальні і теоретичні дослідження сушіння насіння ріпаку (Снежкін та ін., 2010а; Снежкін та ін., 2010b), деревини (Ганжа, 2000), зерна рису (Чайченец, 1990; Чайченец та ін., 1992) дозволили встановити, що використання теплонасосних систем для підготовки сушильного агента є доволі ефективним способом суттєвого зменшення енергетичних витрат на сушіння сільськогосподарської продукції.

Методи розрахунку параметрів теплонасосного обладнання представлені в наукових працях (Быков та ін., 1988; Голуб & Кепко, 2002; Нікулішин & Височин, 2014). Разом із тим, у цих наукових працях розглянуто розрахунки статичних характеристик теплових насосів, незалежно від характеристик (динамічних) споживача і джерела вторинної енергії – сушарок. У працях (Чайченец, 1990; Чайченец та ін., 1992) також представлені статичні характеристики теплових насосів і сушарок. Динамічну модель теплових режимів зерносушарки безперервної дії представлено в науковій праці (Котов та ін., 2012), а теплонасосної системи теплопостачання – у праці (Котов та ін., 2021). Необхідно зазначити, що математичні моделі динамічних режимів сучасних сушарок із тепловими насосами як єдиної системи відсутні.

Мета дослідження – скласти математичну модель нестационарних теплових процесів теплонасосної сушильної установки для сільськогосподарської продукції, яка в подальшому може бути використана для обґрунтування раціональних режимів роботи сушильного обладнання і синтезу системи

автоматичного керування процесом сушіння сільськогосподарської продукції.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для вирішення поставлених завдань були прийняті необхідні спрощення і припущення, які дозволяють скласти формалізований аналітичний математичний опис процесів. Дослідження базувалися на використанні основних положень теорії тепломасообміну, що дозволило розробити математичні моделі процесів сушіння та теплообміну в теплонасосній установці.

Під час складання математичного опису процесу сушіння в установках безперервної дії прийняті припущення:

- видалення вологи із матеріалу за конвективного підведення теплоти і конвективного відведення вологи з поверхні зернового матеріалу відбувається за законом випаровування із вільної поверхні (закон Дальтона):

$$W(\tau) = \beta f (P_n(\theta) - P_n(d)); \quad (1)$$

- конвективне підведення теплоти до поверхні матеріалу відбувається за законом Ньютона:

$$Q(\tau) = \alpha f (t_c - \theta), \quad (2)$$

де $P_n(\theta)$ – парціальний тиск насиченої пари за температури поверхні зерна; θ – температура зерна; $P_n(d)$ – парціальний тиск водяної пари в повітрі; t_c, d – відповідно, температура та вологовміст сушильного агента (нагрітого повітря); α, β – коефіцієнти теплообміну і масообміну; f – поверхня матеріалу.

Крім того, для спрощення опису прийняте припущення, що волога із матеріалу видаляється і випаровується одночасно, зміна температури і вологості зернового матеріалу відбувається безградієнтно.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Для сушарок безперервної дії, незалежно від їх конструкційного виконання, прийнято розглядати процеси сумісного тепло- та масообміну між потоками сушильного агента – нагрітого повітря, що визначаються масовими витратами G_c , та потоком зерна із масовими

витратами G_z . У цьому випадку достатньо визначити параметри матеріалу і сушильного агента на виході із сушильної установки. При цьому параметри матеріалу і сушильного агента на вході в сушарку вважаються заданими і сталими. Нестационарний процес сушіння, перебіг якого відбувається за описаною схемою, може бути досліджено математичною моделлю із зосередженими параметрами на основі рівнянь теплового і матеріального балансу.

Для опису теплових процесів у тепловому насосі достатньо знати зміну параметрів повітря і холодоагента в елементах холодильної машини, яку використовують як тепловий насос (Бьков та ін., 1988; Нікулішин & Височин, 2014). Установка, розрахункова схема якої представлена на рис., працює таким чином: відпрацьований сушильний агент (на виході сушарки) вентилятором подається в теплообмінник на випарник холодильної машини, де він контактує із трубчастим охолоджувачем (конденсат з якого відводиться назовні), після чого вентилятором повітряного конденсатора подається в теплообмінник конденсатора; контактуючи із нагрітою поверхнею циркуляційного контуру конденсатора зневоднене повітря нагрівається і вентилятором подається в калорифер для нагрівання до необхідної температури сушіння зерна (насіння).

Динамічний нестационарний режим процесу сушіння зерна (насіння) представлено у вигляді системи диференціальних рівнянь (Калініченко та ін., 2011):

$$m_v c_p \frac{dt_2(\tau)}{d\tau} = G_c c_p (t_1 - t_2) - \alpha f (\bar{t} - \bar{\theta}) - kF(\bar{t} - \bar{\theta}) - kF(\bar{t} - t_n) + r\beta f (a\bar{\theta} + c + b\bar{d}); \quad (3)$$

$$m_z c_z \frac{d\theta_2(\tau)}{d\tau} = G_z c_z (\theta_1 - \theta_2) + \alpha f (\bar{t} - \bar{\theta}) - \beta f (\alpha\bar{\theta} + c - b\bar{d}); \quad (4)$$

$$m_{z0} \frac{dU_2}{d\tau} = G_{z0} (U_1 - U_2) - \beta t (a\bar{\theta} - c - b\bar{d}); \quad (5)$$

$$-m_v \frac{dd_2(\tau)}{d\tau} = G_c (d_2 - d_1) - \beta t (a\bar{\theta} + c - b\bar{d}); \quad (6)$$

де t_2 , d_2 – відповідно, температура та вологовміст повітря на виході з сушарки; θ_2 , U_2 – відповідно, температура і вологовміст насіння (зерна) на виході з сушарки; m_v , m_z – відповідно, маса повітря і насіння (зерна) в об'ємі сушарки; m_{z0} – маса абсолютно сухого насіння (зерна) в об'ємі сушарки; c_p , c_z – питома теплоємність повітря і насіння (зерна); G_p , G_z , G_{z0} – відповідно, витрати повітря, насіння (зерна) та абсолютно сухого насіння (зерна); t_1 , d_1 , θ_1 , U_1 – температура і вологовміст повітря і насіння (зерна) на вході в сушарку; α , k – відповідно коефіцієнт теплообміну між зерном та повітрям і коефіцієнт теплопередачі від повітря до зовнішнього середовища; f , F – відповідно поверхня насіння (зерна), що знаходиться в сушарці, та зовнішня поверхня сушарки; β – коефіцієнт масообміну; r – питома теплота пароутворення; $\bar{t} = 0,5 \cdot (t_1 + t_2)$, $\bar{\theta} = 0,5 \cdot (\theta_1 + \theta_2)$, $\bar{d} = 0,5 \cdot (d_1 + d_2)$ – середні значення параметрів у сушарці; a , b , c – сталі коефіцієнти лінеаризації залежностей насиченої пари за нормального тиску:

- на поверхні матеріалу:

$$P_n(\bar{\theta}) = a\bar{\theta} + c;$$

- у повітрі:

$$P_n = b\bar{d}.$$

Система рівнянь (1)–(4) описує зміну з часом параметрів матеріалу θ_2 , U_2 та сушильного агента t_2 , d_2 на виході з сушильної установки за початкових умов:

$$\tau = 0; t_2(0) = t_1; d_2(0) = d_1; U_2(0) = U_1;$$

$$\theta_2(0) = \theta_1; \frac{dt_2}{d\tau} = \frac{d\theta_2}{d\tau} = \frac{dU_2}{d\tau} = \frac{dd_2}{d\tau} = 0; \quad (7)$$

Математичний опис нестационарних теплових процесів у тепловому насосі складемо окремо для інерційних елементів випарника і конденсатора установки (Грищенко, 2018).

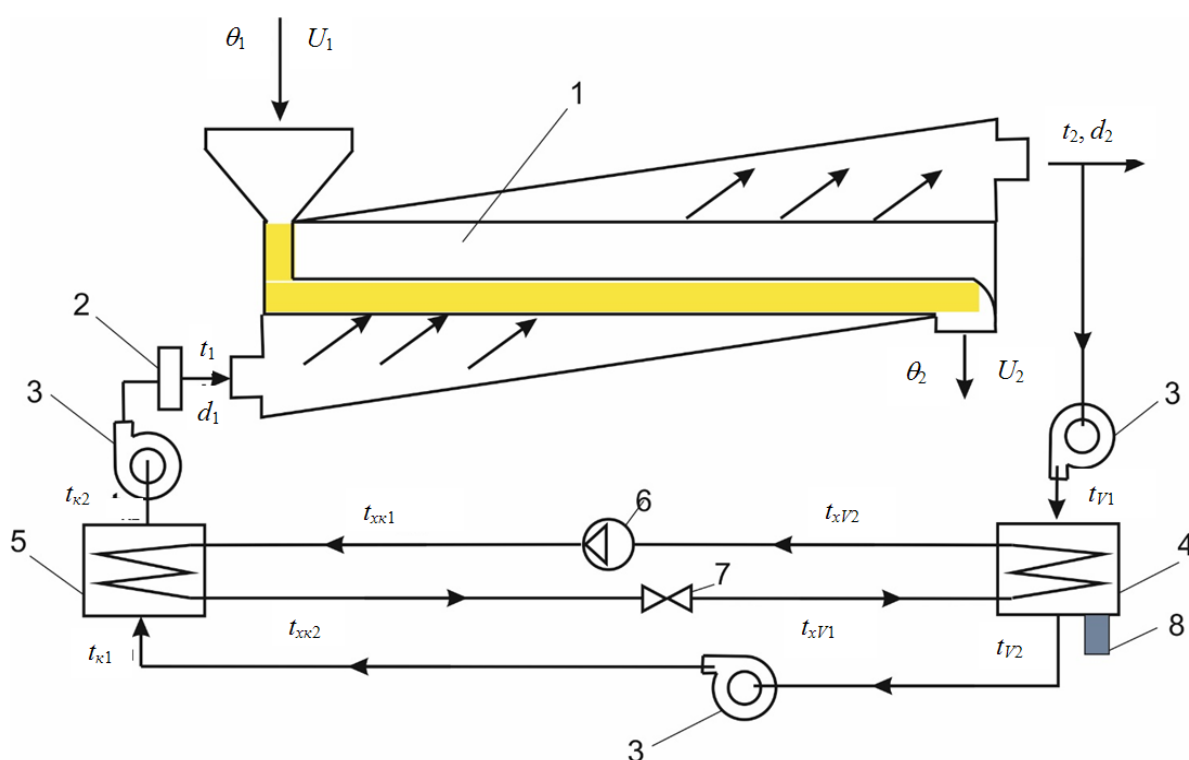


Рис. – Розрахункова схема теплонасосної сушильної установки:
1 – сушарка; 2 – калорифер; 3 – вентилятор; 4 – випарник; 5 – конденсатор;
6 – компресор; 7 – дросельний вентиль; 8 – збірник конденсату

Диференціальні рівняння, які описують динаміку теплообміну у випарнику, – це рівняння теплового та матеріального балансу (Чайченец, 1990):

- для повітряного потоку вторинного джерела енергії:

$$m_p c_p \frac{dt_2}{d\tau} = G_p c_p (t_{p1} - t_{p2}) - \alpha_1 F_1 (\bar{t}_p - \theta_c) - Q_k; \quad (8)$$

- для стінок випарника (трубчатого):

$$m_c c_c \frac{d\theta_c}{d\tau} = \alpha_1 F_1 (\bar{t}_v - \theta_c) - \alpha_2 F_2 (\theta_c - \bar{t}_{xa}) + Q_k; \quad (9)$$

- для потоку холодоагента:

$$m_x c_x \frac{dt_{n2}}{d\tau} = G_x c_x (t_{p1} - t_{x2}) + \alpha_2 F_2 (\theta_c - \bar{t}_{xa}); \quad (10)$$

- теплота, що виділяється на поверхні теплообмінника при конденсації вологи з повітря:

$$Q_k = \sigma_0 r F_1 (\bar{d}_v - d''(\theta_c)); \quad (11)$$

- рівняння матеріального балансу для вологого повітря:

$$m_p \frac{dd_2}{d\tau} = G_p (d_{p1} - d_{p2}) - \sigma_0 F_1 (\bar{d}_p - d''(\theta_c)); \quad (12)$$

де $t_{p1} = t_0$ – температура кипіння холодоагента; θ_c – температура стінки (поверхні випарника); G_p , G_{xa} – відповідно, масові витрати повітря і холодоагента; F_1 , F_2 – зовнішня і внутрішня поверхні теплообміну; α_1 , α_2 – коефіцієнт теплообміну від повітря і холодоагента до стінки; σ_0 – коефіцієнт масовиддачі при конденсації вологи; $d''\theta_c$ – температура насичення повітря за температури стінки; m_{pocp} , m_{ccs} , $m_x c_x$, – теплоємність повітря, теплообмінника, холодоагента в об'ємах апарата; m – маса; c – питома теплоємність; середні значення параметрів $\bar{t}_v = 0,5(t_{v1} + t_{v2})$; $\bar{t}_{xa} = 0,5(t_0 + t_{n2})$; $\bar{d}_p = 0,5(d_{p1} + d_{p2})$.

Кількість холодоагента у випарнику складається з маси пари m_n та рідини m_p . Відповідно, витрати холодоагента в системі становитимуть:

$$G_{xa} = G_n + G_p. \quad (13)$$

Витрати парової фази можна визначити із співвідношення (Калініченко та ін., 2011):

$$G_n = G_{xa} \chi, \quad (14)$$

де $\chi = \frac{m_n}{m_n + m_p} = \frac{\rho_n}{\rho_n + \rho_p}$ – масовий вміст парів холодоагента в контурі випарника.

Об'ємні витрати пари:

$$V_n = \frac{G_n}{\rho_n}, \quad (15)$$

де ρ_n – густина пари.

Із урахуванням одержаних співвідношень, рівняння (10) для потоку холодоагента матиме вигляд:

$$m_x c_x \frac{dt_{n2}}{d\tau} = \frac{\alpha_2 F_2}{\rho_n} (\theta_c'' - 0,5t_0 - 0,5t_{n2}) - \quad (16)$$

$$- G_p \frac{q_0}{\rho_n} - q_v V_n.$$

де G_p – величина, що визначає заповнення випарника холодоагентом; V_n – холодопродуктивність компресора; q_0 – питома холодопродуктивність.

Диференціальні рівняння (8)–(10) та (16) складають математичну модель динаміки температурного режиму випарника ТНУ. Математична модель динаміки процесів теплообміну у повітряному конденсаторі за прийнятих спрощень може бути представлена диференціальними рівняннями зміни параметрів теплообмінника конденсатора і потоків на виході апарата.

Для потоку повітря, що нагрівається в конденсаторі:

$$m_k c_v \frac{dt_{m2}}{d\tau} = G_m c_v (t_{m1} - t_{m2}) + \alpha_1^k F_1^k (\theta_{ck} - \bar{t}_m). \quad (17)$$

Для температури стінки теплообмінника конденсатора:

$$m_{ck} c_{ck} \frac{d\theta_{ck}}{d\tau} = \alpha_2^k F_2^k (\bar{t}_{sk} - \theta_{ck}) - \alpha_1^k F_1^k (\theta_{ck} - \bar{t}_m). \quad (18)$$

Для температури конденсату на виході:

$$m_x^k c_x^k \frac{dt_{k2}}{d\tau} = G_n c_n t_{n1} - G_p c_p t_{k2} - r \chi G_{xa} + \alpha_2^k F_2^k (t_{xk} - \theta_{ck}); \quad (19)$$

де $G_n = G_{xa} \chi$; $G_p = G_{xa} (1 - \chi)$; r – питома теплота конденсації пари холодоагента; $m_k c_v$, $m_{ck} c_{ck}$, $m_x^k c_x^k$ – відповідно, теплоємність повітря в об'ємі теплообмінника конденсатора, стінки конденсатора та холодоагента в об'ємі елементів конденсатора; t_{xk} – температура конденсації.

Зміна параметрів холодоагента з часом (у рідкій і паровій фазах) при стисненні в компресорі і розширенні в дросельному клапані, не враховується, оскільки процеси вважаються стаціонарними:

- для компресора:

$$t_{n2} = k'_2 t_{n1}; \quad (20)$$

- для дросельного клапана:

$$t_{p4} = k'_1 t_{p3}; \quad (21)$$

де k'_1 , k'_2 – коефіцієнти пропорційності (сталі величини); індекси (1–4) визначають значення температури на T - S -діаграмі теоретичного циклу парокомпресорної машини.

Для замикання загальної системи рівнянь, яка складається із рівнянь (3)–(6), (8)–(10), (16)–(21) запишемо рівняння зв'язків (рис.):

$$t_2 = t_{p1}; t_{p2} = t_{k1}; t_1 = t_{k2} + \frac{P}{G_p c_p}; \quad (22)$$

де P – теплова потужність нагрівача повітря.

При використанні додаткового нагрівача повітря (калорифера), на вході в сушильну камеру температура сушильного агента буде визначатися із рівняння теплового балансу:

$$m_k c_k \frac{dt_1(\tau)}{d\tau} = G_p c_p (t_{k2}(\tau) - t_1(\tau)) + P. \quad (23)$$

Таким чином, математична модель нестационарного режиму теплонасосної сушильної установки визначається системою диференціальних рівнянь та алгебраїчних

рівнянь зв'язку. Прирівнюючи похідні параметрів моделі за часом до нуля, отримаємо математичний опис статичних характеристик теплонасосної сушарки у вигляді системи алгебраїчних рівнянь, розв'язок якої дозволить розрахувати основні технологічні параметри сушильної установки та обґрунтувати теоретичні параметри теплового насосу.

За результатами розрахунків (Чайченец, 1990; Быков та ін., 1988) раціональна температура конденсації холодоагента (R22) становить 70°C, а температура його кипіння становить 20°C. За цих умов можна отримати температуру сушильного агента 65°C, що є достатньою для сушіння насінневого матеріалу зернових культур. Коефіцієнт енергетичної ефективності теплонасосної системи за цих параметрів становить 3–3,5.

За результатами аналітичного аналізу процесів у теплонасосній сушарці насінневого зерна вперше отримано математичний опис, який пов'язує в єдину математичну систему всі основні технологічні параметри сушарки, теплонасосної установки та нагрівача повітря.

ВИСНОВКИ

Математична модель динамічних режимів теплонасосної сушильної установки, що отримана в статті, відрізняється замкненістю контурів робочого тіла холодоагента та контуру сушильного агента і може бути використана при розробленні системи автоматичного керування процесом сушіння сільськогосподарської продукції.

Перетворення динамічної моделі в статичну шляхом виключення похідних змінних параметрів, що характеризують процес, дозволяє визначити раціональні режими роботи теплонасосної системи теплопостачання сушильної установки і оптимізувати режим роботи сушильної установки.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Бурдо, О. Г. (2010). *Еволюція сушильних установок (Evolution of dryers)*. Одеса: Полиграф.
- Быков, А. В., Калнинь, И. М., & Крузе, А. С. (1988). *Холодильные машины и тепловые насосы. Повышение эффективности (Refrigeration machines and heat pumps. Improving efficiency)*. Москва: Агропромиздат.
- Ганжа, Є. П. (2000). *Моделювання процесів в теплонасосній установці для сушіння деревини*

- (*Modeling of processes in a heat pump installation for wood drying*) [Автореф. дисертації канд. техн. наук]. Державний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», кафедра аерокосмічної теплотехніки; Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного, відділ моделювання теплових та механічних процесів, Харків.
- Голуб, Г. А., & Кепко, О. І. (2002). Математична модель теплонасосної системи тепlopостачання споруд закритого ґрунту (*Mathematical model of heat pump system of heat supply of closed ground structures*). *Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства*, 10, 275-278.
- Грищенко, В. О. (2018). *Типові технологічні процеси і холодильне обладнання для зберігання рослинної продукції: моделювання, динамічні режими, керування (Typical technological processes and refrigeration equipment for storage of plant products: modeling, dynamic modes, control)*. Київ: ЦП «Компринт».
- Калініченко, Р. А., Добрицький, О. О., & Липунов, М. І. (2011). Моделювання динамічних режимів нагрівання і сушіння зерна в протітеційних установках (*Modeling of dynamic regimes of heating and drying of grain in countercurrent installations*). *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*, 166(4), 229-233.
- Котов, Б. І. та ін. (2017). *Моделювання технологічних процесів в типових об'єктах післязбиральної обробки і зберігання зерна (очищення, сепарація, сушіння, активне вентильовання, охолодження) (Modeling of technological processes in typical objects of post-harvest processing and storage of grain (cleaning, separation, drying, active ventilation, cooling))*. Національна академія аграрних наук України, Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства». Київ, Ніжин: Лисенко М. М. [вид.].
- Котов, Б. І., Грищенко, В. О., Панцир, Ю. І., & Герасимчук, І. Д. (2021). Математичне моделювання динамічних режимів теплонасосної системи для тепlopостачання технологічних об'єктів (*Mathematical modeling of dynamic modes of heat pump system for heat supply of technological objects*). *Вібрації в техніці та технологіях*, 2(101), 85-91.
- Котов, Б. І., Калініченко, Р. А., & Липунов, М. І. (2012). Аналітичне визначення динамічних тепловологісних режимів зерносушарок безперервної дії (*Analytical determination of dynamic heat and moisture regimes of continuous grain dryers*). *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, 42, 340-346.
- Нікулішин, В. О., & Височин, В. В. (2014). *Теплові насоси та кондиціонери (Heat pumps and air conditioners)*. Одеса: Медіа-Арт.
- Пазюк, В. М., Снежкін, Ю. Ф., Чалаєв, Д. М., & Пазюк, О. Д. (2009). Напрямки розвитку новітніх технологій сушіння ріпаку та інших видів зернових матеріалів. Теплонасосні сушильні установки (*Directions of development of the newest technologies of drying of rape and other types of grain materials. Heat pump drying installations*). *Вібрації в техніці та технологіях*, 1, 95-104.
- Снежкін, Ю. Ф., Пазюк, В. М., Петрова, Ж. О., & Чалаєв, Д. М. (2012). *Теплонасосна зерносушарка для насінневого зерна (Heat pump grain dryer for seed)*. Київ: ТОВ «Поліграф-Сервіс».
- Снежкін, Ю. Ф., Пазюк, В. М., Чалаєв, Д. М., Шаврін, В. С., & Олійніченко, В. Г. (2010b). Енергозберігаючий спосіб сушіння насіння ріпаку на теплонасосній зерносушарці (*Energy-saving method of drying rapeseed on a heat pump grain dryer*). *Відновлювальна енергетика*, 2, 56-59.
- Снежкін, Ю. Ф., Шапар, Р. О., Чалаєв, Д. М., Шаврін, В. С., & Пазюк, В. М. (2010a). Інтенсифікація процесу сушіння насінневого зерна (*Intensification of seed drying process*). *Промислова теплотехніка*, 32(5), 42-47.
- Сорочинський, В. Ф. (2011). Зневоднення зерна за різних схем утилізації сушильного агента й охолоджуючого повітря може бути доволі ефективно (*Dehydration of grain under various schemes of utilization of drying agent and cooling air can be quite effective*). *Зерно і хліб*, 3, 40-41.
- Чайченец, Н. С. (1990). *Теплонасосные сушильные установки для зерна (Heat pump grain dryers)*. Москва: ЦНИИТЭИ.
- Чайченец, Н. С., Гинзбург, А. С., Мамбеткулов, Е. Б., & Чайченец, С. С. (1992). Математическое моделирование процессов в теплонасосной сушильной установке с солнечным коллектором (*Mathematical modeling of processes in a heat pump drying unit with a solar collector*). *Теоретические основы химической технологии*, 26(5), 725-731.

OVERVIEW OF THE MODERN DESIGNS OF SUNFLOWER HEADER

N. Vasylichuk*

*SSD «Rivne Technical College National University of Water and Environmental Engineering»,
Rivne, Ukraine*

AGRICULTURAL MACHINES

AM
СМ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

Sunflower is one of the most important oilseeds. Ukraine is a world leader in the production and processing of sunflower. Seeds is the main value of sunflower, which are used as raw materials for oil production. In 2019–2020, 16.5 million tons of sunflower were harvested. This is more than in Russia, the EU and Argentina. The sunflower processing into a finished product contains the main stages: growing sunflower, harvesting seeds, cleaning seeds, peeling seeds, hydrothermal treatment, extraction process, refining and pouring oil into containers. The sunflower harvesting is one of the most important and responsible stages of sunflower production. To implement this process, conventional combine harvesters are used, which are aggregated with specially designed devices – sunflower harvesters. The results of the analysis of some of the most popular models of sunflower harvesters is presented in the article. An overview of the sunflower harvesters produced by the world’s leading manufacturers is presented. Among them are such manufacturers as John Deere «Frontier SH», Claas «Sunspeed», Moresil «G-4570», Oros «Sun», Capello «Helianthus», Franco Fabril «SF», Geringhoff «SunLite», Geringhoff «SunStar», Geringhoff «SunStar». Berdyansk Plant of Agricultural Machinery, VKO MAANS, CB Alfa are manufacturers of sunflower harvesters in Ukraine. The main features of the new sunflower harvester and differences from the traditional design are analyzed. Each of these sunflower harvesters has its advantages, which allow us to improve certain production results depending on the priorities set by the producers (reduction of seed losses, less weight and metal consumption of harvesters, additional grinding of stems, etc.). These improvements are achieved by installing additional design elements or improving their basic design. Based on the analysis of the survey results, it was found that modern foreign producers offer a variety of solutions to intensify the collection of sunflower and reduce seed losses.

Key words:

sunflower,
sunflower harvesting,
sunflower header,
design of sunflower harvester,
agricultural machinery

Article history:

Received 14.09.2021

Accepted 05.11.2021

***Corresponding author:**

n.v.vasylichuk@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi47.617

To cite this article:

Vasylichuk, N. (2021). Overview of the modern designs of sunflower header. *Agricultural Machines*, 47, 15-24. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.617>

УДК 631.35

ОГЛЯД НОВІТНІХ КОНСТРУКЦІЙ ЖАТОК ДЛЯ ЗБИРАННЯ СОНЯШНИКУ

Н.В. Васильчук*

ВСП «Рівненський технічний фаховий коледж НУВГП», Рівне, Україна

AGRICULTURAL MACHINES

АМ
СМ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Соняшник – це одна із найважливіших олійних культур у світі. Основною цінністю соняшнику є його насіння, яке використовується в якості сировини для виробництва олії. Україна є світовим лідером із виробництва та перероблення соняшнику. Так, за 2019–2020 роки в Україні було зібрано 16,5 млн т соняшнику. Це більше ніж в Росії, ЄС та Аргентині. Схема перероблення соняшнику в готовий продукт містить основні етапи: вирощування соняшнику, збирання насіння, очищення насіння, луцення насіння, гідротермічне оброблення, екстрагування, рафінування та розливання олії в тару. Один із найбільш важливих та відповідальних етапів технології виробництва соняшнику – збирання. Для реалізації цього процесу використовуються зернозбиральні комбайни, які агрегуються із спеціально розробленими для соняшника пристосуваннями – жатками. У статті викладено результати аналізу окремих, найбільш популярних, моделей соняшникових жаток. Подано огляд конструкцій жаток соняшнику, які випускаються провідними світовими виробниками. Серед них жатки виробників John Deere «Frontier SH», Claas «Sunspeed», Moresil «G-4570», Oros «Sun», Capello «Helianthus», Franco Fabril «SF», Geringhoff «SunLite», Geringhoff «SunStar», Geringhoff «SunStar». Українськими виробниками жаток для соняшнику є «Бердянський завод сільгостехніки», ВКО «МАНС», КБ «Альфа». Проаналізовано основні особливості будови цих жаток, що відрізняють їх від жаток традиційної конструкції. Кожна із жаток має свої переваги, які дозволяють покращувати результати їх роботи залежно від пріоритетів, що поставлені виробниками. Досягаються покращення конструкцій соняшникових жаток шляхом встановлення додаткових конструктивних елементів. На підставі одержаних результатів огляду конструкцій жаток встановлено, що сучасні іноземні виробники пропонують різноманітні технічні рішення для інтенсифікації процесу збирання соняшнику та зменшення втрат насіння.

Ключові слова:

соняшник,
збирання соняшнику,
жатка,
конструкція жатки для
соняшника,
сільськогосподарські машини

Історія публікації:

Отримано 14.09.2021

Затверджено 05.11.2021

***Автор для листування:**

n.v.vasylchuk@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi47.617

Цитувати цю статтю:

Васильчук, Н. В. (2021). Огляд новітніх конструкцій жаток для збирання соняшнику. *Сільськогосподарські машини*, 47, 15-24. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.617>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Соняшник – це основна олійна культура України та одна із найважливіших, разом із льоном, ріпаком та соєю, олійна культура у світі. Згідно із даними міжнародної служби статистики Україна є країною із найбільшим обсягом виробництва насіння соняшнику в 2019–2020 роках (*Statista, n.d.*). Виробництво соняшнику в Україні протягом 2019–2020 років становить 16,5 млн т, тоді як у Росії цей показник становить 15,3 млн т, а в ЄС – 9,61 млн тон (**рис.1**) (*Statista, n.d.*).

Основною цінністю соняшнику є його насіння, яке використовується в якості сировини для виробництва олії (*Троценко, 2020*). Соняшникова олія використовується в харчовій промисловості як інгредієнт для виробництва напівфабрикатів або готових харчових продуктів, розливається як кінцевий продукт. Шрот, який залишається після виробництва олії, є багатим джерелом білка і поживним кормом для тварин.

Схема перероблення соняшнику в готовий продукт містить етапи (**рис. 2**) (*Гольцяпин та ін., 2011*): вирощування соняшнику; збирання насіння зернозбиральними комбайнами за допомогою спеціальних жаток; перевезення насіння до місця перероблення; очищення насіння, що передбачає відокремлення бур'янів і металевих домішок на магнітному та ситовому сепараторах; лушення насіння (руйнування і відокремлення оболонки); утворену м'ятку піддають гідротермічному обробленню, після чого обсмажують у жаровнях; екстрагування, внаслідок якого

отримують суміш олії з розчинником та шрот; рафінування та розливання олії в тару; відвантаження готової продукції.

Найбільш трудомістким та відповідальним етапом виробництва насіння соняшнику є його збирання. Процес збирання виконується за допомогою зернозбиральних комбайнів, які агрегатуються спеціально розробленими пристосуваннями – соняшниковими жатками (*Данілевич & Червоненко, 1978*). Технологічна схема роботи комбайну з жаткою представлена на **рис. 3**. Технологічний процес відбувається у такий спосіб: ліфтери жатки комбайна спрямовують стебла з корзинками до ріжучого апарату; зрізані корзинки за допомогою транспортера жатки, шнека жатки і транспортера похилої камери подаються в молотильний апарат комбайна; під час обмолоту основна частина насіння потрапляє на решета очищення; стебла з корзинками і частиною насіння проходять через відбійний бітер на соломотряс, де відокремлюється решта насіння; із соломотрясу стебла і корзинки спрямовуються в подрібнювач, де подрібнюються і надходять трубопроводом у транспортувальний пристрій (як правило це самоскид).

Розробленням та виготовленням сучасних жаток для збирання соняшнику займаються також українські виробники. Серед них провідними компаніями є: «Бердянський завод сільгосптехніки», ВКО «МААНС», КБ «Альфа», «Херсонський машинобудівний завод». Проте, нові цікаві конструктивні рішення з'являються саме у провідних закордонних виробників.

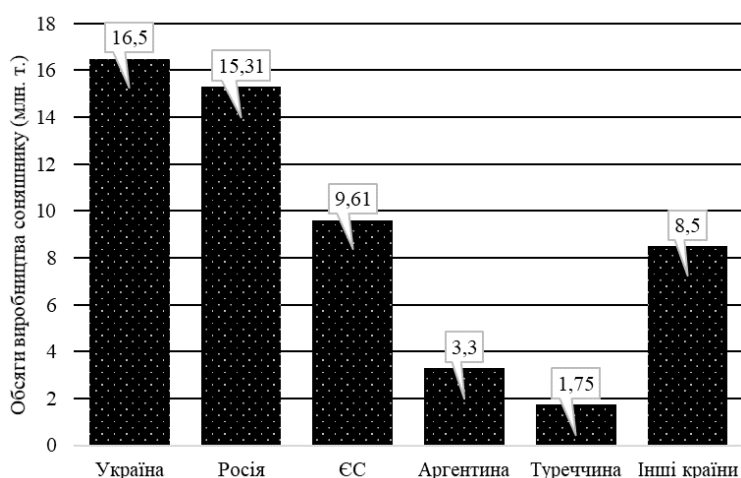


Рис. 1 – Обсяги виробництва насіння соняшнику в 2019–2020 роках (*Statista, n.d.*)

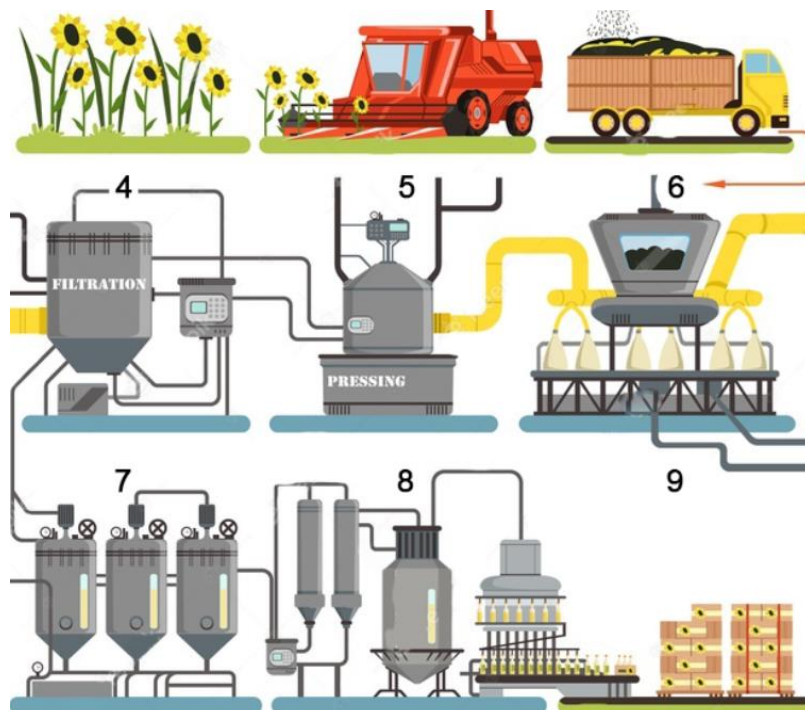


Рис. 2 – Етапи виробництва соняшнику (Гольцяпин та ін., 2011):

- 1 – вирощування; 2 – збирання насіння; 3 – перевезення насіння; 4 – очищення насіння;
 5 – лущення насіння; 6 – гідротермічне оброблення та обсмажування; 7 – екстрагування;
 8 – рафінування та розливання; 9 – відвантаження готової продукції

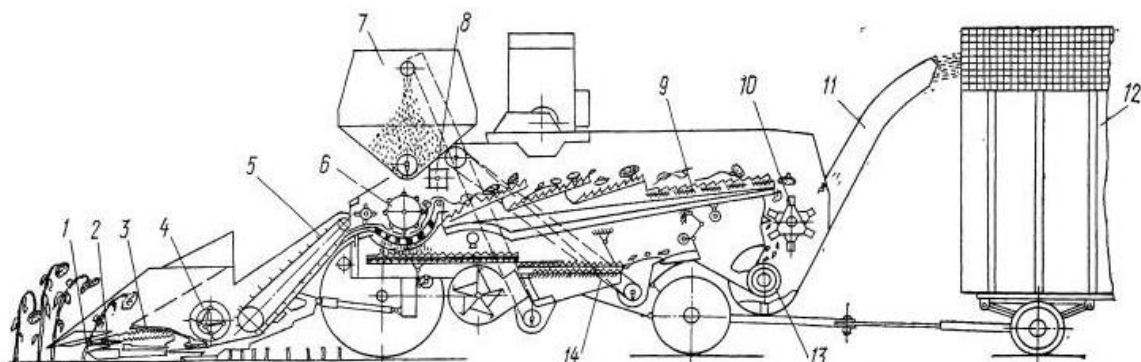


Рис. 3 – Технологічна схема комбайну з жаткою для збирання соняшнику:

- 1 – ліфтер жатки; 2 – ріжучий апарат; 3 – транспортер жатки; 4 – шнек жатки;
 5 – транспортер похилої камери; 6 – молотильний апарат; 7 – бункер; 8 – відбійний бітер;
 9 – соломотряс; 10 – подрібнювач; 11 – трубопровід; 12 – транспортувальний пристрій;
 13 – шнек подрібнювача; 14 – решета очищення

Мета дослідження – огляд та аналіз сучасних конструкцій жаток для збирання соняшнику від провідних світових виробників.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

У статті представлено результати огляду конструкцій жаток для збирання соняшнику та проаналізовано їх переваги і недоліки.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

На сьогодні провідні виробники у галузі сільськогосподарського машинобудування пропонують різноманітні конструкції жаток для збирання соняшника.

Жатка John Deere Frontier SH (рис. 4), має конструкцію, яка містить вібротранспортери,

що дозволяють збільшити об'єм сировини, який може оброблятися з одиниці площі поля за рахунок зменшення втрат насіння (*John Deere, n.d.*). Проте, таке конструктивне рішення спричиняє швидке зношування обладнання та необхідність додаткового технічного обслуговування.

Жатка виробника CLAAS має назву Sunspeed (рис. 5) (*CLAAS, n.d.*). У полі соняшник захоплюється ліфтерами (рис. 6). Після цього регульована спрямовуюча пластина відхиляє корзинку соняшника вперед. Одночасно із цим протягувальний валець під ріжучим апаратом притискає стебла вниз. Спрямовуюча пластина і валець

унеможливають передчасне зрізування стебел. Зрізування відбувається лише тоді, коли корзинки соняшнику захоплюються мотівилом. Внаслідок цього під дію шнека потрапляють лише корзинки, які потім спрямовуються в похилу камеру. Це дозволяє зменшити засмічення рухомих елементів конструкції, оскільки стебла не потрапляють до шнека. Проте, конструкція жатки має недоліки: виникнення додаткової сили тертя між стеблом соняшнику та спрямовуючою пластиною; за рахунок пружності стебла, після проходження соняшником ділянки із пластиною, рослина соняшника може повернутися у своє початкове положення.



Рис. 4 – Комбайн із жаткою John Deere Frontier SH (*John Deere, n.d.*)



Рис. 5 – Комбайн із жаткою CLAAS Sunspeed (*CLAAS, n.d.*)

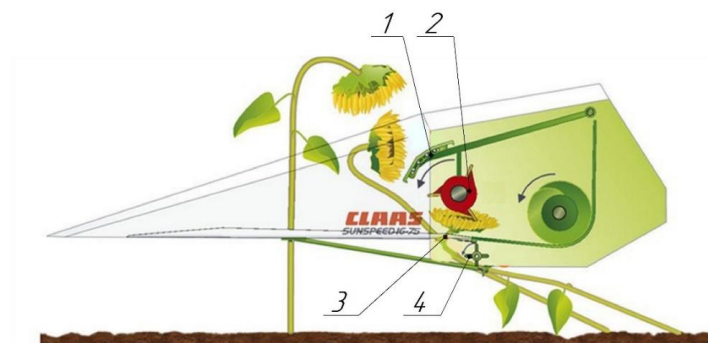


Рис. 6 – Принципова схема роботи жатки Claas Sunspeed:

1 – спрямовуюча пластина; 2 – мотівило; 3 – ріжучий апарат; 4 – протягувальний валець

Іспанська жатка MORESIL G-4570 (рис. 7) має додатковий вертикальний ланцюг (крім стандартних горизонтальних ланцюгових механізмів) (MORESIL, n.d.), який забезпечує можливість підбору нахилених стебел соняшнику та унеможливає значні накопичення соняшнику в піддонах. Але у такий спосіб збільшується засмічення елементів жатки через збільшення кількості залишків стебел та листя, які потрапляють на шнек та ланцюги. Це вимагає регулярних зупинок з метою проведення очищення.

Жатка для збирання соняшнику OROS SUN (рис. 8) має зворотний нахил стола та вібротранспортер, що дозволяє зменшити втрати корзинок та насіння на шляху до жолоба шнека (АСТРА, n.d.). Разом із тим, застосування вібротранспортерів спричиняє обмолочування насіння.

Жатка Franco Fabril SF (рис. 9) має модифіковане мотовило, яке має вигляд трубчатого валу із навареними скобами-пальцями (Franco Fabril, n.d.). Це дозволяє сповільнити просування корзинки соняшнику та унеможливити вплив різких ударів на неї.

Також за всією довжиною жатки розташовано зубчатий вал, який протягує стебла соняшнику, зменшуючи забивання механізму обмолоту. Таке конструктивне рішення хоча і дозволяє збільшити швидкість руху комбайну, але не дозволяє адаптувати роботу жатки до стебел соняшнику із різним діаметром та збирати полегли стебла на полі.

Італійський виробник жаток Capello SRL виготовляє соняшникову жатку Helianthus (рис. 10) (Capello, n.d.). Жатка безрядкова, оригінальні конструктивні відмінності відсутні. Виробник зробив акцент на високу якість матеріалів та перевірену часом конструкцію.

Безрядкова жатка Geringhoff SunLite оснащена подільниками з вузькими носиками, які забезпечують максимальну гнучкість під час роботи на різних міжряддях, та подавальними вальцями, які призначені для плавного підводу зрізаних стебел із корзинками до шнеку (рис. 11) (Geringhoff, n.d.). Поєднання оригінальних подільників із подавальними вальцями забезпечує збирання соняшнику із низькими втратами урожаю.



Рис. 7 – Соняшникові жатка MORESIL G-4570 (MORESIL, n.d.)



Рис. 8 – Соняшникові жатка OROS SUN (АСТРА, n.d.)

Рис. 9 – Сонояшнікова жатка Franco Fabril SF (*Franco Fabril, n.d.*)Рис. 10 – Сонояшнікова жатка Capello Helianthus (*Capello, n.d.*)Рис. 11 – Сонояшнікова жатка Geringhoff SunLite (*Geringhoff, n.d.*)

Також Geringhoff виготовляє рядкову жатку SunStar (рис. 12, а) (*AGSOLCO Ukraine, n.d.*). Особливістю жатки є те, що вона обладнана двома подавальними ланцюгами, які транспортують рослини до ротаційних здвоєних ножів, де відбувається відокремлення головок (рис. 12, б). Розробниками також застосовано привод без пасів і ланцюгів, натомість з використанням редукторів. Привод відбувається через запобіжну муфту безпосередньо від редуктора, що зменшує енерговитрати. Система здвоєних ножів майже

не вимагає технічного обслуговування і має надзвичайно високу довговічність завдяки довжині площини зрізу близько 1535 мм.

Жатка METALAGRO SunMaster (рис. 13) (*METALAGRO, n.d.*) дозволяє проводити збирання сонояшника на ранніх строках – відразу після дозрівання насіння, не чекаючи повного висихання стебел. Застосування жатки дозволяє забезпечити збільшення швидкості збирання сонояшника на 20%, що створює умови для скорочення термінів проведення збиральних робіт.



Рис. 12 – Соняшникова жатка Geringhoff SunStar (AGSOLCO Ukraine, n.d.):
а – загальний вигляд; б – система здвоєних ножів



Рис. 13 – Соняшникова жатка METALAGRO SunMaster (METALAGRO, n.d.)

Конструкція жатки вирізняється відносно невеликою масою – 2300 кг, що дозволяє зменшити витрату пального, в середньому, на 2 л/га. Жатка METALAGRO дозволяє збирати соняшник за технологією, за якої зрізування рослини відбувається якнайближче до корзинки соняшника.

Оригінальні конструктивні рішення втілено у конструкцію жатки Fantini GO3 (рис.14) (ЛЕНД АГРО. n.d.). Жатка забезпечує високу якість збиральних робіт навіть за умов високої вологості стебел. Збиральна система жатки містить два ланцюги із гумовими накладками (рис. 15, а), що м'яко, але міцно блокують стебло, забезпечуючи поступове і

безперервне надходження соняшнику до комбайна.

Система зрізування, яка містить два диски із загартованої сталі, що обертаються в протилежному напрямку, забезпечує зрізування головок соняшнику без струшування, що запобігає втратам насіння (рис. 15, б).

ВИСНОВКИ

Аналіз конструкцій жаток соняшнику виявив, що виробники постійно впроваджують новітні технічні рішення, спрямовані на покращення якісних показників процесу збирання, а саме на зменшення втрат насіння.



Рис. 14 – Соняшникова жатка FANTINI GO3 (ЛЕНД АГРО. n.d.)

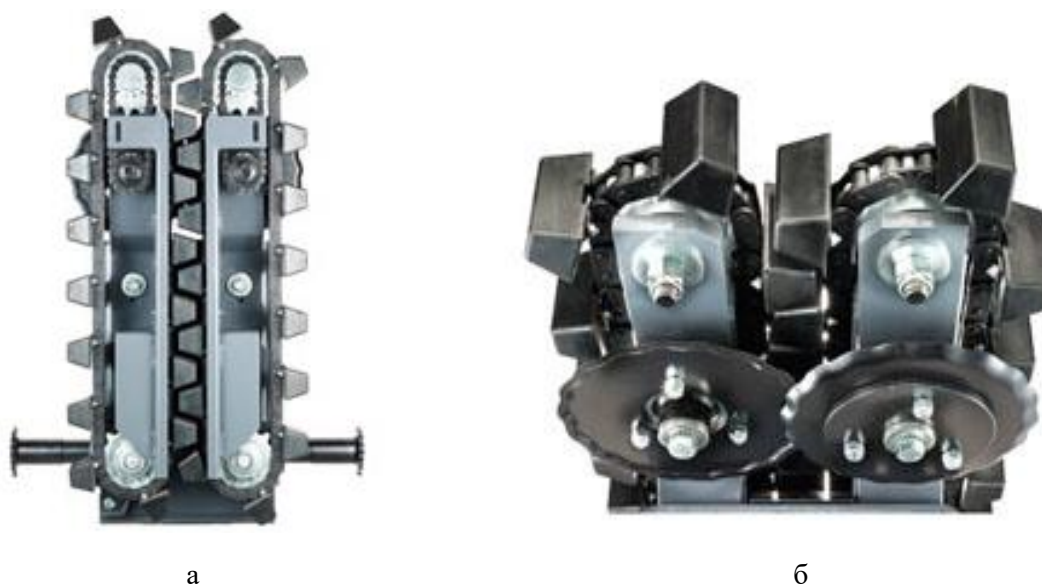


Рис. 15 – Оригінальні конструктивні рішення для жатки FANTINI GO3 (ЛЕНД АГРО. n.d.):
а – ланцюги; б – система зрізування

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

AGSOLCO Ukraine. (n.d.). *Соняшникова жатка Geringhoff Sun Star (Sunflower Header Geringhoff Sun Star)*. Retrieved September 30, 2021, from https://agsolco.com/ua/zhatka_dlya_podsolnechnik_a_geringhoff_sun_star/

Capello. (n.d.). *Helianthus Sunflower Attachment*. Retrieved September 30, 2021, from <https://www.capelloworld.com/cereal-harvesting-equipment-technologies/helianthus-sunflower-attachment>

CLAAS. (n.d.). *Sunspeed*. Retrieved September 30, 2021, from <http://www.claas.ua/cl-pw-ru/produkte/maehdrescher/vorsatzgeraete2016/vorsatzgeraete/sunspeed>

Franco Fabril. (n.d.). *Sunflower Head*. Retrieved September 30, 2021, from <https://www.francofabrilsa.com.ar/the-products/135-sunflower-head>

Geringhoff. (n.d.). *SunLite*. Retrieved September 30, 2021, from https://www.geringhoff.com/en/Products/Sunflower-Heads/SunLite-/p/gp_SunLite

John Deere. (n.d.). *Зернозбиральні комбайни (Harvesters)*. Retrieved September 30, 2021, from https://www.deere.ua/uk-UA/products/equipment/combines/headers/frontier_sunflower_header/frontier_sunflower_header.page

METALAGRO. (n.d.). *Sunmaster Sunflower Harvesting Header*. Retrieved September 30, 2021, from <http://www.metalagro.bg/>

MORESIL. (n.d.). *Cabezal de girasol de cadenas modelo G-4570*. Retrieved September 30, 2021,

- From <https://www.moresil.com/cabezales/cabezales-de-girasol/cabecal-de-girasol-de-cadenas.html>
- Statista. (n.d.). *Production volume of sunflower seed in major producer countries in 2019/2020*. Retrieved September 30, 2021, from <https://www.statista.com/statistics/263928/production-of-sunflower-seed-since-2000-by-major-countries>
- АСТРА. (n.d.). *Жатки для уборки подсолнечника OROS SUN (Sunflower Header OROS SUN)*. Retrieved September 30, 2021, from <https://astragroup.ua/ru/catalogue/tehnika/zhatki/or-os-30.html>
- Гольцяпин, В. Я., Колчина, Л. М., & Щеголихина, Т. А. (2011). *Современные технологии и комплексы машин для возделывания подсолнечника (Modern Technologies and Machine Complexes for Sunflower Cultivation)*. Москва: ФГНУ «Росинформагротех».
- Данілевич, С. Ю., & Червоненко, А. Г. (1978). *Технологія механізованого вирощування соняшнику (Technology of Mechanized Sunflower Cultivation)*. Київ: Урожай.
- ЛЕНД АГРО. (n.d.). *Соняшникова жатка FANTINI GO3 (Sunflower Harvester FANTINI GO3)*. Retrieved September 30, 2021, from https://landagro.com.ua/silskogospodarska-tehnika/zhatka_Fantini_G3_dlya
- Троценко, В. (2020). *Соняшник: методи створення вихідного матеріалу та селекція (Sunflower: Methods of Creating Source Material and Selection)*. Київ: Українська книга.

INVESTIGATION OF THE MOVEMENT OF GRAIN MATERIAL PARTICLES IN A VERTICAL CHANNEL UNDER THE ACTION OF AIR FLOW PULSATIIONS

S. Stepanenko^{1*}, B. Kotov², R. Kalinichenko³

¹National Scientific Center «Institute of Agricultural Engineering and Electrification», Glevakha, Ukraine

²Podillia State Agrotechnical University, Kamianets-Podilskyi, Ukraine

³SS National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine «Nizhyn Agrotechnical Institute», Nizhyn, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

Separation of grain mass in the air stream is one of the most common technological operations during post-harvest processing of grain. Most grain separators are equipped with air cleaning systems for grain mass. It is important to further improve the quality of grain separation into fractions by existing types of air separators. The creation of new and improvement of existing pneumatic separation systems is inextricably linked with the further development of the scientific basis of air separation and the creation of more accurate mathematical models that take into account the forces arising from changes in air flow rate, both coordinates and time. The action of forces on the grain due to the non-stationary flow of air and its unevenness under certain conditions can increase, or enhance, the efficiency of separation of the components of the grain material by aerodynamic properties. To study the process of moving grain material under the action of uneven, non-stationary air flow in the pneumatic separation channel, it is necessary to formulate a mathematical description that will determine the trajectories of grain in the air flow with a velocity gradient and pulsations. The article theoretically determines the regularities of grain motion and improves the mathematical model of the dynamics of solid grain motion in the vertical air flow, which differs from those known in that it takes into account the unevenness of the velocity field, the action of lateral forces, material concentration. The use of pulsed air flow allows us to increase the divergence of the trajectories of the grains by 10–15%. The solution of the system of equations with initial conditions is made in the form of trajectories of grain in vertical air flow, which allows us to calculate their trajectories differing in sailing coefficients and to determine rational values of design parameters of pneumatic gravity separators.

Key words:

grain separation,
pneumatic separator,
air flow,
air flow pulsation,
air flow velocity gradient

Article history:

Received 19.10.2021

Accepted 15.11.2021

*Corresponding author:

Stepanenko_s@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi47.619

To cite this article:

Stepanenko, S., Kotov, B., & Kalinichenko, R. (2021). Investigation of the movement of grain material particles in a vertical channel under the action of air flow pulsations. *Agricultural Machines*, 47, 25-36. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.619>

УДК 631.362.3

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ЧАСТИНОК ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ КАНАЛІ ЗА УМОВ ДІЇ ПУЛЬСАЦІЙ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ

С.П. Степаненко^{1*}, Б.І. Котов², Р.А. Калініченко³

¹Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», Глеваха, Україна

²Подільський державний аграрно-технічний університет,
Кам'янець-Подільський, Україна

³ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут», Ніжин, Україна
«Nizhyn Agrotechnical Institute», Nizhyn, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES



СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Створення нових і вдосконалення існуючих пневмосепаруючих систем пов'язано з подальшим розвитком теорії повітряного сепарування і створення точних математичних моделей, що урахують дію сил, які виникають при зміні швидкості повітряних потоків як за координатами, так і з часом. Дія на зернину сил, які зумовлені нестационарністю потоку повітря і його нерівномірністю, за певних умов може сприяти збільшенню ефективності розділення компонентів зернового матеріалу за аеродинамічними властивостями. Для дослідження процесу переміщення зернового матеріалу, на який діє нерівномірний нестационарний потік повітря в пневмосепарувальному каналі, необхідно сформулювати математичний опис, який дозволить визначити траєкторії руху зернини в повітряному потоці із градієнтом швидкості і за наявності пульсацій. У статті теоретично визначені закономірності руху зернини та удосконалено математичну модель динаміки руху зернини у вертикальному потоці повітря, яка відрізняється від відомих тим, що урахує нерівномірність поля швидкості, дію бокових сил та концентрацію матеріалу. Застосування імпульсного потоку повітря дозволяє збільшити відхилення одна від одної траєкторій руху зернин на 10–15%. Розв'язок системи диференціальних рівнянь виконано у вигляді траєкторій руху зернин у вертикальному повітряному потоці, що дозволяє розраховувати їх траєкторії руху, які різняться коефіцієнтами парусності, та визначити раціональні параметри пневмогравітаційних сепараторів.

Ключові слова:

сепарування зерна,
пневмосепаратор,
повітряний потік,
пульсація повітряного потоку,
градієнт швидкості повітряного потоку

Історія публікації:

Отримано 19.10.2021

Затверджено 15.11.2021

*Автор для листування:

Stepanenko_s@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi47.619

Цитувати цю статтю:

Степаненко, С. П., Котов, Б. І., & Калініченко, Р. А. (2021). Дослідження руху частинок зернового матеріалу у вертикальному каналі за умов дії пульсацій повітряного потоку. *Сільськогосподарські машини*, 47, 25-36. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.619>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Повітряне сепарування (очищення та розділення зернової маси) є однією із найбільш поширених технологічних операцій під час післязбирального оброблення зерна. Практично усі зернові сепаратори здійснюють повітряне очищення зернової маси. Досвід конструювання і практика експлуатації пневмосепараторів визначили напрям розвитку конструкцій пневмосепаруючого каналу. Як правило, це вертикальний повітряний канал прямокутного перетину із висхідним рухом повітряного потоку і низхідним гравітаційним переміщенням зерна. Із розвитком техніки повітряного сепарування пневмосепаруючі канали виокремилися в окремий клас зерноочисних і сортувальних машин.

Дослідженням процесу поділу зернового матеріалу у вертикальних пневмосепаруючих каналах присвячені фундаментальні наукові праці, аналіз яких дозволив отримати рекомендації щодо раціональних параметрів функціонування сепараторів для випадку очищення зернового матеріалу від легких і смітєвих домішок. Подальше покращення якості поділу зерна на фракції існуючими типами повітряних сепараторів ускладнене, що можна пояснити причинами:

- зерновий матеріал взаємодіє із повітряним потоком короткої проміжок часу;
- швидкість повітря в поперечному перетині каналу розподілена нерівномірно, зокрема у пристінкових зонах практично відсутній потік повітря;
- технологічні можливості повітряного потоку використовуються не в повному обсязі;
- не ефективне використання нижньої частини (відносно введення матеріалу в повітряний потік) пневмосепарувального каналу – вихід однієї фракції;
- кінематичні режими розраховуються на основі співвідношення сил тяжіння, інерції та аеродинамічного опору.

Створення нових та вдосконалення існуючих пневмосепаруючих систем пов'язано з подальшим розвитком теоретичних основ повітряного сепарування і створення більш точних математичних моделей, які враховують дію сил, що виникають при зміні швидкості повітряних потоків як за координатами, так і з часом. Дія на зернину сил, зумовлених нестационарністю потоку повітря та його

нерівномірністю, за певних умов може сприяти збільшенню ефективності розділення компонентів матеріалу за аеродинамічними властивостями.

Для дослідження процесу переміщення зернового матеріалу під дією нерівномірного і нестационарного потоку повітря в пневмосепарувальному каналі необхідно зробити математичний опис, який дозволить визначити траєкторії руху зернин в повітряному потоці з градієнтом швидкості і за наявності пульсацій.

Основи теорії, принципи функціонування, методи розрахунку і конструювання технічних засобів для сепарування зернових матеріалів у повітряних каналах висвітлені у наукових працях Борискина М.А., Гортинського В.В., Ветрова Е.Ф., Демідова А.Р., Демського А.Б., Маліса А.Я., Нелюбова О.І. та інших, які проаналізовано в праці (*Котов та ін., 2017*). У науковій праці (*Бурков & Сычугов, 2000*) проаналізовані конструкції пневмосепаруючих систем та подано розрахунок живильних пристроїв пневмоканалу. Крім того, проблема повітряного сепарування розглядалася в наукових працях (*Bulgakov et al., 2020; Nesterenko et al., 2017; Piven et al., 2018; Rogovskii et al., 2019a; Rogovskii et al., 2019b; Vasylykovskiy et al., 2019; Кюрчев, 2019; Степаненко & Котов, 2018a*). У наукових працях (*Борщ, 2014; Нестеренко, 2017*) обґрунтована доцільність багаторівневого введення матеріалу в канал механічним і аеродинамічним способами. У праці (*Колодій, 2015*) запропоновано використовувати нижню зону вертикального пневмоканалу сепаратора для розділення зерна на фракції, а також доведена доцільність зміни швидкості повітря за висотою (довжиною) каналу. У праці (*Абдуєв, 2007*) встановлена доцільність зміни швидкості повітря за висотою похилого каналу.

В усіх опрацьованих наукових працях рух частинки зернового матеріалу в повітряному середовищі моделюється системою рівнянь руху зернини в рівномірному та стаціонарному потоці, які складені Василенком П.М. Для випадку руху частинки матеріалу в повітряних каналах із нерівномірним полем швидкостей в перетині каналу складені математичні моделі у наукових працях (*Степаненко & Котов, 2018a; Степаненко & Котов, 2018b; Котов & Степаненко, 2020a*). У праці (*Злочевський, 1986*) встановлено негативний вплив на розділення зернового матеріалу поперечних

сил Магнуса та Жуковського.

На сьогодні є поширеним використання імпульсного повітряного потоку для інтенсифікації процесів поділу зернового матеріалу в повітряно-решітних машинах (Петренко та ін., 2002; Богатирьов, 2005; Котов & Степаненко, 2016). У праці (Степаненко та ін., 2017) для періодичної зміни швидкості повітряного потоку використовується кільцевий зигзагоподібний канал. У праці (Кюрчев, 2019), а потім і в працях (Bulgakov et al., 2020; Гудков, 1963) запропоновано використовувати коливальний рух внутрішнього циліндра кільцевого каналу, на якому розташовані парусні елементи. На думку авторів, обертальні коливання циліндра з парусними елементами створюють «силу опору в радіальному напрямку». Також у математичній моделі руху зернини, яку склали автори, силу дії повітряного потоку включено в рівняння руху як «переносну», а в радіальному напрямку діє «гармонічна» сила опору (знакозмінна), яка, начебто, створює додаткові повітряні потоки, що в рівняннях не визначені. З огляду на аналіз цієї математичної моделі, питання щодо доцільності використання «радіального потоку» є дискусійним.

Разом із тим, у працях (Нелюбов & Ветров, 1977; Ландау & Лифшиц, 1953) визначена доцільність використання імпульсних потоків повітря для підвищення аеродинамічних ознак поділу зернового матеріалу. Так, у праці (Нелюбов & Ветров, 1977) показано, що у випадку пульсуючого потоку на тіло діє більша сила опору внаслідок того, що опір руху в нестационарному потоці обумовлений інерційністю самого тіла, а також зміною кінетичної енергії потоку. Наукові результати попередніх досліджень вказують на доцільність проведення теоретичного аналізу впливу пульсуючого повітряного потоку на переміщення зернини в пневмосепаруючих каналах та визначення траєкторії її руху і ефективності розділення компонентів зернового матеріалу.

Мета дослідження – підвищення ефективності поділу зернового матеріалу в пневмосепаруючих каналах сепараторів шляхом застосування пульсацій повітряного потоку.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Теоретичні дослідження, що передбачали визначення закономірності руху зернини в пульсуючому повітряному потоці, базувалися на положеннях теорії пневмосепарування сипких матеріалів і передбачали використання аналітичного методу із складанням рівнянь руху зернин сферичної форми в повітряному потоці пневмосепаруючого каналу сепаратора. Під час математичного моделювання руху компонентів зернового матеріалу зернину приймали за матеріальну точку та враховували комплексний показник її аеродинамічних властивостей (коефіцієнтом парусності).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Розглянемо вертикальний повітряний канал із нижнім сходом розділеного зернового матеріалу. Форма поперечного перетину каналу може бути прямокутною чи кільцевою. Завантаження зернового матеріалу у канал відбувається від бокової стінки або від внутрішнього циліндра під кутом α_0 із початковою швидкістю \mathcal{G}_0 (рис. 1, а).

Траєкторія руху зернини розглядається в площині прямокутної системи координат xOy (рис. 1, б). На рис. 1, б також зображені швидкості і сили, які діють на зернину в повітряному потоці. Швидкість повітряного потоку в поперечному перетині каналу сепаратора змінюється за степеневим законом і визначається за турбулентного режиму згідно формули (Зусєв, 1979):

$$\mathcal{G}(x) = \mathcal{G}_{\max}(t) \left[\frac{x}{b} \right]^{1/7}; \quad (1)$$

де $\mathcal{G}_{\max}(t)$ – змінна швидкості повітряного потоку в центрі каналу з часом; b – половина відстані між стінками каналу; x – відстань від зернини (матеріальної точки) до стінки каналу.

Нехай, зміна швидкості повітря з часом у першому наближенні відбувається за гармонійним законом:

$$\mathcal{G}(x) = A(1 - \sin(\omega t)); \quad (2)$$

де A – амплітуда коливань; ω – частота коливань (частота обертання дволопатевого ротора).

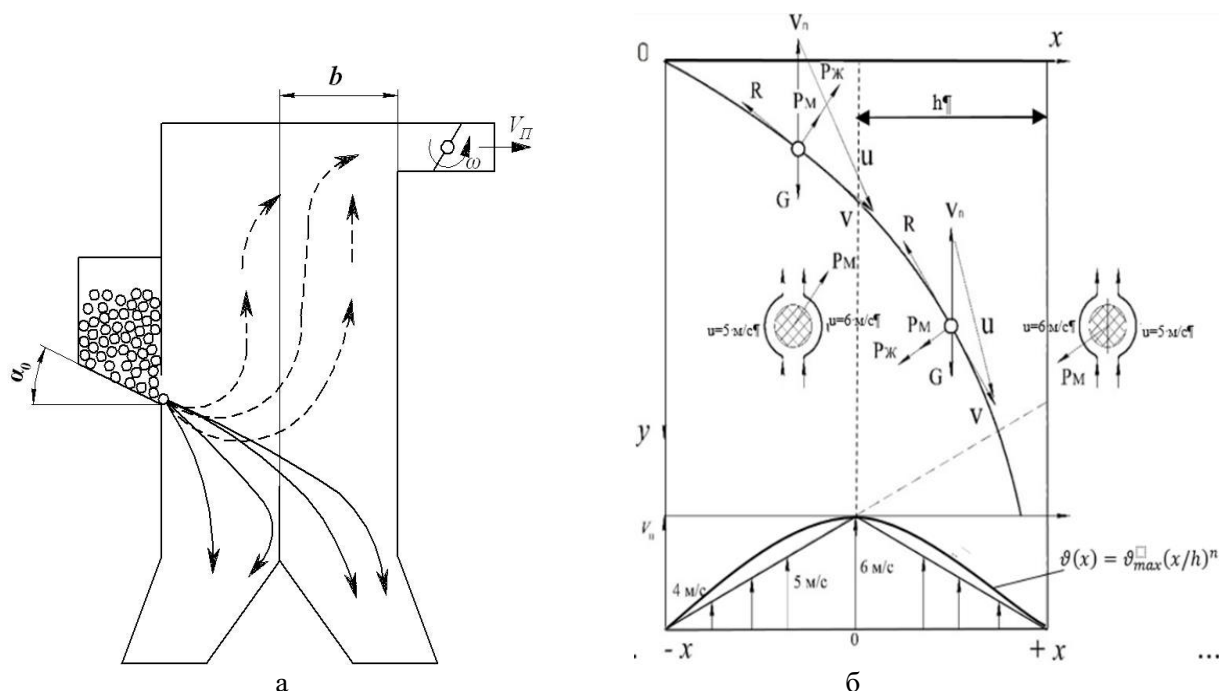


Рис. 1 – Схеми пневмогравітаційного сепаратора (а) та силової взаємодії зернини із повітряним потоком (б)

Визначимо сили, які діють на зернину сферичної форми у потоці повітря. Основу детермінованої моделі становить, як правило, представлення процесу у вигляді руху невзаємодіючих зернин у нерівномірному нестационарному потоці повітря, обмеженому стінками каналу (взаємодія зернини із стінкою каналу виключається). У цьому випадку математична модель переміщення зернини визначається сукупністю рівнянь:

- диференціальне рівняння руху зернини:

$$m \frac{d\bar{V}}{dt} = \sum \bar{F} \text{ та } \bar{V} = \frac{d\bar{S}}{dt}; \quad (3)$$

де $\sum \bar{F}$ – сума векторів сил, які діють на зернину; \bar{V} , \bar{S} – відповідно, вектори швидкості та переміщення зернини масою m ;

- поле швидкостей несучого потоку:

$$\bar{V}_n = \bar{V}(x); \quad (4)$$

- рівняння зміни швидкості повітряного потоку з часом:

$$\bar{V}_n = \bar{V}(t) \text{ та } \bar{V}_n = \bar{V}(x, t). \quad (5)$$

Початкові умови для розв'язування рівнянь (3)–(5): $V = V_0$; $S = S_0$; $\alpha = \alpha_0$.

Розглянемо сили, які діють на зернину в повітряному потоці. Сила тяжіння, що діє на зернину, визначається за формулою:

$$\bar{G} = m\bar{g} = V_3 \rho_3 \bar{g}; \quad (6)$$

де ρ_3 – густина зернини; g – прискорення вільного падіння; m – маса зернини; V_3 – об'єм зернини.

Об'єм зернини розраховується за формулою:

$$V_3 = \frac{\pi d_e^3}{6}; \quad (7)$$

де d_e – еквівалентний діаметр зернини.

Сила Архімеда, що діє на зернину, яка спрямована протилежно силі тяжіння:

$$\bar{F}_a = V_{об.0} \rho_0 \bar{g}; \quad (8)$$

де $V_{об.0}$, ρ_0 – відповідно, об'єм повітря, що виштовхує зернину вгору, та його густина.

Сила в'язкого опору, яка виникає під час руху зернини з відносною швидкістю $\bar{u} = \bar{V}_n - \bar{V}$, що визначається за формулою:

$$\bar{R} = 0,5 \cdot \xi(\text{Re}) \cdot S_m \rho_0 (\bar{V}_n - \bar{V}) |\bar{V}_n - \bar{V}|; \quad (9)$$

де \bar{V}_n , \bar{V} – відповідно, швидкість повітря і зернини; $\xi(\text{Re})$ – коефіцієнт аеродинамічного опору, величина якого визначається числом Рейнольдса $\text{Re} = \frac{du}{\nu}$; $S_m = \frac{\pi d_e^2}{4}$ – площа міделевого січення зернини; $d_e = 2r$ – еквівалентний діаметр зернини сферичної форми; r – еквівалентний радіус зернини; u – швидкість обтікання зернини повітряним потоком; ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря.

На зернину також діє бічна сила Жуковського (підйомна сила), що виникає за наявності градієнта швидкості повітряного потоку, який обтікає зернину. Відповідно до степеневого закону розподілу швидкості повітряного потоку (1), величина градієнта визначається (Зуєв, 1979):

$$\begin{aligned} \text{grad} V_n(x) &= \frac{dV(x)}{dx} = \\ &= \frac{1}{7} g_{\max}(t) b^{-\frac{1}{7}} x^{-\frac{6}{7}}. \end{aligned} \quad (10)$$

Відносна швидкість руху зернини:

$$\bar{u} = \left[g_{\max}(t) \left(\frac{x}{b} \right)^{\frac{1}{7}} \bar{i} - V(x) \right]; \quad (11)$$

де \bar{i} – одиничний вектор осі x .

Бічна сила визначається за теоремою Жуковського М.Е.:

$$P_{\text{Ж}} = \rho_0 \bar{u} \Gamma; \quad (12)$$

де $\Gamma = \frac{4}{3} \pi r^2 \text{grad} V(x)$ – циркуляція повітря вздовж колового контуру (Зуєв, 1979).

Після перетворень в (12), матимемо:

$$\begin{aligned} P_{\text{Ж}} &= \frac{4}{21} \pi r^3 \rho_0 g_{\max}(t) b^{-\frac{1}{7}} x^{-\frac{6}{7}} \times \\ &\times \left[g_{\max}(t) \left(\frac{x}{b} \right)^{\frac{1}{7}} \bar{i} - V(x) \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

Сила від ефекту Магнуса виникає під час обертання зернини навколо своєї осі у нерівномірному нестационарному потоці повітря (Котов & Степаненко, 2020b):

$$\begin{aligned} P_M &= \frac{16}{3} r^3 \pi \rho_0 \omega_3 \times \\ &\times \left[g_{\max}(t) \left(\frac{x}{b} \right)^{\frac{1}{7}} \bar{i} - V(x) \right]; \end{aligned} \quad (14)$$

де ω_3 – кутова швидкість обертання зернини.

Вектор сили $P_{\text{Ж}}$ спрямований нормально до вектора відносної швидкості руху зернини в бік збільшення швидкості повітря. Вектор сили P_M спрямований нормально до вектора відносної швидкості руху зернини у бік, де вектор швидкості повітря співпадає з напрямком обертання зернини.

Інтенсифікуюча дія імпульсів повітряного потоку полягає у виникненні змінної аеродинамічної сили, що призводить до появи додаткової сили від так званих «приєднаних мас» нестационарного потоку, завдяки чому повна сила, що діє на зернину, буде дорівнювати (Нелюбов & Ветров, 1977; Ландау & Лифшиц, 1953):

$$F_{n.c.} = V_{об.0} \rho_0 \frac{d\bar{V}_{ni}}{dt} - m_i \frac{d}{dt} [\bar{V}_{ni} - \bar{V}]; \quad (15)$$

де m_i – тензор приєднаних мас; \bar{V}_n – вектор швидкості повітряного потоку.

Прирівнявши цю силу до похідної за часом від імпульсу зернини, отримаємо рівняння руху зернини в імпульсному (коливному) повітряному потоці (Зуєв, 1979):

$$\frac{d}{dt} m_i \bar{V}_i = V_{об.0} \rho_0 \frac{d\bar{V}_{ni}}{dt} - m_i \frac{d}{dt} [\bar{V}_{ni} - \bar{V}]. \quad (16)$$

До сил, що діють на зернину, за умови її взаємодії із нестационарним (імпульсним) повітряним потоком, в праву частину рівняння (3) необхідно додати:

- силу, що зумовлена зміною швидкості (тиску) у напрямку руху потоку повітря за рахунок його прискорення:

$$\bar{F}_1 = m_0 \frac{d\bar{V}_n}{dt}; \quad (17)$$

- силу, що еквівалентна впливу прискорених мас:

$$\bar{F}_2 = m_i \frac{d}{dt} [\bar{V}_{ni} - \bar{V}]. \quad (18)$$

Підставляючи визначені сили, що діють на зернину в імпульсному рухомому потоці повітря, в рівняння (3), матимемо диференціальне рівняння руху зернини в нерівномірному пульсуючому потоці повітря у векторній формі:

$$(m + m_i) \frac{d\bar{V}}{dt} = \bar{R} + \bar{G} + \bar{P}_M + \bar{P}_Ж + \bar{F}_1; \quad (19)$$

де m_i – тензор приєднаної маси, який визначається $m_i = 3,75\pi r^3 \rho_0 \delta_i$; δ_i – одиничний тензор; F_1 – сила інерції повітряного потоку.

Сила інерції повітряного потоку в узагальненому вигляді:

$$\bar{F}_1(t, x) = (m_0 + m_i) \frac{d\bar{V}_n(t)}{dt}; \quad (20)$$

$$\frac{d\bar{V}_n(t)}{dt} = A\omega \cos(\omega t) \left(\frac{x}{b}\right)^{\frac{1}{7}}. \quad (21)$$

Ураховуючи, що у двофазному зерно-повітряному потоці площа вільного січення S_n для руху повітря визначається площинною пористістю зерно-повітряної суміші $\varepsilon = S_n / S_3$ (де S_3 – площа перекриття січення зерном), то швидкість руху повітря у міжзерновому просторі становитиме:

$$g_{\max}^* = \frac{g_{\max}}{\varepsilon}. \quad (22)$$

У теоретичних дослідженнях (Бурков & Сычугов, 2000; Котов та ін., 2017; Нестеренко, 2017) прийнято ознакою поділу вважати швидкість витання компонентів зернового матеріалу, що зв'язана із коефіцієнтом парусності співвідношенням (Нелюбов & Ветров, 1977):

$$k_V = \frac{\xi(\text{Re}) \rho_0 S_M}{2m}. \quad (23)$$

Відповідно, силу аеродинамічного опору визначимо за формулою:

$$\bar{R} = mk_V \bar{u}^2(t) = mk_V (\bar{V}_n(x, t) - \bar{V})^2; \quad (24)$$

$$\bar{V}_n(x, t) = g_{\max}(t) \left(\frac{x}{b}\right)^{\frac{1}{7}} = A(1 - \sin(\omega t)) \left(\frac{x}{b}\right)^{\frac{1}{7}}. \quad (25)$$

Підставляючи значення визначених сил у рівняння (19) та спроектувавши сили на осі системи координат xOy , матимемо систему диференціальних рівнянь, які описують рух зернини в нестационарному нерівномірному повітряному потоці вертикального каналу:

$$\begin{cases} (m + m_i) \frac{dV_x}{dt} = -R \sin \alpha \pm P_{M(x)} \cos \alpha \pm \\ \pm P_{Ж(x)} \cos \alpha; \\ (m + m_i) \frac{dV_y}{dt} = mg - R \cos \alpha \pm P_{M(y)} \sin \alpha \pm \\ \pm P_{Ж(y)} \sin \alpha - F_1(t, x); \end{cases} \quad (26)$$

де $V_x = \frac{dx}{dt}$; $V_y = \frac{dy}{dt}$; $\sin \alpha = \frac{V_x}{u}$; $\cos \alpha = \frac{V_x + V_n(x, t)}{u}$; $u = \sqrt{(V_n + V_y)^2 + V_x^2}$; u – відносна швидкість руху зернини в потоці; α – кут між вектором абсолютної швидкості зернини і віссю x .

Подвійні знаки перед бічними силами означають зміну напрямку вектора сили при перетині зерниною осі симетрії каналу, які визначаються граничними умовами в точці $x = 0$. Проекції бічних сил $P_{Ж(x)}$, $P_{M(x)}$, $P_{Ж(y)}$, $P_{M(y)}$ та $F_1(t, x)$ за модулем:

$$P_{Ж(x)} = \frac{4}{21} \pi \rho_0 r^3 A \omega (\cos(\omega t)) b^{\frac{1}{7}} x^{\frac{6}{7}} V_x; \quad (27)$$

$$P_{M(x)} = \frac{8}{3} \pi \rho_0 r^3 \omega V_x; \quad (28)$$

$$P_{Ж(y)} = \frac{4}{21} \pi \rho_0 r^3 A \omega (\cos(\omega t)) \times \left[A \omega (\cos(\omega t)) \left(\frac{y}{b}\right)^{\frac{1}{7}} - V_y \right]; \quad (29)$$

$$P_{M(y)} = \frac{8}{3} \pi \rho_0 r^3 \omega \left[A \omega (\cos(\omega t)) \left(\frac{y}{b}\right)^{\frac{1}{7}} - V_y \right]; \quad (30)$$

$$F_1(t, x) = (m_0 + m_i) \left(A \omega (\cos(\omega t)) \left(\frac{x}{b} \right)^{\frac{1}{7}} \right). \quad (31)$$

Початкові та граничні умови для розв'язування системи рівнянь (27)–(31):

$$\frac{dx}{dt_{t=0}} = V_0 \cos \alpha_0; \quad \frac{dy}{dt_{t=0}} = V_0 \sin \alpha_0;$$

якщо $x \leq 0$, тоді $P_{Ж} > 0$ та $P_M > 0$;

якщо $x > 0$, тоді $P_{Ж} < 0$ та $P_M < 0$;

$$-(x) \leq x \leq (x - r). \quad (32)$$

Тоді система рівнянь (27)–(31) буде:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = & -\frac{k_V m}{m + m_i} \left(\frac{dx(t)}{dt} \right) \times \\ & \times \sqrt{\left(\frac{dx(t)}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy(t)}{dt} + V_n(x, t) \right)^2} + \\ & + \frac{(P_{Ж(x)} + P_{M(x)})}{m + m_i} \times \\ & \times \frac{\frac{dx(t)}{dt}}{\sqrt{\left(\frac{dx(t)}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy(t)}{dt} + V_n(x, t) \right)^2}}; \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 y(t)}{dt^2} = & \frac{mg}{m + m_i} - \frac{k_V m}{m + m_i} \times \\ & \times \left(\frac{dy(t)}{dt} + V_n(x, t) \right) \times \\ & \times \sqrt{\left(\frac{dx(t)}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy(t)}{dt} + V_n(x, t) \right)^2} + \\ & + \frac{(P_{Ж(y)} + P_{M(y)})}{m + m_i} \times \\ & \times \frac{\frac{dy(t)}{dt} + V_n(x, t)}{\sqrt{\left(\frac{dx(t)}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy(t)}{dt} + V_n(x, t) \right)^2}} + \\ & + \frac{m_0 + m_i}{m + m_i} \left(A \omega (\cos(\omega t)) \left(\frac{x}{b} \right)^{\frac{1}{7}} \right). \end{aligned} \quad (34)$$

Відомо, що лінії дії сил $P_{Ж}$ та P_M проходять через центр мас зернини, тоді величина моменту, що діє на зернину, буде визначатися силою аеродинамічного опору та її плечем відносно центра мас. Величина цього плеча $a_{(x)}$ відповідно до (Зуєв, 1979) змінюється за координатою за лінійним законом:

$$a_{(x)} = 0,125 \frac{r(b-x)}{(b-r)}. \quad (35)$$

Тоді зміну кутової швидкості обертання зернини в повітряному потоці можна описати диференціальним рівнянням:

$$\begin{aligned} I \frac{d\omega}{dt} = & 0,0625 k_V m \frac{\pi \rho_0 r^3 (b-x)}{(b-r)} \times \\ & \times \left(A \omega (\cos(\omega t)) \left(\frac{x}{b} \right)^{\frac{1}{7}} - V_x \right)^2. \end{aligned} \quad (36)$$

Розрахунки за рівнянням (36) показують, що за відсутності початкового обертання зернини $\omega_0 = 0$, вона дуже повільно набирає оберти за рахунок градієнта швидкості, тому, за заданої початкової швидкості обертання $\omega_0 = \omega$, функцію $\omega(t)$ можна визначити за спрощеною формулою (Котов & Степаненко, 2020b):

$$\omega(t) = \omega_0 e^{-kt}; \quad (37)$$

де $k = 15 \frac{\mu}{\rho_0 r^3}$ – коефіцієнт динамічної в'язкості повітря.

Розв'язок системи рівнянь (32) та (33) з початковими і граничними умовами отримано чисельним методом у комп'ютерному середовищі MathCAD у вигляді траєкторій руху зернин, які відрізняються масою і коефіцієнтом парусності. На **рис. 2** та **рис. 3** представлені графічні залежності $x(y)$, тобто траєкторії руху зернин, що різняться масою та швидкістю витання за стаціонарного і пульсуючого режиму. Із графіків очевидно, що траєкторій руху зернин із різними значеннями k_V відрізняються, тим самим досягається можливість поділу компонентів за низхідного руху зернин у вертикальному каналі.

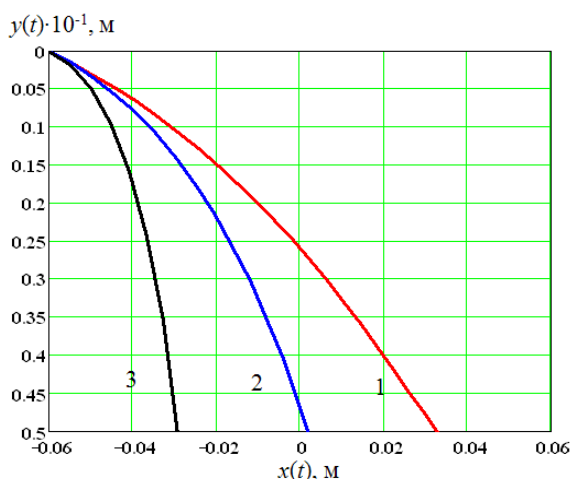


Рис. 2 – Траєкторії руху зернин у стаціонарному нерівномірному потоці повітря:
 1 – $k_V = 0,39$; 2 – $k_V = 0,184$; 3 – $k_V = 0,139$

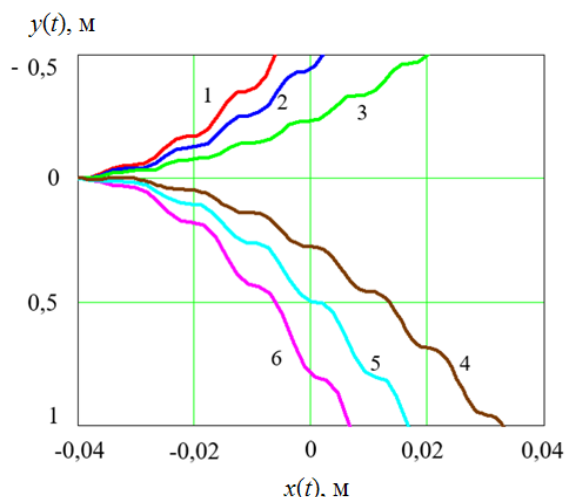


Рис. 3 – Траєкторії руху зернин у пульсуючому нерівномірному потоці повітря:
 1 – $k_V = 0,38$; 2 – $k_V = 0,34$; 3 – $k_V = 0,3$;
 4 – $k_V = 0,18$; 5 – $k_V = 0,13$; 6 – $k_V = 0,06$

Крім того, встановлена можливість впливу дії окремих сил і режимів процесу сепарування на траєкторії зернин, чим можна впливати на ефективність поділу. Із аналізу траєкторій випливає, що дія бічних (поперечних) сил негативно впливає на величину відхилення одна від одної траєкторій зернин, тобто відстань між траєкторіями зменшується. За відсутності дії бічних сил відхилення одна від одної траєкторій зернин збільшується. Таким чином, встановлено, що застосування імпульсного потоку повітря дає можливість

збільшити відхилення одна від одної траєкторій руху зернин.

Для визначення доцільності застосування для пневмогравітаційного фракціонування додаткового пульсуючого потоку повітря в горизонтальному напрямку у наукових працях (Stepanenko & Kotov, 2018a; Stepanenko & Kotov, 2018b; Stepanenko & Kotov, 2019; Кюрчев, 2019; Степаненко, 2021; Степаненко та ін., 2017) пропонується розглянути виключно теоретичний варіант гіпотетичної моделі пневмоканалу, яка представлена на **рис. 4**, в якому відбувається переміщення зернин у вертикальному рівномірному потоці за наявності пульсацій в горизонтальному напрямку. Нехай, потоки повітря рухаються у взаємно перпендикулярних напрямках, а вертикальний потік стаціонарний рівномірний і спрямований проти осі у. Припускаємо, що горизонтальний потік повітря рівномірний у січенні і змінюється з часом за законом:

$$V_n(x) = A\omega(1 + \sin(\omega t)). \quad (38)$$

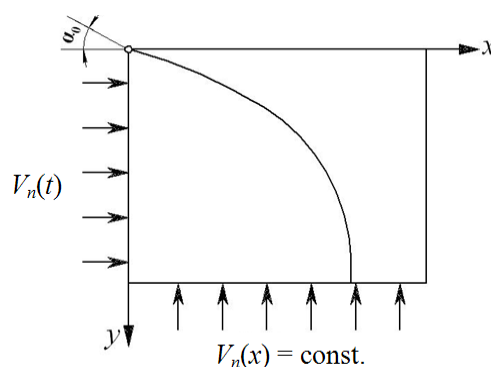


Рис. 4 – Розрахункова схема моделі пневмоканалу

Рух зернин як сферичних тіл із незмінною формою і масою опишемо за допомогою системи диференціальних рівнянь:

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} = -k_{1V} \left(A\omega(1 + \sin(\omega t)) - \frac{dx(t)}{dt} \right) \times \left[\left(A\omega(1 + \sin(\omega t)) - \frac{dx(t)}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy(t)}{dt} + V_n(y, t) \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{m_0 + m_i}{m + m_i} (A\omega \cos(\omega t)); \quad (39)$$

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} = \frac{mg}{m + m_i} - k_{1V} \left(\frac{dy(t)}{dt} + V_n(x, t) \right) \times \left(\left(A \omega (1 + \sin(\omega t)) - \frac{dx(t)}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy(t)}{dt} + V_n(y, t) \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (40)$$

де $k_{1V} = k_V \frac{m}{m + m_i}$; $V_n(y, t)$ – швидкість

висхідного повітряного потоку.

Початкові умови для розв'язування рівнянь (39) та (40):

$$\frac{dx}{dt_{t=0}} = V_0 \cos \alpha_0; \quad \frac{dy}{dt_{t=0}} = V_0 \sin \alpha_0; \quad t = 0; \quad x = x_0; \quad y = 0; \quad (41)$$

де α_0, V_0 – кут і швидкість введення зернин у повітряний канал сепаратора.

Система рівнянь (39) та (40) записана із урахуванням припущення, що сила аеродинамічного опору пропорційна квадрату швидкості обтікання зернини. Розв'язок системи рівнянь (39) та (40) за початкових умов (41) знаходимо числовим методом із використанням комп'ютерного програмного середовища MathCAD.

Результати розв'язування рівнянь (39) та (40) представлені траєкторіями переміщення зернин, що різняться масою і, відповідно, коефіцієнтом k_V . Величина коефіцієнта k_V розраховувалася за співвідношенням:

$$k_V = 0,44 \frac{\rho_0}{\rho_3 d_e} \quad (42)$$

Результати моделювання процесу руху зернин представлені на **рис. 5** та **рис. 6**. За результатами теоретичного аналізу процесу руху частинок зернового матеріалу у вертикальному каналі за умов дії пульсацій повітряного потоку вперше отримано математичний опис, який пов'язує в єдину систему диференціальних рівнянь всі основні технологічні та конструкційні параметри пневматичного сепаратора із вертикальним каналом, дію пульсацій повітряного потоку та

вплив бічних сил на зернину, що дозволяє визначити раціональні межі поділу фракцій зернового матеріалу.

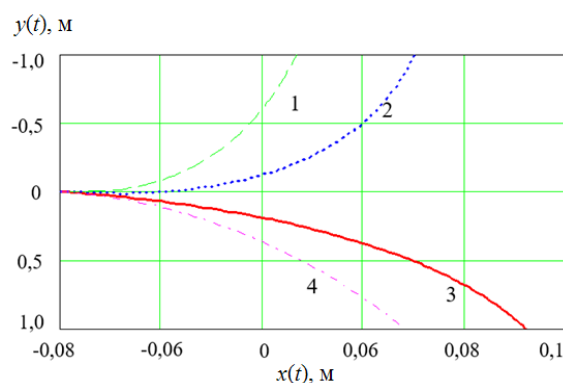


Рис. 5 – Траєкторії руху зернин у висхідному потоці повітря:

1 – $k_V = 0,4$; 2 – $k_V = 0,27$; 3 – $k_V = 0,16$;
4 – $k_V = 0,08$

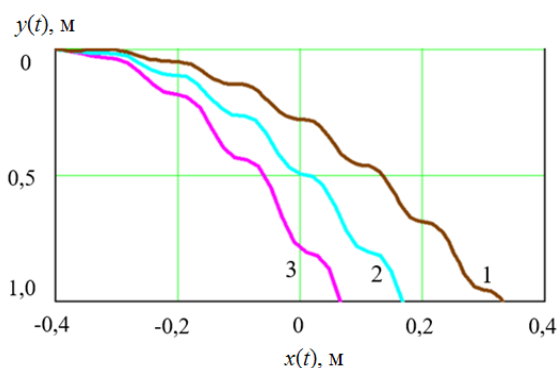


Рис. 6 – Траєкторії руху зернин у висхідному потоці повітря при дії горизонтальних пульсацій:

1 – $k_V = 0,18$; 2 – $k_V = 0,13$; 3 – $k_V = 0,06$

ВИСНОВКИ

Теоретично визначено закономірності руху зернини та вдосконалено математичну модель динаміки руху зернини у вертикальному потоці повітря, яка відрізняється від відомих тим, що враховує нерівномірність поля швидкості, дію бічних сил, концентрацію матеріалу. Застосування імпульсного потоку повітря дозволило збільшити відхилення одна від одної траєкторій руху зернин на 10–15%.

Розв'язок системи диференціальних рівнянь із початковими умовами виконано в комп'ютерному програмному середовищі MathCAD у вигляді траєкторій руху зернин у

вертикальному повітряному потоці, що дозволяє розраховувати їх траєкторії руху, які різняться коефіцієнтами парусності, та визначити параметри пневмогравітаційних сепараторів.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Bulgakov, V., Nikolaenko, S., Holovach, I., Boris, A., Kiurchev, S., Ihnatiev, Ye., & Olt, J. (2020). Theory of motion of grain mixture particle in the process of aspiration separation. *Agronomy Research*, 18(S2), 1177-1188. <https://doi.org/10.15159/AR.20.069>
- Nesterenko, O. V., Leshchenko, S. M., Vasytkovskiy, O. M., & Petrenko, D. I. (2017). Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 53(3), 65-70.
- Piven, M., Volokh, V., Piven, A., & Kharchenko, S. (2018). Research into the process of loading the surface of a vibrosieve when a loose mixture is fed unevenly. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/1(96), 62-70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.149739>
- Rogovskii, I. L., Stepanenko, S. P., Titova, L. L., Trokhaniak, V. I., Solomka, O. V., Popyk, P. S., & Shvidia, V. O. (2019a). Experimental studies on drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 57(1), 141-146.
- Rogovskii, I., Stepanenko, S., Titova, L., Trokhaniak, V., & Trokhaniak, O. (2019b). Experimental study in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera. In *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, 12(61), 1 (pp. 117-128).
- Stepanenko, S. P., & Kotov, B. I. (2018a). Pneumonitis fractionation of grain materials in air streams of variable structure. *An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. ТЕКА*, 18(2), 69-74.
- Stepanenko, S. P., & Kotov, B. I. (2018b). Theoretical research of separation process grain mixtures. *An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. ТЕКА*, 18(3), 49-54.
- Stepanenko, S. P., & Kotov, B. I. (2019). Theoretical research of separation process grain mixtures. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*, 10(4), 137-143. <https://doi.org/10.31548/machenergy.2019.04.147-153>
- Vasytkovskiy, O., Vasytkovska, K., Moroz, S., Sviren, M., & Storozhyk, L. (2019). The influence of basic parameters of separating conveyor operation on grain cleaning quality. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 57(1), 63-70.
- Абдуєв, М. М. (2007). *Обґрунтування параметрів сепаратора з нахиленим повітряним каналом для розділення зернових сумішей (Substantiation of parameters of the separator with the inclined air channel for separation of grain mixes)* [Автореф. дисертації канд. техн. наук]. ХНТУСГ імені П. Василенка, Харків.
- Богатирьов, Д. В. (2005). *Обґрунтування параметрів пневмоімпульсної машини для сепарації насіння за густиною (Substantiation of the parameters of the pneumatic pulse machine for seed separation by density)* [Дисертація канд. техн. наук]. Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград.
- Борщ, Ю. П. (2014). Моделирование динамики расслоенной зерновой смеси в вертикальном канале пневмосепарирующих устройств зерновых сепараторов (*Modeling of dynamics of stratified grain mixture in the vertical channel of pneumoseparating devices of grain separators*). *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*, 152, 128-135.
- Бурков, А. И., & Сычугов, Н. П. (2000). *Зерноочистительные машины. Конструкция, исследование, расчет и испытание (Grain cleaning machines. Design, research, calculation and testing)*. Киров: Изд-во НИИСХ Северо-Восток.
- Гудков, А. Н. (1963). Теоретические положения определяющие режим работы потока воздуха пневматических устройств зерноочистительных машин (*Theoretical provisions defining the mode of robots of the air flow of pneumatic devices of grain cleaning machines*). *Труды Волгоградского СХИ*, 17, 135-146.
- Злочевський, В. Л. (1986). *Интенсификация процесса аэродинамического разделения зерновых материалов (Intensification of the process of aerodynamic separation of grain materials)* [Автореф. диссертации д-ра техн. наук]. СибИМЭ СО ВАСХНИЛ, Новосибирск.
- Зуев, Ф. Г. (1979). *Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях (Pneumatic transportation at grain processing plants)*. Москва: Колос.
- Колодій, О. С. (2015). *Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника (Substantiation of design and technological parameters of pneumatic gravity separator of sunflower seeds)* [Автореф. дисертації канд. техн. наук]. Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Мелітополь.

- Котов, Б. І., & Степаненко, С. П. (2016). Дослідження впливу пульсуючого повітряного потоку на переміщення зерна у віброзрідженому шарі зерносоломистого вороху (*Investigation of the influence of pulsating air flow on the movement of grain in the vibro-liquefied layer of grain straw heap*). *Механізація та електрифікація сільського господарства*, 4(103), 38-46.
- Котов, Б. І. та ін. (2017). *Модельовання технологічних процесів в типових об'єктах післязбиральної обробки і зберігання зерна (очищення, сепарація, сушіння, активне вентильовання, охолодження) (Modeling of technological processes in typical objects of post-harvest processing and storage of grain (cleaning, separation, drying, active ventilation, cooling))*. Національна академія аграрних наук України, Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», Київ, Ніжин: Лисенко М. М. [вид.].
- Котов, Б. І., & Степаненко, С. П. (2020а). Основні теоретичні положення сепарації зернового матеріалу в повітряних каналах з нерівномірною швидкістю повітряного потоку (*The main theoretical provisions of the separation of grain material in air ducts with uneven air flow rate*). *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, 50, 122-133.
- Котов, Б. І., & Степаненко, С. П. (2020b). Математичне моделювання процесів поділу компонентів зернового матеріалу в комбінованому вібраційно-повітряному сепараторі (*Mathematical modeling of processes of separation of components of grain material in the combined vibration-air separator*). *Вібрації в техніці та технологіях*, 2(97), 51-61.
- Кюрчев, С. В. (2019). *Механіко-технологічне обґрунтування післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур (Mechanical and technological substantiation of post-harvest processing and storage of seeds of grain and oilseeds)* [Автореф. дисертації д-ра техн. наук]. ННЦ «ІМЕСГ», Глеваха.
- Ландау, Л. Д., & Лифшиц, Е. М. (1953). *Теорія сплошних сред (Continuum theory)*. Москва.
- Нелюбов, А. О., & Ветров, Е. Ф. (1977). *Пневмосепаруючі системи сільськогосподарських машин (Pneumatic separation systems of agricultural machines)*. Москва: Машиностроение.
- Нестеренко, О. В. (2017). *Обґрунтування параметрів пневмосепаруючого каналу з багаторівневим введенням зернового матеріалу (Substantiation of the parameters of the pneumatic separating channel with multilevel introduction of grain material)* [Автореф. дисертації канд. техн. наук]. Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький.
- Петренко, Н. Н., Марченко, І. В., & Марченко, К. Н. (2002). О возможности использования пульсирующего воздушного потока для воздушно-решетной очистки зернового вороха (*The possibility of using a pulsating air flow for air-screen cleaning of a grain heap*). *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, 32, 117-121.
- Степаненко, С. П. (2021). *Механіко-технологічне обґрунтування процесів і обладнання безрешітного фракціонування зернових матеріалів (Mechanical and technological substantiation of processes and equipment of lattice fractionation of grain materials)* [Автореф. дисертації д-ра техн. наук]. ННЦ «ІМЕСГ», Глеваха.
- Степаненко, С. П., & Котов, Б. І. (2018а). Дослідження закономірностей руху компонентів зернового матеріалу під час пневмогравітаційного фракціонування у вертикальному каналі (*Investigation of regularities of movement of grain material components during pneumogravity fractionation in vertical channel*). *Механізація та електрифікація сільського господарства*, 7(106), 82-89.
- Степаненко, С. П., & Котов, Б. І. (2018b). Основні концептуальні положення пневматичного фракціонування зернових матеріалів (*Basic conceptual provisions of pneumatic fractionation of grain materials*). *Механізація та електрифікація сільського господарства*, 8(107), 80-88.
- Степаненко, С. П., Котов, Б. І., & Спірін, А. В. (2017). До питання математичного опису руху вимолоченого насіння в кільцевому каналі змінного перерізу (*Mathematical description of the movement of threshed seeds in the annular channel of variable cross section*). *Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Серія: Механізація сільськогосподарського виробництва*, 180, 330-339.

AGRO-ECOLOGICAL ASPECTS OF MINING AND USE OF SAPROPEL

I. Tsiz*, S. Khomych, V. Satsiuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES

AM
СМ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

World freshwater reserves make up 2.5% of the world's total water supply. Ukraine ranks one of the last in Europe in terms of fresh water reserves per capita. For the normal functioning of the ecological system, the population should not use all water supplies, but only the annually renewed runoff. Lakes are the most accessible sources of water for economic needs. Due to the processes of eutrophy, lakes turn into swamps. These processes have been particularly intense in recent decades due to human economic activity. In world practice, the use of a wide range of methods for the restoration of freshwater lakes is known. The most radical and effective is the removal of accumulated deposits. But this method is at the same time the most expensive. You can increase the efficiency of this method by using the mining deposits in various industries. The most valuable type of freshwater lake sediment is organic sapropel. Research on the effect of sapropel fertilizers on soil fertility has been conducted for many years. Analysis of such studies shows that the effect of sapropel on soil fertility is significant and complex. It is manifested in the impact on all components of soil fertility. Especially bright effect is observed on sandy and loamy soils where its powerful influence on structure and mechanical structure of soil is shown. Therefore, sapropel is generally an environmentally friendly organic and mineral raw material that improves and enhances soil structure, as well as is a quality source of humus replenishment. These factors together ensure the preservation and improvement of soil fertility. Thus, the restoration of «dead» and silted lakes should be carried out by removing sediments. Further use of sapropel deposits for soil fertilization provides the formation of a closed ecological cycle with the support of a rational cycle of substances within a specific ecological system. This approach creates the conditions for the transition to a more advanced biogeocenotic basis of nature management.

Key words:

freshwater lake,
lake restoration,
bottom sediments,
use of sapropel,
soil fertility

Article history:

Received 09.11.2021

Accepted 05.12.2021

***Corresponding author:**

tsizigor@lutsk-ntu.com.ua

DOI: 10.36910/acm.vi47.625

To cite this article:

Tsiz, I., Khomych, S., & Satsiuk, V. (2021). Agro-ecological aspects of mining and use of sapropel. *Agricultural Machines*, 47, 37-45. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.625>

УДК 631.4

**АГРО-ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДОБУВАННЯ
ТА ВИКОРИСТАННЯ САПРОПЕЛЮ****І.Є. Цизь*, С.М. Хомич, В.В. Сацюк***Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна*

AGRICULTURAL MACHINES

**А
С М М**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Світові запаси прісної води складають 2,5% загального водного ресурсу. Україна за запасами прісної води, які припадають на одну людину, посідає одне з останніх місць у Європі. Для нормального функціонування екологічної системи населення повинно використовувати не усі запаси води, а лише щорічно відновлюваний стік. Озера є найбільш доступними джерелами води для господарських потреб. Через процеси евтрофії озера перетворюються на болота. Особливо інтенсивно ці процеси відбуваються в останні десятиріччя через господарську діяльність людини. У світовій практиці відоме застосування різних методів для відновлення прісноводних озер. Найбільш кардинальним та ефективним методом є видалення накопичених відкладів. Але такий метод є у той же час і найбільш затратним. Підвищити ефективність вказаного методу можна шляхом використання добутих відкладів у різних галузях виробництва. Найбільш цінним видом відкладів прісноводних озер є органічний сапропель. Протягом багатьох років ведуться дослідження із впливу сапропелевих добрив на родючість ґрунту. Аналіз цих досліджень показує, що вплив сапропелю на родючість ґрунту є значним та комплексним. Особливо яскравий ефект спостерігається на піщаних і супіщаних ґрунтах, де проявляється його потужний вплив на структуру та механічний склад ґрунту. Тому сапропель загалом є екологічно чистою орґано-мінеральною сировиною, яка вдосконалює і покращує структуру ґрунту, а також є якісним джерелом поповнення гумусу. Ці фактори у сукупності забезпечують збереження та покращення родючості ґрунту. Таким чином, відновлення «мертвих» і замулених озер та використання добутих сапропелевих покладів забезпечує формування замкнутого екологічного циклу із підтримкою раціонального кругообігу речовин у межах конкретної екологічної системи. Цей підхід створює умови до переходу на більш досконалу біогеоценотичну основу природокористування.

Ключові слова:

прісноводне озеро,
відновлення озер,
донні відклади,
використання сапропелю,
родючість ґрунту

Історія публікації:

Отримано 09.11.2021

Затверджено 05.12.2021

***Автор для листування:**

tsizigor@lutsk-ntu.com.ua

DOI: 10.36910/acm.vi47.625

Цитувати цю статтю:

Цизь, І. Є., Хомич, С. М., & Сацюк, В. В. (2021). Агро-екологічні аспекти добування та використання сапропелю. *Сільськогосподарські машини*, 47, 37-45. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.625>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Наявні у загальному доступі статистичні дані свідчать, що світові запаси прісної води складають 2,5% загального світового запасу води, із яких лише 0,013% – у водних ресурсах. Також відомо, що найбільш доступними джерелами чистої води для господарських потреб є озерні водойми. У той же час Україна за запасами прісної води, які припадають на одну особу, посідає одне з останніх місць у Європі. Тому для України особливо важливою є проблема боротьби з евтрофією озер, оскільки гідросфера єдина і в подальшому процеси забруднення можуть поширитися на ґрунтові води та підземні води. Для нормального функціонування екологічної системи населення повинно використовувати не усі запаси води, а лише щорічно відновлюваний стік. У розвинутих країнах (США, Німеччина, Швейцарія, країни Балтії і інших) постійно здійснюється низка заходів з покращання використання водних ресурсів, серед яких важливе місце належить охороні та відновленню природних водойм, як джерел питної води і одного з найважливіших компонентів системи регулювання стоку.

За даними *Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) (1982)* евтрофікацією визначено «надмірне збагачення поживними речовинами води, що призводить до стимулювання сукупності небажаних симптоматичних змін, серед яких небажане розмноження водоростей та інших водних макрофітів, погіршення якості води, проблеми з її смаком і запахом та загибель риби. Кожна з цих змін істотно заважає використанню людьми водних ресурсів» (*Kimberly et al., 2016*).

Завдячуючи властивості самоочищення озера можуть лишатися чистими протягом тисячоліть. Однак, ця властивість не є безмежною. За значних перевантажень води забруднюючими речовинами редуценти не справляються із ними, що призводить до накопичення важкоокислюваних речовин на дні водоймища і погіршення якості води.

Процес евтрофії тісно пов'язаний із накопиченням органічних речовин в озерах. Зараз зрідка можна зустріти озера з чистою прозорою водою, з низьким розвитком органічних форм життя – це оліготрофні водойми. Значно поширенішими є озера з

багатим поживним середовищем для рослинних і тваринних організмів, що у них мешкають. Це евтрофні озера. І останньою стадією є так звані «мертві» озера, тобто озера, які перетворилися або перебувають на шляху перетворення в болото.

У будь-якому озері відбувається накопичення органічних речовин, оскільки внаслідок відмирання водорості постачають у воду озера азот та фосфор, які є поживним середовищем для нового їх покоління. Крім того, фосфор стимулює ріст фітопланктону, який, у свою чергу, виділяє речовини, що стимулюють ріст водоростей. Таким чином, через прогресуючий характер цих процесів відбувається невідворотне перетворення оліготрофних водойм в евтрофні. Але в цьому випадку визначальну роль відіграє період цих перетворень. Поряд із накопиченням мінеральних та органічних речовин в озерах спостерігаються процеси розкладення. Органічні речовини розкладаються до CO_2 та H_2O . Мінеральні речовини та фосфати виводяться у вигляді малорозчинних сполук (*Лопотко, 1978*). Надходження речовин зі стоком може частково перекиватися їх виносом, якщо озеро проточне, а за достатньої глибини ці процеси можуть бути взаємооберненими. У таких випадках природна евтрофія може відсуватися на сторіччя і навіть тисячоліття.

Господарська діяльність людини (осушення боліт, вирубування лісів, збільшення сільськогосподарських стоків та промислових стоків) прискорює процеси евтрофії. Так, мілководні озера заповнюються відкладами і перетворюються на болота на очах одного-двох поколінь людей. Серед факторів, що впливають на розвиток процесів евтрофії озер, найбільше значення мають надходження зі стічними водами фосфору та органічних речовин. Це призводить до збагачення водойм багатьма елементами живлення і прогресуючого розвитку в озерах рослинних організмів, а особливо синьо-зелених водоростей.

Геохімічний фосфор відноситься до числа мало поширених елементів земної кори і тому кількість фосфору, що вививається з породи водою у межах водозабору, не є достатньою, щоб викликати евтрофію озера. Крім того, хімічний фосфор порівняно легко виводиться із води, осідаючи у вигляді малорозчинного

$Fe_2(PO_4)_3$ (Лопотко, 1978). Підвищений вміст фосфору у воді озера може бути пов'язаний тільки з надходженням сільськогосподарських та побутових стоків.

Нераціональне використання внесених доз мінеральних добрив сприяє винесенню поживних речовин із ґрунту стічними водами і надходження їх до озер. Так, за даними науковців надходження у стоках фосфору з удобрюваних полів у 300 разів перевищує його надходження із ділянок вкритих лісом. Ще більші дози фосфору містяться в стоках, які надходять із тваринницьких ферм. Так, в рідині, яка надходить з відгодівельних майданчиків, у 75 разів більше фосфору, ніж у стоках дощової води з оброблюваних полів (Шевчук, 1996).

Серйозну небезпеку для водойм становлять синтетичні миючі засоби, які містять фосфати. У деяких пральних порошках кількість розчинного у воді триполіфосфату досягає 40%. Сполуки фосфору, потрапляючи у водойми, спричиняють бурхливий розвиток синьо-зелених водоростей. Тому, в усьому світі ведуться активні пошуки замінників фосфатів у миючих засобах. Синьо-зелені водорості відіграють суттєву роль в евтрофії озер. Вони мають низку біологічних властивостей, які дозволяють їм отримувати перемогу у боротьбі за існування з іншими формами життя. Так, синьо-зелені водорості чудово себе почувають у воді системи охолодження атомних реакторів. В евтрофних водоймах літом можна спостерігати величезні колонії цих водоростей, тобто так зване «цвітіння» води. Від водойми, де розвиваються синьо-зелені водорості, надходить неприємний запах. Таким чином, постає питання у відшуканні шляхів вирішення посталої проблеми. До найбільш ефективних шляхів необхідно віднести відпрацювання замкнених екологічних циклів із підтримкою раціонального кругообігу речовин у межах конкретної екологічної системи. Цей підхід створює умови для переходу на більш досконалу біогеоценологічну основу природо-користування. Саме в рамках цієї системи доцільно розглядати проблему відновлення «мертвих» і замулених озер та господарське використання накопичених відкладів, оскільки лише за цього підходу можуть бути отримані результати із найвищим еколого-економічним ефектом.

Мета дослідження – аналізування і систематизування досліджень та практичного досвіду у галузі відновлення прісноводних озер, а також розкриття механізму впливу сапропелю на родючість ґрунтів.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Аналізування та систематизування науково-технічної інформації з питань відновлення прісноводних озер та використання сапропелю для збереження та покращення родючості ґрунтів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

У світовій практиці відомі різні способи відновлення прісноводних озер. У аналітичному дослідженні (Kimberly et al., 2016) запропоновано способи відновлення озер розділити на три групи: 1 – біологічна та екологічна інженерія; 2 – фізична інженерія; 3 – хімічна дія.

До біологічної та екологічної інженерії відносяться (Kimberly et al., 2016): біоманіпуляція (випас водоростей великим зоопланктоном, наприклад Дафнією); плавуче оздоровлення болотних угідь, яке передбачає використання таких первинних механізмів видалення поживних речовин, як мікробна трансформація та поглинання, асиміляція макрофітів, поглинання в органічні та неорганічні субстратні матеріали, випаровування; видалення макрофітів.

Фізична інженерія передбачає (Kimberly et al., 2016): гіполімнетичне видалення (видалення води насиченої поживними речовинами); розведення та промивання (додавання води із низьким вмістом поживних речовин); аерацію та оксигенізацію гіполімнетичних шарів води (насичення киснем найглибших і найхолодніших шарів води в озері); штучну циркуляцію (ця циркуляція використовується для запобігання або усунення термічного розшарування); днопоглиблення та видалення осаду (забезпечує контроль як водоростей, так і макрофітів, а також може обмежувати внутрішнє надходження поживних речовин, зокрема збагачений шар осаду або відкладень).

Хімічна дія передбачає (Kimberly et al., 2016): інактивацію та ізоляцію фосфору (внутрішнє надходження фосфору може контролюватися додаванням солей алюмінію у

товщу води); окислення осаду (окислення осаду за рахунок посиленої денітрифікації призводить до поліпшення комплексоутворення із залізом); використання альгіцидів (зазвичай, використовується в попередніх системах санації озер та водосховищах, що страждають від біомаси водоростей).

Також у дослідженні (Kimberly et al., 2016) проаналізовані конкретні приклади реалізації кожного із описаних способів відновлення озер та економічні затрати пов'язані із цим. На основі наведених у дослідженні (Kimberly et al., 2016) матеріалів можна зробити висновок, що у світовій практиці відновлення прісноводних озер шляхом днопоглиблювальних робіт та видалення осаду не набуло поширення. Основним стримуючим фактором у цьому плані є висока вартість виконуваних робіт. Проте, у деяких країнах проводяться успішні дослідження, які дозволяють забезпечити відновлення прісноводних озер саме способом днопоглиблення, завдяки отриманню додаткового економічного ефекту від використання добутих донних відкладів. Ці дослідження були започатковані у другій половині ХХ сторіччя. На сьогоднішній час над цією проблемою активно працюють науковці Білорусі, Латвії, Литви, України, РФ,

Болгарії (Baksiene et al., 2015; Koutev et al., 2004; Stankevica et al., 2013; Stankevica et al., 2014; Stankevica et al., 2016; Žvironaitė et al., 2002). У вказаних дослідженнях більше уваги приділяється впливу сапропелю на родючість ґрунту загалом та зміну його агрофізичних властивостей зокрема (Bakšienė & Ciūnys, 2012; Baksiene et al., 2011; Baksiene et al., 2015; Koutev et al., 2004; Stankevica et al., 2016), впливу на здатність мінімізувати процес міграції шкідливих елементів із ґрунту до рослин (Stankevica et al., 2013; Stankevica et al., 2014), а також загальному оцінюванню покладів (Žvironaitė, 2002).

Ураховуючи зазначене вище, можна зробити висновок, що найбільш кардинальним і ефективним методом боротьби з евтрофією озер є днопоглиблення та видалення донних відкладів, що, у свою чергу, вимагає розроблення ефективних способів добування та утилізації сапропелів.

Способи та засоби добування сапропелів необхідно розробляти та застосовувати із урахуванням стадії евтрофії озера, його розмірів та типу сапропелю, господарської цінності прибережних земель. Схема раціонального обігу речовин в агрогідрологічній системі представлена на рис.



Рис. – Схема раціонального обігу речовин в агрогідрологічній системі (Дідух & Цизь, 2005)

Сапропелі давно привертають увагу вчених і практиків як цінна органічна сировина для використання в різноманітних галузях господарства. Особливо це стосується аграрного сектору. Розроблені технології виробництва на основі сапропелів поживних ґрунтів та компостів, органо-мінеральних добрив, біостимуляторів росту, кормових добавок для відгодівлі тварин. Перспективним є використання сапропелів у будівництві, геології, парфумерії, металургії та медицині.

Розглянемо значення використання сапропелю для збереження та відтворення родючості ґрунтів. Визначальними чинниками у втраті показників родючості ґрунтів є процеси: зменшення запасів гумусу та мінеральних макро- та мікроелементів, недотримання правил обробітку ґрунту та нехтування внесенням добрив (особливо органічних) тощо; забруднення ґрунту шляхом накопичення в ньому різних токсичних елементів, спричинене недотриманням науково-обґрунтованих сівозмін, надлишком раніше внесених хімічних засобів тощо; процеси ерозії, що викликані сільсько-господарською діяльністю людини (винесення дрібнозему з урожаєм коренебульбоплодів: внаслідок недосконалої технології збирання урожаю з кожного гектара ріллі щороку виноситься понад 700 кг поживних речовин) тощо (Назаренко, 2006; Охорона ґрунтів, 2019). Дослідження науковців у цьому напрямі засвідчують, що в результаті вказаних процесів за 110 років (1881–1991 рр.) у ґрунтах України вміст гумусу знизився майже на третину (з 4,2% до 3,2%). Оновлені дані вказують на зниження цього показника до 3,0% і нижче (Шевчук, 1996; Назаренко та ін., 2006; Охорона ґрунтів, 2019).

Потенціал сапропелів як альтернативного джерела органічної речовини для збереження та відтворення родючості ґрунтів загалом по Україні становить 140 млн т (у перерахунку на 60% вологість). Поклади цього ресурсу у водоймах Волинської області складають 65 млн т (Шевчук, 1996).

У Поліській частині Волинської області розташовані переважно дерново-підзолисті ґрунти, які характеризуються низькою природною родючістю, тому внесення добрив, особливо органічних, є визначальним фактором в отриманні високих урожаїв. Тому, саме для цього регіону великим резервом

підвищення родючості ґрунтів є використання в якості органічних добрив сапропелів (Шевчук, 1996).

Сапропелі – це природні органічні відкладення, які складаються переважно із відмерлих залишків водних організмів і продуктів їх розкладу: водоростей, риб, тварин, комах, а також інших решток та решток, які потрапляють до води із суші. Характерною відмінністю сапропелевих покладів від торфу є їх формування за недостатньої кількості кисню або за повної його відсутності (Ліштван та ін., 1991; Лопотко, 1978; Лопотко та ін., 1992; Хохлов та ін., 1986; Шевчук, 1996; Sorterberg, 1976; Stankevica et. al., 2016). Таким чином, вирішення посталої проблеми відновлення евтрофних озер може забезпечити значний позитивний ефект за рахунок використання сапропелів у сільськогосподарському виробництві загалом та у рослинництві зокрема. Особливу увагу необхідно звернути на використання сапропелів з метою збереження та відновлення родючості ґрунтів.

Взаємозв'язок факторів, які формують родючість ґрунту, Грінченко О.М. зобразив шестикутником, у кожному з кутів якого розташовано один із чинників: гумус; гранулометричний склад; будова профілю і щільність; хімічний склад; структура; водно-повітряний і температурний режими; рослинність і мікробіологічна активність. Усі чинники взаємопов'язані та у сукупності і взаємодії забезпечують показники родючості ґрунту (Назаренко та ін., 2006).

Особливістю озерних сапропелів є вплив на всі фактори формування родючості ґрунту. Тому проаналізуємо на основі відомих досліджень механізм впливу сапропелів на зазначені вище фактори родючості ґрунту. Як уже зазначалося, сапропелі є продуктом розкладу органічних решток, рослин, тварин і інших речовин, а також до їх складу входять гумусові частинки, які потрапляють до водойм з суші через вітрову та водну ерозії. Завдяки цьому, під час внесення в ґрунт, сапропель є цінним матеріалом, що доповнює, вдосконалює та відтворює складову органічної частини якісних гумусових речовин. Сапропель забезпечує швидку активізацію процесу утворення гумусу в ґрунті.

До складу сапропелю входять практично всі макро- та мікроелементи живлення рослин,

а також ферменти, антибіотики, вітаміни, що і забезпечує формування певного резерву поживних та фізіологічно активних речовин. Безпосередній вміст органічної речовини у сапропелі знаходиться у межах від 15% до 94,3% на суху речовину та залежить від його типу (Шевчук, 1996). У цьому середовищі продовжують протікати біо-фізико-хімічні процеси перетворення органічних залишків у специфічні органо-мінеральні сполуки. Ці сполуки, перебуваючи у капілярно-колоїдному згуслому стані, забезпечують формування гумусу ґрунтом (Назаренко та ін., 2006).

Для формування оптимальних показників родючості ґрунту найбільш важливою є грудкувато-зерниста його структура (Мольчак та ін., 1998). Формування цієї структури ускладнене на піщаних та супіщаних ґрунтах зони Полісся. Для цього потрібні своєрідні «клеючі» елементи, які забезпечать формування агрегатів різної величини, форми та якісного складу. За дослідженнями науковців відомо, що у фракціях сапропелю в діапазоні розмірів частинок 0,01–0,001 мм знаходиться найцінніша його частина – окиси заліза, алюмінію, марганцю, каолін, фосфати і інші, які мають цементуючі властивості, пластичність, липкість та здатність набухати. Ці властивості сапропелю у поєднанні із ґрунтом, особливо піщаним та супіщаним, забезпечують формування грудкувато-зернистої структури (Мольчак та ін., 1998; Шевчук, 1996). Природа цього явища також підтверджується дослідженнями, згідно яких завдяки вмісту мулистої фракції формується зв'язність ґрунту. Частинки, сформовані у вологому стані із всіх груп механічних елементів, після висихання розсипаються від найменшого навантаження. Лише у випадку досягнення подрібнення частинок до розміру 0,001 мм відбувається стрибкоподібне зростання зв'язності (Мольчак та ін., 1998; Шевчук, 1996; Томин & Фомин, 1964).

Під час внесення сапропелю в ґрунт миттєво підвищується вміст широкої гамми хімічних мікроелементів та органічних сполук. Серед цих елементів особливу роль у формуванні гранулометричного складу ґрунту відіграють хімічні мікроелементи, що містяться у сапропелі (азот, кальцій, кремній, фосфор, калій, цинк, молібден, кобальт, залізо), а також органічні сполуки та біологічно активні речовини (α - та β -каротин,

хлорофіл, пігменти, білки, вуглеводи, вітаміни В, С, Е, амінокислоти, гумінові кислоти, фульвокислоти тощо) (Ліштван та ін., 1981).

У розрізі наведеного фактору родючості ґрунту необхідно звернути увагу на коагуляційну здатність сапропелю. Процес коагуляції проявляється у взаємодії двох колоїдних частинок, які мають протилежні заряди, що і забезпечує їх взаємне з'єднання у пористі зерна (коагуляцію колоїдів гумусу та колоїдів сапропелю). Утворені зерна, у свою чергу, формують пастоподібну речовину, що дуже важливо для формування структури ґрунту. Сапропель сприяє формуванню пористих та вологостійких агрегатів ґрунту. Утворені у цей спосіб агрегати стійкі до впливу води та силової дії під час механізованого обробітку ґрунту (Мольчак та ін., 1998). Отже, сапропель, завдяки своїй дисперсній будові, забезпечує формування структури ґрунту, що, у свою чергу, відіграє значну роль у формуванні сприятливих умов для рослинної і мікроорганічної активності ґрунту, сприяє розвитку мікроорганізмів та у сукупності формує складову родючості.

Структура та механічний склад ґрунту мають безпосередній вплив на будову його профілю, а, отже, на щільність та пористість. Schuurman J., Mesweeney K., Jansen I., Медведєв В.В. та інші зазначають, що у результаті переущільнення ґрунтів зменшується вміст вологи та елементів живлення в одиниці об'єму, погіршується проростання насіння, обмежується ріст коренів, зменшується доступність вологи та забезпеченість повітрям. Сприятливі умови для сільськогосподарських культур складаються тоді, коли простір пор гармонійно розподілений і містить достатню кількість вологи та повітря. Саме із збільшенням в ґрунті органічних добрив формується середовище структурних крупних і дрібних пор (Назаренко та ін., 2016).

Щільність ґрунту змінюється залежно від мінералогічного та гранулометричного складу ґрунту, його структурного стану, вмісту органічної речовини, обробітку тощо (від 0,8–1,2 г/см³ – для верхніх горизонтів та до 1,3–1,6 г/см³ – для нижніх). Дослідженнями Меєровського А.С., Виновця Г.В. встановлено, що внесення сапропелів та сапропелегноєвих компостів у співвідношенні (1:1) у середніх та максимальних дозах помітно

знижує щільність ґрунту на глибинах 20, 25 та 30 см. Дослідження проводилися на дерново-підзолистих ґрунтах. Науковці обґрунтовують це зниження механічною розпушувальною дією добрив, яка зумовлена нижчою щільністю їх твердої фази та нижчою об'ємною масою (*Лопотом та ін., 1983*). У той же час зменшення щільності забезпечує зростання пористості ґрунту.

Позитивний вплив сапропелів та сапропелевих добрив на водно-повітряний і температурний режим виявлено у дослідженнях багатьох вчених. Під час внесення сапропелю в ґрунт спостерігається сприятлива його дія на водно-фізичні властивості, зокрема збільшення повної та капілярної вологості, вологоутримуючої здатності та вологості верхнього горизонту. У працях (*Ліштван та ін., 1981; Шевчук, 1996; Baksienė et. al., 2011; Bakšienė & Cīņnys, 2012*) зазначено, що величина покращення водно-фізичних властивостей ґрунту залежить як від кількості внесених сапропелевих добрив, так і від їх якості (хіміко-механічного складу).

Позитивну дію сапропелевих добрив на водний режим ґрунту також виявили у своїх експериментальних дослідженнях Томин Є.І., Фомин А.І., Bakšienė E., Cīņnys A., (*Фомин, 1969; Томин & Фомин, 1964; Baksienė et. al., 2011; Bakšienė & Cīņnys, 2012*). У результатах досліджень *Шевчука (1996)* встановлено, що внесення органічного сапропелю на супіщаних ґрунтах у нормі 60–80 т/га забезпечує зростання шпаруватості та аерації ґрунту, а також спостерігається зростання продуктивної вологості в 1,6–2,0 рази у шарі 0–30 см.

Вміст газів у ґрунті тісно пов'язаний із його гранулометричним складом та ступенем структурованості. Експериментальними дослідженнями встановлено, що внесення сапропелю у кількості 50–60 т/га сприяє підвищенню шпаруватості та аерації ґрунту, тобто повітроємності міжагрегатних пор (*Лопотко та ін., 1992; Лопотом та ін., 1983*).

Процес утворення гумусу ґрунту за своєю природою є біохімічним процесом, при цьому виняткову роль відіграють присутні мікроорганізми. Саме завдяки внесенню сапропелю значно підвищується вміст мікроорганізмів у ґрунті, адже у кожному грамі сухої речовини сапропелю міститься в межах від 5 тис до 11 млн мікроорганізмів. Це, в свою чергу, також чинить позитивний вплив

на водну та повітряну проникність ґрунту, збільшує його шпаруватість, покращує структуру та обмін мікроелементів (*Лопотко та ін., 1992; Лопотом та ін., 1983; Baksienė et. al., 2015; Žvironaitė et. al., 2002*).

Результати експериментальних досліджень показують, що внесення 80 т сапропелю із вологістю 60% за своєю прямою дією та післядією еквівалентне внесенню 60 т підстилкового гною. Використання сапропелів як основи для компостів із гноем ВРХ, пташиним послідом, вапном, аміачною водою тощо, а також у складі гранульованих органіко-мінеральних добрив, у вигляді гумінових препаратів помітно збільшує урожайність та зменшує об'єми внесення (*Ліштван та ін., 1981; Лопотом та ін., 1983; Хохлов та ін., 1986; Шевчук, 1996; Baksienė et. al., 2015; Bakšienė & Cīņnys, 2012*).

Сапропель та добрива на його основі відрізняються пролонгованістю дії. Позитивний вплив цих добрив проявляється у багаторічній післядії елементів органіко-мінерального комплексу та забезпеченні позитивного балансу родючості за умови застосування науково-обґрунтованих сівозмін (*Ліштван та ін., 1981; Хохлов та ін., 1986; Шевчук, 1996; Bakšienė & Cīņnys, 2012; Žvironaitė et. al., 2002*).

ВИСНОВКИ

Підсумовуючи необхідно зазначити, що найбільш кардинальним та ефективним методом відновлення «мертвих» та замулених прісноводних озер є днопоглиблення та фізичне видалення накопичених відкладів. Відомі дослідження підтверджують доцільність використання добутих відкладів (сапропелю) у сільськогосподарському виробництві. Вплив сапропелю на родючість ґрунту є значним та комплексним. Особливо яскравий ефект спостерігається на піщаних і супіщаних ґрунтах, де яскраво проявляється його вплив на структуру та механічний склад ґрунту. Сапропель є екологічно чистою органіко-мінеральною сировиною, яка вдосконалює і покращує структуру ґрунту, а також є якісним джерелом поповнення гумусу. Ці фактори у сукупності забезпечують стійке зростання родючості ґрунту. Переведення сільськогосподарського виробництва на бігеоценотичну основу з метою максимального наближення до законів функціонування

природних екосистем дозволить відновити «мертві» і замулені озера та отримати додатковий прибуток у формі збереженої та покращеної родючості ґрунтів.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Baksiene, E., Asakaviciute, R., Romanovskaja, D., Tripolskaja, L., & Razukas, A. (2015). The influence of lake sediments on sandy loam soil properties and crop yield. *Romanian Agricultural Research*, 32.
- Bakšienė, E., & Ciūnys, A. (2012). Dreging of lake and application sapropel for improvement of light soil properties. *Journal of Environment Engineering and Landscape Management*, 20(2), 97-103.
- Baksiene, E., Razukas, A., & Romanovskaja, D. (2011). The application of sediments for the improvement of sandy loam soil properties. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9(2), 601-606.
- Koutev, V., Niebaum, G., & Sinaj, S. (2004). Investigations on the fertilizing capacity of bottom sediments from eutrophicated lake. In *Nutrient and carbon cycling in sustainable plant-soil systems. Sustainable organic waste management for environmental protection and food safety* (pp. 105-108).
- Lewtas, K., Roy, D., & Paterson, M. (2016). Manitoba prairie lakes: In-lake remediation treatment summary. International Institute for Sustainable Development (IISD). Retrieved September 6, 2021, from <https://www.iisd.org/publications/manitoba-prairie-lakes-lake-remediation-treatment-summary>
- Stankevica, K., Burlakovs, J., & Klavins, M. (2013). Organic rich freshwater sediments (sapropel) as potential soil amendment for recultivation of areas contaminated with heavy metals. In *GeoConference on Water Re-sources, Forest, Marine and Ocean Ecosystems* (pp. 595-601). <https://doi.org/10.5593/SGEM2013/BC3/S13.016>
- Stankevica, K., Vincevica-Gaile, Z., & Klavins, M. (2014). Influence of sapropel (gyttja) on trifolium pratense seeds germination in presence of copper. In *SGEM 2014 GeoConference Proceedings on Soils, Forest Ecosystems, Marine & Ocean Ecosystems*, 2, 175-182.
- Stankevica, K., Vincevica-Gaile, Z., & Klavins, M. (2016). Freshwater sapropel (gyttja): Its description, properties and opportunities of use in contemporary agriculture. *Agronomy Research*, 14(3), 929-947.
- Sorterberg, A. (1976). Yield and phosphorus uptake. *New Ideas and Technologies in Utilization Peatlands and Peat*, 5, 7-14.
- Žvironaitė, J., Ciūnys, A., & Gerdžiūnas, P. (2002). Ežerų valymo produkto – sapropelio panaudojimo galimybių tyrimai. *Aplinkos Inžinerija*, 10(4), 168-175.
- Дідух, В. Ф., & Цизь, І. Є. (2005). Особливості сільськогосподарського виробництва зони Полісся (*Features of agricultural production in the Polissya zone*). *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, 35(1), 96-100.
- Лиштван, И. И., Лопотко М. З., Бамбалов И. И. и др. (1981). *Проблемы использования сапропелей в народном хозяйстве (Problems of using sapropels in the national economy)*. Минск: Наука и техника.
- Лопотко, М. З. (1978). *Озера и сапропель (Lakes and sapropel)*. Минск: Наука и техника.
- Лопотко, М. З., Евдокимова, Г. А., & Кузьмицкий, П. Л. (1992). *Сапропели в сельском хозяйстве (Sapropels in agriculture)*. Москва: Наука и техника.
- Лопотом, М. З., Евдокимова, Г. А., Кузьмицкий, П. Л., & Букач, О. М. (1983). *Сапропелевые удобрения (Sapropel fertilizers)*. Минск: Наука и техника.
- Мольчак, Я. О., Мельничук, М. М., Андрощук, І. В., & Заремба, В. М. (1998). *Деградація ґрунтів та шляхи підвищення їх родючості (Soil degradation and ways to increase their fertility)*. Луцьк: Надтир'я.
- Назаренко, І. І., Польчина, С. М., Дмитрук, Ю. М. та ін. (2006). *Ґрунтознавство з основами геології (Soil science with the basics of geology)*. Чернівці: Книги XXI.
- Охорона ґрунтів (*Soil protection*). (2019). В *Зб. наук. пр. ДУ «Держґрунтохорона». Моніторинг ґрунтів як невід'ємна частина моніторингу довкілля: матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф.* (С. 190).
- Томин, Е. Д., & Фомин, А. И. (1964). Сапропель, его добыча и использование в сельском хозяйстве (*Sapropel, its mining and use in agriculture*). Ярославль: Верхневолжское книжное изд.
- Фомин, А. Н. (1969). *Технология добычи местных удобрений (Technology of mining of local fertilizers)*. Москва: Высшая школа.
- Хохлов, В. И., Фомин, А. И., & Шилова, Н. А. (1986). *Применение сапропелей на удобрение (Application of sapropels on fertilizer)*. Москва: Россельхозиздат.
- Шевчук, М. Й. (1996). *Сапропелі України: запаси, якість та перспективи використання (Sapropels of Ukraine: stocks, quality and prospects of use)*. Луцьк: Надтир'я.

ANTHROPOGENIC IMPACT ON RECREATIONAL POINTS OF FORESTS OF VOLYN REGION

N. Kovalchuk*, A. Herasymchuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES



ABSTRACT

The most effective way to restore a person's psychological and physical health is recreation. Today, a lot of research is being done on the use of forests for recreation, these problems have been considered in the works of many famous scientists, but a number of issues remain unresolved. Therefore, in today's conditions, which are characterized by an extremely high degree of anthropogenic pressure on natural ecosystems, it is necessary to search for alternative solutions to combat these processes directly in the regions, in order to preserve forests and perform phytomeliorative functions. Research and analysis of anthropogenic impact on recreational areas of forests of Volyn region was conducted in order to successfully combine the main purpose of the forest park with the correct organization of forest use. The object of the study were the recreational points of the forests of Volyn region. During the study, methods of comparative analysis and synthesis of information, observation, description, generalization were used. The article analyzes the modern anthropogenic impact on the forest landscapes of Volyn region. The most common forms of recreation in the conditions of Volyn region are highlighted and their negative impact on forest phytocenoses is described. More than forty-seven recreational points of the region were surveyed. The coefficient of ecological impact on forest ecosystems of the studied recreational points of Volyn region is calculated. Stages of recreational digression are determined and the coefficient of recreation is derived. Ways to optimize recreational activities in the forests of Volyn region have been developed and described. Based on the research and analysis of modern development and features of recreational use of forest landscapes of Volyn region, a number of conclusions and developed recommendations for optimizing the use of forests for recreational activities were given. The main problems are highlighted and the possibility of reducing and regulating the anthropogenic load on the recreational points of the forests of Volyn region, which is a necessary condition of modernity, is described.

Key words:

recreation resource,
anthropogenic impact,
recreational point,
coefficient of recreation,
recreation forms

Article history:

Received 20.10.2021

Accepted 30.11.2021

***Corresponding author:**

alexgop2017@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi47.647

To cite this article:

Kovalchuk, N., & Herasymchuk, A. (2021). Anthropogenic impact on recreational points of forests of Volyn region. *Agricultural Machines*, 47, 46-54. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.647>

УДК 712.4 (477.82)

**АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ НА РЕКРЕАЦІЙНІ ПУНКТИ ЛІСІВ
ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ****Н.П. Ковальчук*, О.П. Герасимчук***Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна*

AGRICULTURAL MACHINES

**АНОТАЦІЯ**

Найбільш дієвим способом відновлення психологічного та фізичного здоров'я людини є рекреація. Сьогодні проводиться багато досліджень щодо використання лісів для рекреації, вказані проблеми розглянуті у працях багатьох відомих вчених, але низка питань залишається невирішеними. Тому, в умовах сьогодення, які характеризуються надзвичайно високим ступенем антропогенного навантаження на природні екосистеми, необхідно проводити пошук альтернативних рішень протидії цим процесам безпосередньо в регіонах задля збереження лісів та виконання ними фітомеліоративних функцій. Під час проведення досліджень були застосовані методи: спостереження, опис, порівняльний аналіз та синтез інформації, узагальнення. Дослідження та аналіз антропогенного впливу на рекреаційні пункти лісів Волинської області проводилися, щоб у подальшому забезпечити вдале поєднання основного призначення лісопаркової частини із правильною організацією лісокористування. Об'єктом дослідження були рекреаційні пункти лісів Волинської області. У статті виконано аналіз сучасного антропогенного впливу на лісові ландшафти Волинської області. Визначені найбільш поширені форми рекреації в умовах Волинської області та описано їх негативний вплив на лісові фітоценози. Обстежені понад сорок сім рекреаційних пунктів Волинської області. Розраховано коефіцієнт екологічного впливу на лісові екосистеми досліджених рекреаційних пунктів Волинської області. Визначені стадії рекреаційної дигресії та коефіцієнт рекреації рекреаційних пунктів Волинської області. Розроблені та описані шляхи оптимізації рекреаційної діяльності у лісах Волинської області. На основі досліджень та аналізу сучасного розвитку і особливостей рекреаційного використання лісових ландшафтів Волинської області розроблені рекомендації з оптимізації використання лісових масивів з метою рекреаційної діяльності.

Ключові слова:

рекреаційний ресурс,
антропогенний вплив,
рекреаційний пункт,
коефіцієнт рекреації,
форми рекреації

Історія публікації:

Отримано 20.10.2021

Затверджено 30.11.2021

***Автор для листування:**

alexgor2017@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi47.647

Цитувати цю статтю:

Ковальчук, Н. П., & Герасимчук, О. П. (2021). Антропогенний вплив на рекреаційні пункти лісів Волинської області. *Сільськогосподарські машини*, 47, 46-54. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.647>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В умовах розвитку сучасного урбанізованого суспільства найбільш корисним є відпочинок на природі, який може найкраще відновлювати життєві сили людини та позитивно впливати на загальний стан здоров'я. В умовах сучасності фізичний та моральний рівень ресурсів людини досить низький. Основними чинниками цього стану є малорухливий спосіб життя, надмірна урбанізація територій, «сіре» буденне середовище існування. Досить часто навіть медична наука безсила перед зазначеними проблемами.

Одним із найбільш дієвих способів відновлення психологічних та фізичних сил людини є рекреація (Фоменко, 2007; Чабанчук & Мельничук, 2015). Однозначного визначення терміну «рекреація» досі немає. Найчастіше рекреацію розглядають як процес відновлення фізичних, духовних та нервово-психологічних сил людини, що передбачає систему заходів, які мають місце у вільний від роботи час на спеціалізованих територіях (Кучерявий, 2003). Таким чином, поняття «рекреація» характеризує не лише процеси та заходи для відновлення сил, але і простір, в якому вона відбувається, тобто простір вільний від міської забудови. Цей простір є певним рекреаційним каркасом, на якому розташовуються різноманітні об'єкти відпочинку.

В умовах сьогодення використання лісових ландшафтів та лісових ресурсів у рекреаційних цілях є надзвичайно актуальним і розглядається у працях багатьох вчених різних сфер діяльності: соціологів, економістів, юристів, географів, лісівників, екологів тощо. Але низка питань залишається невирішеними. Проблеми антропогенного впливу на природні екосистеми, зокрема лісові, розглянуті у працях таких вчених як: Кучерявий В.П. «Фітомеліорація» (Кучерявий, 2003); Атрохин З.П., Курамишин В.Я. «Ландшафтное лесоводство»; Sukopp H., Wittig R. «Stadtökologie». Дослідження з питань благоустрою здійснювали такі вчені як Генсірук С.А., Третяк П.Р., Фурдичко О.І., Ковальчук Н.П. (Ковальчук, 2021). Результати оцінювання рекреаційно-оздоровчих лісів висвітлені у наукових працях Криницької Н.Г., Миклуша С.І., Миклуша Ю.С., Руденко В.П. та

інших. У працях вчених-географів Возняка Р., Нижника М., Бойко І., Фоменко Н., Стафійчука В., Мацоли В., Тарасова А. розглядаються особливості рекреаційних лісів та форми їх використання, напрями використання та методики дослідження лісових ресурсів, рекреаційні функції лісів, їх вплив на організм людини.

Мета дослідження – полягає у вивченні та аналізуванні антропогенного впливу і рекреаційного використання лісових ландшафтів Волинської області (Україна), щоб дозволило у перспективі вдало поєднувати основне призначення лісопаркової частини і правильну організацію лісокористування.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для досягнення мети дослідження передбачалося вирішення завдань: проаналізувати ступінь антропогенного впливу та особливості рекреаційного використання лісових ландшафтів Волинської області; визначити ступінь рекреаційної дигресії; розробити шляхи оптимізації об'єктів рекреаційного природокористування на території Волинської області. Об'єктом дослідження були рекреаційні пункти лісів Волинської області. Під час проведення досліджень були застосовані методи досліджень: спостереження, опис, порівняльний аналіз та синтез інформації, узагальнення. Також був застосований системний метод, польовий метод, метод маршрутних обстежень та математико-статистичний метод оброблення отриманих даних.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Сьогодні швидкими темпами зростає антропогенний вплив людини на навколишнє середовище, зокрема на ліси, а разом із ним зростає й інтерес людей до відпочинку на природі з метою відновлення життєвих сил, покращення працездатності. У цей спосіб людина компенсує дискомфорт, який створює урбогенне середовище (шум, забруднене повітря, одноманітність міської забудови, різноманітні стреси, спека та задуха влітку).

Більшість населення відпочиває на територіях рекреаційних пунктів, тому найбільш потерпають від антропогенного

впливу зони ближньої та середньої заміської рекреації – приміські ліси. Також відбувається негативний антропогенний вплив на екологію відвідуваних територій, зокрема на природні комплекси, які межують з рекреаційними пунктами. Вплив людини на природу, зокрема лісові масиви, призводить до механічного пошкодження і знищення підросту, підліску, витоптування надґрунтового покриву та ущільнення ґрунту, що суттєво змінює об'ємну масу та щільність верхнього шару ґрунту.

За ступенем негативного антропогенного впливу на ліси рекреацію класифікують на шість основних форм (*Андрущак та ін., 2002*). Як правило, відпочиваючі чи рекреанти пересуваються надґрунтовым покривом на своєму транспорті. Ця форма рекреації називається транспортною. У результаті цієї форми рекреації відбувається негативний вплив шкідливих газів, паливно-мастильних речовин від транспортних засобів на ліс, тобто маємо яскравий приклад полютантно-забруднюючого фактору, який викликає ерозію лісового ґрунту.

Для захисту лісів Волинської області від транспортної рекреації на території кожного лісгоспу на основних лісових дорогах встановлюються шлагбауми, що ускладнюють пересування рекреантів глибоко у ліс на автотранспорті (**таблиця 1**).

Стежкова форма рекреації також зумовлює негативний антропогенний вплив на середовище і пов'язана із шумом, сміттям та іншими антропогенними факторами. Ця форма рекреації найменш шкідлива, оскільки рекреант, рухаючись стежкою, завдає найменшої шкоди лісовому середовищу. Ця

форма рекреації є однією із найпоширеніших форм у лісах Волинської області.

Відсутнє у лісі дорожньо-стежкове облаштування свідчить про неорганізованість території для відпочинку. У цьому випадку форма рекреації називається безстежковою. За цієї форми рекреанти вільно пересуваються у лісі, спричинюючи значний негативний антропогенний вплив у вигляді механічних пошкоджень лісового фітоценозу та надґрунтового покриву. Також вони можуть розпалювати вогнища, вирубувати ліс для розведення багаття, залишати сміття. Для запобігання розвитку безстежкової форми рекреації лісівники облаштовують рекреаційні пункти доріжками, смітниками, мангалами, лавочками, столами, альтанками, а також заготовленими дровами для розведення вогнищ у спеціально відведених місцях. Ця форма рекреації у лісах Волинської області майже не зустрічається (*Андрущак та ін., 2002; Бойко & Савранчук, 2007*).

Заготівля недеревної рослинної продукції лісу (грибів, ягід, лікарських рослин, квітів, різноманітної зелені), полювання та рибальство спричинюють добувну форму рекреації. Наслідком цієї форми рекреації є знищення окремих видів рослин і тварин та селективне ослаблення (**таблиця 1**).

Іноді негативний антропогенний вплив на ліс здійснюється через кошову форму рекреації, яка передбачає організацію рекреантами тимчасового житла у лісі для заготівлі недеревних продуктів лісу та полювання. Кошова форма рекреації є вкрай небезпечною і небажаною для лісового середовища (**таблиця 1**).

Таблиця 1 – Види впливу на лісові екосистеми та форми рекреації

Форми рекреації	Основні види впливу						Коефіцієнт екологічного впливу
	Використання лісу під рекреаційну інфраструктуру	Витоптування надґрунтового покриву, підстилки, ущільнення ґрунту	Вибіркове знищення елементів біоценозу	Розпалювання вогнищ, збирання дров, облаштування палаток	З'їзд з дороги у ліс, дров, випас	Заготівля дров, худоби	
Стежкова	+	-	-	-	-	-	0,01
Безстежкова	+	+	-	-	-	-	1,00
Добувна	+	+	+	-	-	-	2,00
Бівуачна	+	+	+	+	-	-	3,00
Транспортна	+	+	+	+	+	-	13,00
Кошова	+	+	+	+	+	+	15,00

Результатом дії бівуачної форми рекреації є встановлення наметів у лісі, розпалювання вогнищ, засмічення лісової території, витоптування надгрунтового покриву та значні механічні пошкодження деревостану.

За результатами проведеного аналізу лісових масивів Волинської області за формами рекреації встановлено (таблиця 2),

що найбільш поширеною формою є найбільш безпечна для лісового середовища стежкова форма. Разом із тим, на території ДП «Цуманське ЛГ» рекреаційні пункти є найменш облаштованими і переважає безстежкова форма рекреації, а бівуачна форма рекреації характерна для двох рекреаційних пунктів ДП «Любешівське ЛГ».

Таблиця 2 – Форми рекреації та коефіцієнт екологічного впливу на лісові екосистеми рекреаційних пунктів Волинської області

Назва рекреаційного пункту	Назва лісового господарства (ЛГ)	Форма рекреації	Коефіцієнт екологічного впливу
1	2	3	4
«Пролісок»	ДП «Ківерцівське ЛГ»	стежкова	0,01
«Діброва»	ДП «Ківерцівське ЛГ»	стежкова	0,01
«Дуби»	ДП «Ківерцівське ЛГ»	стежкова	0,01
«Журавлик»	ДП «Ківерцівське ЛГ»	стежкова	0,01
«У Мазяра»	ДП «Ківерцівське ЛГ»	стежкова	0,01
«В тіні»	ДП «Ківерцівське ЛГ»	стежкова	0,01
«Богатир»	ДП «Ківерцівське ЛГ»	стежкова	0,01
Ботанічний заказник «Воротнів»	ДП «Ківерцівське ЛГ»	стежкова	0,01
«Сосновий бір»	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	стежкова	0,01
«Озюрко»	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	стежкова	0,01
«Узлісся»	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	стежкова	0,01
«Соснячок» 1	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	стежкова	0,01
«Щирба»	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	стежкова	0,01
«Заріччя»	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	стежкова	0,01
«Соснячок» 2	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	стежкова	0,01
«Смольна»	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	стежкова	0,01
«Тихор-2»	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	стежкова	0,01
«Баховка»	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	стежкова	0,01
«Грушка»	ДП «Камінь-каширськагроліс»	стежкова	0,01
«Боровичок»	ДП «Камінь-каширськагроліс»	стежкова	0,01
«Зустріч»	ДП «Камінь-каширськагроліс»	стежкова	0,01
«Дубицьке»	ДП «Камінь-каширськагроліс»	стежкова	0,01
«Хутір»	ДП «Камінь-каширськагроліс»	стежкова	0,01
«Межовий»	ДП «Камінь-каширськагроліс»	стежкова	0,01
«Сирий бір»	ДП «Маневицьке ЛГ»	стежкова	0,01
«Поляна казок»	ДП «Маневицьке ЛГ»	стежкова	0,01
«Затишок»	ДП «Маневицьке ЛГ»	стежкова	0,01
«Маївка»	ДП «Маневицьке ЛГ»	стежкова	0,01
«Чистолужа»	ДП «Маневицьке ЛГ»	стежкова	0,01
«Дубки»	ДП «Цуманське ЛГ»	безстежкова	1,00
«Холодок» 1	ДП «Цуманське ЛГ»	безстежкова	1,00
«Г аївка»	ДП «Цуманське ЛГ»	безстежкова	1,00

Продовження таблиці 2

1	2	3	4
«Березове»	ДП «Цуманське ЛГ»	безстежкова	1,00
«Затишшя»	ДП «Цуманське ЛГ»	безстежкова	1,00
«Привал»	ДП «Цуманське ЛГ»	безстежкова	1,00
«Холодок» 2	ДП «Цуманське ЛГ»	безстежкова	1,00
«Діброва»	ДП «Цуманське ЛГ»	безстежкова	1,00
«Біля дуба»	ДП «Любешівське ЛГ»	бівуачна	3,00
«Сосновий бір»	ДП «Любешівське ЛГ»	стежкова	0,01
«Затишок»	ДП «Любешівське ЛГ»	стежкова	0,01
«Люб'язький»	ДП «Любешівське ЛГ»	стежкова	0,01
«Дубок»	ДП «Любешівське ЛГ»	бівуачна	3,00
«Соснячок»	ДП «Ковельське ЛГ»	стежкова	0,01
«Феєрія»	ДП «Ковельське ЛГ»	стежкова	0,01
«Лісова казка»	ДП «Ковельське ЛГ»	стежкова	0,01
«Літинський»	ДП «Ковельське ЛГ»	стежкова	0,01
«Кашівський»	ДП «Ковельське ЛГ»	стежкова	0,01

Волинська область характеризується значною кількістю великих та малих рекреаційних територій, яких в сукупності станом на 2021 рік понад 773. Ці території облаштовані усім необхідним для відпочинку. Благоустрій рекреаційних пунктів сприяє збереженню природи та зводить до мінімуму антропогенний вплив на ліси Волинської області (рис. 1). Результати дослідження показують, що для 78,7% обстежених рекреаційних пунктів Волинської області коефіцієнт екологічного впливу становить 0,01; для 17% – 1,00 і лише для 4,3% – 3,00. Завдяки розвитку рекреації у правильному напрямі та облаштуванню рекреаційних пунктів ліси Волинської області мають значну рекреаційну цінність та високий ступінь рекреаційної привабливості.

Зміна рослинності на територіях, що зазнали антропогенного впливу, називається рекреаційною дигресією. Ступінь дигресії природного середовища прямо пропорційний рекреаційному навантаженню, яке призводить до витоптування і здійснює безпосередній або опосередкований негативний вплив (Генсірук & Бондар, 1973; Генсірук, 1985). Стадію рекреаційної дигресії можна визначати за ступенем порушення природного середовища. Виокремлюють п'ять стадій рекреаційної дигресії, кожна з яких характеризується ступенем деградації рослинного угруповання та коефіцієнтом рекреації. Остання, п'ята

стадія, унеможлиблює відновлення існуючого фітоценозу (Генсірук & Бондар, 1973).

Під час проведених маршрутних обстежень рекреаційних пунктів Волинської області згідно (Генсірук, 1992) було визначено стадію рекреаційної дигресії 47 рекреаційних пунктів (таблиця 3) та встановлено їх коефіцієнт рекреації (для 36 пунктів значення коефіцієнта рекреації становить 0,1; для 9 пунктів – 0,2; для 1 пункту – 0,05 та для 1 пункту – 1) (Генсірук, 1992; Генсірук & Бондар, 1973; Генсірук, 1985).

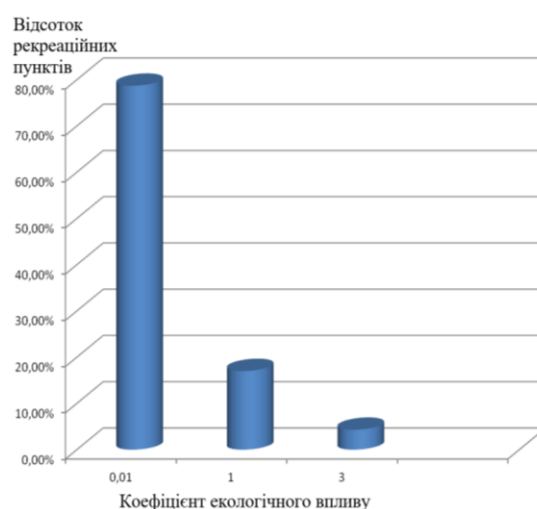


Рис. 1 – Діаграма коефіцієнта екологічного впливу в рекреаційних пунктах Волинської області

За результатами проведених досліджень рекреаційних пунктів Волинської області виявлено, що у 76,6% має місце 2-га стадія рекреаційної дигресії (трав'яний покрив майже непошкоджений та відносно збережений, виражена ярусність покриву; задовільний або добрий стан підліску і підросту; в деревостані переважають дерева доброго та задовільного стану (75–90%)). За дослідженнями 21,3% рекреаційних пунктів мають 3-ю стадію рекреаційної дигресії (трав'яний покрив порушений, знижена кількість лісових та лісо-лугових трав; наявність бур'янів, лугових трав; збереження ярусності покриву). На жаль, лише для 2,1% досліджених рекреаційних пунктів характерною є 1-а стадія рекреаційної дигресії (неушкоджений трав'яний покрив, підстилка, підлісок і підріст, що також повністю відповідають лісорослинним умовам) (рис. 2).

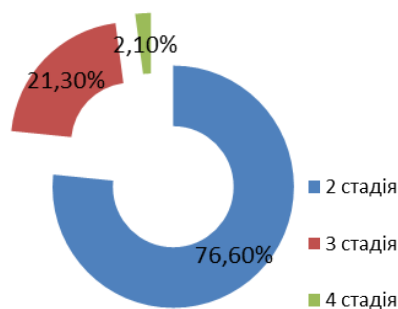


Рис. 2 – Діаграма стадій дигресії рекреаційних пунктів Волинської області

ВИСНОВКИ

Лісові ресурси займають одне із провідних місць в структурі природно-рекреаційного потенціалу Волинської області. Вони здатні задовільнити потреби рекреантів у відпочинку, лікуванні і оздоровленні.

Дослідження проведені у 47 рекреаційних пунктах у 7 лісових господарствах Волинської області. Найбільша кількість рекреаційних пунктів знаходиться на території ДП «Камінь-Каширськагроліс», ДП «Ківерцівське ЛГ», ДП «Цуманське ЛГ». Встановлено, що найбільш поширеною у лісах Волинської області є найменш шкідлива для лісового середовища форма рекреації – стежкова. Крім того, встановлено, що у ДП «Цуманське ЛГ» рекреаційні пункти найменш облаштовані і для них характерна безстежкова форма рекреації. Бівуачна форма рекреації зустрічається у двох рекреаційних пунктах ДП «Любешівське ЛГ» Волинської області.

Волинська область характеризується великою кількістю рекреаційних територій, яких станом на 2021 рік налічується понад 773. Ці території облаштовані усім необхідним для відпочинку та зменшення антропогенного впливу на лісове середовище. Для 76,6% досліджених рекреаційних пунктів Волинської області характерна 2-а стадія рекреаційної дигресії, для 21,3% пунктів – 3-а стадія і лише для 2,1% пунктів – 1-а стадія рекреаційної дигресії.

Таблиця 3 – Стадії рекреаційної дигресії та коефіцієнт рекреації рекреаційних пунктів Волинської області

Назва рекреаційного пункту	Назва лісового господарства (ЛГ)	Стадія дигресії	Коефіцієнт рекреації
1	2	3	4
«Пролісок»	ДП «Ківерцівське ЛГ»	2	0,10
«Діброва»	ДП «Ківерцівське ЛГ»	2	0,10
«Дуби»	ДП «Ківерцівське ЛГ»	2	0,10
«Журавлик»	ДП «Ківерцівське ЛГ»	2	0,10
«У Мазяра»	ДП «Ківерцівське ЛГ»	2	0,10
«В тіні»	ДП «Ківерцівське ЛГ»	2	0,10
«Богатир»	ДП «Ківерцівське ЛГ»	2	0,10
Ботанічний заказник «Воротнів»	ДП «Ківерцівське ЛГ»	1	0,05
«Сосновий бір»	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	2	0,10
«Озюрко»	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	2	0,10
«Узлісся»	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	2	0,10

Продовження таблиці 3

1	2	3	4
«Соснячок» 1	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	2	0,10
«Щирба»	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	2	0,10
«Заріччя»	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	2	0,10
«Соснячок» 2	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	2	0,10
«Смольна»	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	2	0,10
«Тихор-2»	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	2	0,10
«Баховка»	ДП «Камінь-Каширське ЛГ»	2	0,10
«Грушка»	ДП «Камінь-каширськагроліс»	2	0,10
«Боровичок»	ДП «Камінь-каширськагроліс»	2	0,10
«Зустріч»	ДП «Камінь-каширськагроліс»	2	0,10
«Дубицьке»	ДП «Камінь-каширськагроліс»	2	0,10
«Хутір»	ДП «Камінь-каширськагроліс»	2	0,10
«Межовий»	ДП «Камінь-каширськагроліс»	2	0,10
«Сирий бір»	ДП «Маневицьке ЛГ»	2	0,10
«Поляна казок»	ДП «Маневицьке ЛГ»	2	0,10
«Затишок»	ДП «Маневицьке ЛГ»	2	0,10
«Маївка»	ДП «Маневицьке ЛГ»	2	0,10
«Чистолужа»	ДП «Маневицьке ЛГ»	2	0,10
«Дубки»	ДП «Цуманське ЛГ»	3	0,20
«Холодок» 1	ДП «Цуманське ЛГ»	3	0,20
«Гаївка»	ДП «Цуманське ЛГ»	3	0,20
«Березове»	ДП «Цуманське ЛГ»	3	0,20
«Затишшя»	ДП «Цуманське ЛГ»	3	0,20
«Привал»	ДП «Цуманське ЛГ»	3	0,20
«Холодок» 2	ДП «Цуманське ЛГ»	3	0,20
«Діброва»	ДП «Цуманське ЛГ»	3	0,20
«Біля дуба»	ДП «Любешівське ЛГ»	3	0,30
«Сосновий бір»	ДП «Любешівське ЛГ»	2	0,10
«Затишок»	ДП «Любешівське ЛГ»	2	0,10
«Люб'язький»	ДП «Любешівське ЛГ»	2	0,10
«Дубок»	ДП «Любешівське ЛГ»	3	0,20
«Соснячок»	ДП «Ковельське ЛГ»	2	0,10
«Феєрія»	ДП «Ковельське ЛГ»	2	0,10
«Лісова казка»	ДП «Ковельське ЛГ»	2	0,10
«Літинський»	ДП «Ковельське ЛГ»	2	0,10
«Кашівський»	ДП «Ковельське ЛГ»	2	0,10

З метою збереження та створення довговічних і рекреаційно цінних лісових ландшафтів рекомендується:

- встановлювати шлагбауми при в'їзді на лісові дороги для уникнення розвитку і поширення дуже шкідливої для лісових ландшафтів транспортної форми рекреації;

- створювати рекреаційні пункти, на території яких розвивається безстезжова форма рекреації лісу, облаштовувати пункти прогулянковими доріжками та стежками для відновлення пошкодженого трав'яного покриву, покращення стану підросту і підліску у складі деревостану;

- рекреаційні пункти, де швидкими темпами розвивається бівуачна форма рекреації, облаштовувати прогулянковими доріжками та стежками, місцями для розпалювання вогнищ, смітниками, а також заготовленими дровами задля відновлення витопаного надґрунтового покриву і значних механічних пошкоджень деревостану;

- усі необлаштовані лісові масиви необхідно трансформувати по інтенсивному лісопарковому типу для максимального збереження лісових екосистем та забезпечення рекреаційних потреб населення Волинської області.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Андрушак, В. І., Приказка, В. М., & Слюсаренко, А. О. (2002). Сільський зелений туризм на Буковині (*Rural green tourism in Bukovina*). *Туризм у XXI столітті: глобальні тенденції і регіональні особливості: Мат. міжнар. наук.-практ. конф.* (С. 472-476).
- Бойко, І. Д., & Савранчук, Л. А. (2007). *Туристична курортологія (Tourist balneology)*. Чернівці: Рута.
- Генсірук, С. А. (1992). *Регіональне природо-користування (Regional nature management)*. Львів: Світ.
- Генсірук, С. А., & Бондар, В. С. (1973). *Лісові ресурси України. Їх охорона та використання (Forest resources of Ukraine. Their protection and use)*. Київ: Наукова думка.
- Генсірук, С. А. (1985). *Комплексное использование природных ресурсов (Integrated use of natural resources)*. Москва: Лесная промышленность.
- Ковальчук, Н. П., Герасимчук, О. П., & Шимчук, Ю. П. (2021). Рекреаційна трансформація приміських лісів Волинської області в умовах сучасності (*Recreational transformation of suburban forests of Volyn region in modern conditions*). *Сільськогосподарські машини*, 46, 40-48. <https://doi.org/10.36910/acm.vi46.492>.
- Кучерявий, В. П. (2003). *Фітомеліорація (Phytomelioration)*. Львів: Світ.
- Фоменко, Н. В. (2007). *Рекреаційні ресурси та курортологія (Recreational resources and balneology)*. Київ: Центр навч. л-ри.
- Чабанчук, В. Ю., & Мельнійчук, М. М. (2015). Використання поліських лісових ландшафтів Рівненщини у рекреації та туризмі (*Use of Polissya forest landscapes of Rivne region in recreation and tourism*). *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Географія*, 2. http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUg_2015_2_24

METHOD OF POWER AND ENERGY PARAMETERS CALCULATION OF CHAINSAW SAWING PROCESS

M. Vrzheshch, A. Herasymchuk*, L. Datsiuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES



ABSTRACT

The power and energy parameters of the sawing process with chainsaws are influenced by a number of factors that must be taken into account when calculating the sawing regimes. The technique of calculation of force, work, power of cutting at sawing of wood of various breeds by chain saws on variable diameters of a log and giving on a tooth is developed and realized. The methodology is based on the use of experimental data obtained in specialized laboratories and published in professional journals. The mathematical model of the methodology is based on the application of definitions, theorems and formulas of elementary algebra, trigonometry, as well as analytical geometry on the plane. The main provisions of the theory of cutting and machining of wood with chainsaws are used. The results of numerical experiments, which are presented in tabular and graphical forms, are presented and analyzed. It was found that the force and power of cutting during sawing with chainsaws is significantly affected by the type of wood, the amount of feed per tooth, as well as the width of the cut. The lowest cutting force and power is recorded for softwoods with a minimum sawing width, and the highest for hardwoods with a maximum cutting width. The total length of the tooth trajectories is significantly affected by the amount of feed on the tooth and, accordingly, the diameter of the log. The smallest value of the length of the trajectories was recorded for the log of the smallest diameter at the maximum feed per tooth, and the largest – for the log of the largest diameter at the minimum feed per tooth. Recommendations for the use of the proposed methodology in the educational process of forest specialties are also given.

Key words:

cutting work,
sawing,
calculation of chain saws,
cutting power,
cutting force

Article history:

Received 21.10.2021

Accepted 08.12.2021

***Corresponding author:**

alexgop2017@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi47.648

To cite this article:

Vrzheshch, M., Herasymchuk, A., & Datsiuk, L. (2021). Method of power and energy parameters calculation of chainsaw sawing process. *Agricultural Machines*, 47, 55-62. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.648>

УДК 630*3(075.8)

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СИЛОВИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПИЛЯННЯ ЛАНЦЮГОВОЮ ПИЛКОЮ**М.В. Вржещ, О.П. Герасимчук*, Л.М. Дацюк***Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна*

AGRICULTURAL MACHINES

**АМ
СМ**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

На силові та енергетичні параметри процесу пиляння ланцюговими моторизованими пилками впливає низка факторів, які необхідно враховувати під час розрахунку режимів пиляння. Розроблено та реалізовано методика розрахунку зусилля, роботи, потужності різання при пилянні деревини різних порід ланцюговими пилками за змінних діаметрів пиловника та подачі на зубець. В основу методики покладено використання експериментальних даних, що одержані у спеціалізованих лабораторіях та опубліковані у фахових виданнях. Математична модель методики ґрунтується на застосуванні визначень, теорем та формул елементарної алгебри, тригонометрії, а також аналітичної геометрії на площині. Використано основні положення теорії різання та механічного оброблення деревини ланцюговими пилками. Представлено та проаналізовано результати числових експериментів, які подаються у табличній та графічній формах. Встановлено, що на силу та потужність різання протягом пиляння ланцюговими пилками суттєво впливає порода деревини, величина подачі на зубець, а також ширина пропилу. Найменша сила та потужність різання зафіксована для деревини м'яких порід за мінімальної ширини пропилу, а найбільша – для деревини твердих порід за максимальної ширини пропилу. На сумарну довжину траєкторій зубців суттєво впливає величина подачі на зубець та, відповідно, діаметр пиловника. Найменша величина довжини траєкторій зафіксована для пиловника найменшого діаметра за максимальної подачі на зубець, а найбільша – для пиловника найбільшого діаметра за мінімальної подачі на зубець. Подано також рекомендації щодо використання пропонованої методики в освітньому процесі спеціальностей лісової галузі.

Ключові слова:

робота різання,
пиляння,
розрахунок ланцюгових пилок,
потужність різання,
зусилля різання

Історія публікації:

Отримано 21.10.2021

Затверджено 08.12.2021

***Автор для листування:**

alexgor2017@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi47.648

Цитувати цю статтю:

Вржещ, М. В., Герасимчук, О. П., & Дацюк, Л. М. (2021). Методика розрахунку силових та енергетичних параметрів процесу пиляння ланцюговою пилкою. *Сільськогосподарські машини*, 47, 55-62. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.648>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Викладання фахових дисциплін, що мають технічне спрямування, в освітньому процесі спеціальностей лісової галузі потребує удосконалення методичного забезпечення для лабораторних робіт та практичних занять, а також реалізації комп'ютерних програм у середовищах математичного моделювання MathCAD та Matlab для виконання науково-дослідних студентських робіт. Водночас, існує проблема забезпечення дороговартісним високоточним устаткуванням спеціалізованих лабораторій вищих навчальних закладів, тому застосування методик, які ґрунтуються на використанні результатів експериментальних досліджень, що одержані у провідних вітчизняних та зарубіжних науково-дослідних центрах, дає можливість підняти рівень як досліджень, так і викладання професійних дисциплін.

Методики розрахунку режимів пиляння ланцюговими моторизованими пилками розглянуті у наукових працях (*Вржещ & Куделя, 2014; Вржещ & Касян, 2018; Зима & Малюгін, 2006; Кірик, 2006; Шкіря, 2005*), де зазначається ціла низка факторів, що впливають на силові та енергетичні параметри процесу пиляння. Реалізація зазначених методик потребує використання результатів експериментальних досліджень, які одержують на сучасних випробувальних стендах (*Вржещ & Куделя, 2014; Вржещ & Касян, 2018*). Проведений аналіз літературних джерел підтверджує актуальність та важливість цієї проблематики.

Мета дослідження – розробити та реалізувати методику розрахунку зусилля, роботи та потужності різання під час пиляння масиву деревини ланцюговою пилкою, а також впровадити її до освітнього процесу вищих навчальних закладів для спеціальностей лісової галузі.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Методика розрахунку силових та енергетичних параметрів процесу пиляння ланцюговою пилкою розроблена із використанням методів аналітичної геометрії та класичної механіки. Розрахунки за цією методикою реалізовані у комп'ютерному середовищі MathCAD. Графічні залежності

побудовані із використанням табличного процесора Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Розглянемо пиловник круглої форми радіусом R , що знаходиться у режимі пиляння ланцюговою пилкою з кроком між різальними кромками різнойменних зубців (лівим та правим) t_z (**рис. 1**). Виберемо прямокутну систему координат xOy , початок якої співпадає з центром круга.

На розрахунковій схемі (**рис. 1**) прийняті позначення: горизонтальні лінії з інтервалом h_z до осі x відповідають нижній вітці ланцюга, що розташована на шині; вертикальні лінії з інтервалом t_z до осі y відповідають положенню зубців у попередньо зазначеній позиції ланцюга; лінії, що розташовані під кутом φ до додатного напрямку осі x , є траєкторіями руху різальних кромок різнойменних стругальних зубців ланцюга під час пиляння. Крім того, точки перетину ліній траєкторій зубців позначаються таким чином: з горизонталлями – двома арабськими цифрами через кому (наприклад, 3,1 – точка перетину траєкторії третього зубця з першою горизонталлю); з колом – двома цифрами через кому, причому перша цифра арабська, а друга – римська (наприклад, 1,II – точка перетину траєкторії першого зубця із дугою кола другого квадранту).

Кінематичні параметри режиму різання: V_x – швидкість руху ланцюга вздовж осі x ; V_y – швидкість руху ланцюга вздовж осі y ; V – швидкість різання. Причому, швидкість різання визначається за виразом:

$$V^2 = V_x^2 + V_y^2. \quad (1)$$

Відповідно, для тангенса кута нахилу траєкторій руху зубців ланцюга до додатного напрямку осі x матимемо:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{V_y}{V_x}. \quad (2)$$

Подачу на різальний зубець ланцюга вздовж осі y визначимо за формулою:

$$h_z = \frac{S_z}{\cos \varphi}; \quad (3)$$

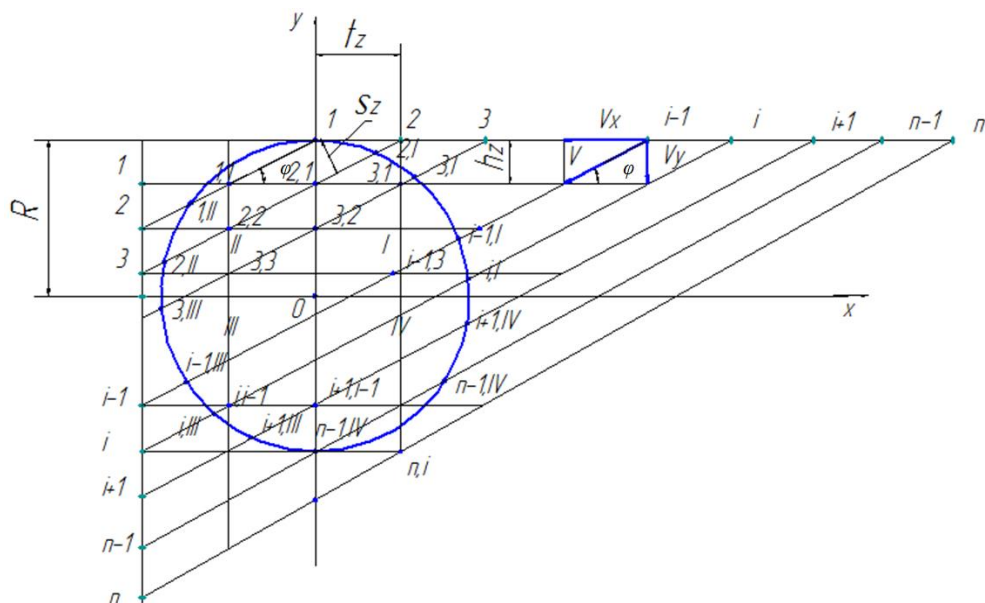


Рис. 1 – Розрахункова схема пиловника круглої форми

де S_z – подача на різальний зубець ланцюга (товщина стружки).

Таким чином, можна встановити кількість проходів різальними зубцями ланцюга вздовж поперечного перерізу пиловника протягом пиляння, тобто:

$$n = \frac{2R}{h_z}; \quad (4)$$

де n – кількість проходів, що заокруглюється до більшого значення (при цьому нижня різальна кромка зубця буде знаходитися поза межами деревини, а бічна – завершувати процес пиляння).

Рівняння ліній траєкторій зубців ланцюга відповідають прямим, які розташовані з нахилом під кутом φ до додатного напрямку осі x , а саме:

$$y_i = x_i \operatorname{tg} \varphi + R - (i-1)h_z; \quad (5)$$

де $i = 1, \dots, n + 1$.

Рівняння кола, що обмежує площу поперечного перерізу пиловника, з центром у початку системи координат xOy (рис. 1) має вигляд:

$$x_i^2 + y_i^2 = R^2; \quad (6)$$

де $i = 1, \dots, n - 1$.

Об'єднавши рівняння (5) та (6) у систему, одержимо розв'язок відносно координат точок перетину ліній траєкторій зубців із колом поперечного перерізу пиловника:

$$x_{i,j} = \frac{((i-1)h_z - R) \operatorname{tg} \varphi \pm \sqrt{((i-1)h_z - R)^2 \operatorname{tg}^2 \varphi - [(R - (i-1)h_z)^2 - R^2](1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}; \quad (7)$$

$$y_{i,j} = \sqrt{R^2 - x_{i,j}^2}; \quad (8)$$

де $i = 1, \dots, n - 1; j = I, II, III, IV$.

Довжину хорд між точками, що мають координати (7) і (8), визначимо за формулами:

- квадранти I, II ($i = 1, \dots, n - 1$):

$$\chi_i = \sqrt{(x_{i,II} - x_{i,I})^2 + (y_{i,II} - y_{i,I})^2}; \quad (9)$$

- квадранти I, III ($i = 1, \dots, n - 1$):

$$\chi_i = \sqrt{(x_{i,III} - x_{i,I})^2 + (y_{i,III} - y_{i,I})^2}; \quad (10)$$

- квадранти III, IV ($i = 1, \dots, n - 1$):

$$\chi_i = \sqrt{(x_{i,III} - x_{i,IV})^2 + (y_{i,III} - y_{i,IV})^2}; \quad (11)$$

- квадранти I, IV ($i = 1, \dots, n - 1$):

$$\chi_i = \sqrt{(x_{i,IV} - x_{i,I})^2 + (y_{i,IV} - y_{i,I})^2}. \quad (12)$$

Об'єм деревини у пропили, яка перетворена у тирсу, розраховується за формулою:

$$V_\delta = \pi R^2 b; \quad (13)$$

де b – ширина пропилу.

Питома робота різання згідно (Вржешч & Касян, 2018) визначається за формулою:

$$k = k_0 a_n a_w a_\rho a_B; \quad (14)$$

де k_0 – значення основної питомої роботи різання; a_n, a_w, a_ρ, a_B – поправочні коефіцієнти, що враховують, відповідно, породу деревини, вологість деревини, затуплення ланцюгової пилки і стан деревини.

Робота різання визначається за формулою:

$$A = k V_\delta. \quad (15)$$

Зусилля P та потужність N , що необхідні для різання, визначаються за виразами:

$$P = \frac{A}{\sum_{i=1}^{n-1} \chi_i}; \quad (16)$$

$$N = PV. \quad (17)$$

Запропонована методика розрахунку реалізована за допомогою комп'ютерної програми в середовищі MathCAD. Також виконані розрахунки для початкових даних, що подаються у **таблицях 1–2**. Результати розрахунків представлені на **рис. 2–4**, а також зведені у **таблицях 3–5**.

Таблиця 1 – Початкові дані для розрахунку

Параметри	Порода деревини		
	Осика	Сосна	Ясен
Діаметри пиловника	200 см; 400 см; 600 см		
Кінематичні характеристики	$V_x = 14$ м/с; $V_y = 0,04$ м/с		
Поправочні коефіцієнти (Шкіря, 2005)	$a_n = 0,85$; $a_w = a_\rho = a_B = 1$	$a_n = a_w = a_\rho = a_B = 1$	$a_n = 1,75$; $a_w = a_\rho = a_B = 1$

Таблиця 2 – Значення основної питомої роботи різання k_0 (для ланцюгових пилок), МДж/м³ (Шкіря, 2005)

Ширина пропилу, мм	Подача на зуб S_z , мм			
	0,4	0,3	0,2	0,1
5	22,6	23,5	26,5	34,3
8	19,6	20,6	22,6	29,4
12	16,6	17,6	19,6	25,5

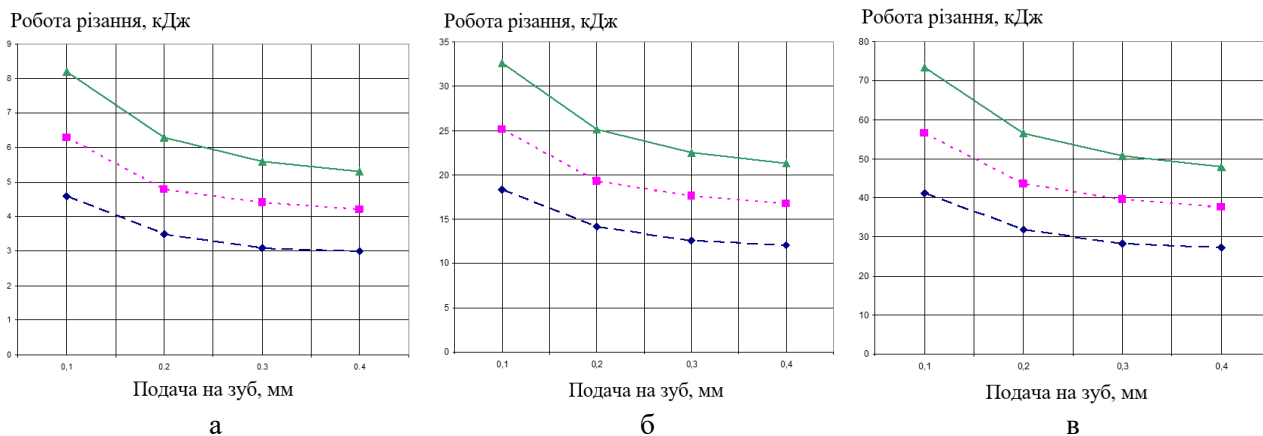


Рис. 2 – Робота різання під час пиляння пиловника осики
 (—◆— $b = 5$ мм; - -■- - $b = 8$ мм; —▲— $b = 12$ мм):
 а – діаметр 200 см; б – діаметр 400 см; в – діаметр 600 см

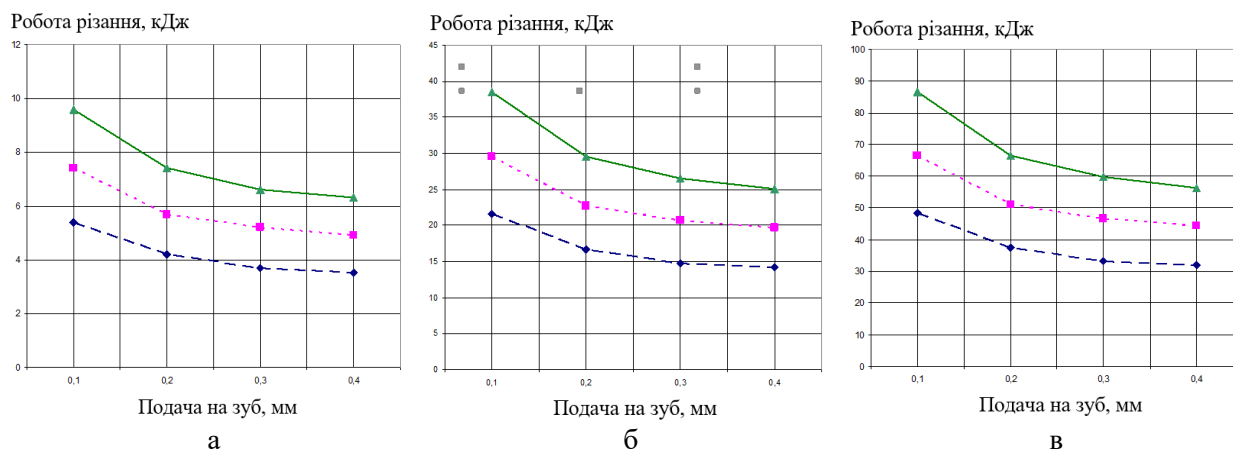


Рис. 3 – Робота різання під час пиляння пиловника сосни
 (—◆— $b = 5$ мм; - -■- - $b = 8$ мм; —▲— $b = 12$ мм):
 а – діаметр 200 см; б – діаметр 400 см; в – діаметр 600 см

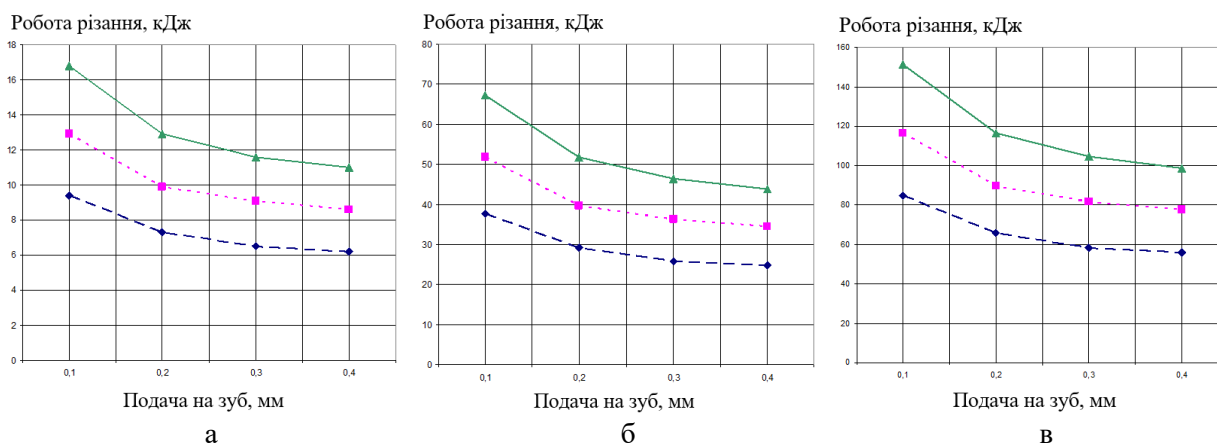


Рис. 4 – Робота різання під час пиляння пиловника ясеня
 (—◆— $b = 5$ мм; - -■- - $b = 8$ мм; —▲— $b = 12$ мм):
 а – діаметр 200 см; б – діаметр 400 см; в – діаметр 600 см

Таблиця 3 – Сумарна довжина траекторій зубців ланцюгової пилки під час її роботи $\sum_{i=1}^{n-1} \chi_i$, м

Діаметр пиловника, мм	Подача на зуб S_z , мм			
	0,4	0,3	0,2	0,1
200	78,5	104,7	157,1	314,1
400	314,1	418,9	628,3	1256,6
600	706,8	942,5	1413,7	2827,4

Таблиця 4 – Значення сили різання P (для ланцюгових пилок), Н

Ширина пропили, мм	Подача на зуб S_z , мм			
	0,4	0,3	0,2	0,1
Осика				
5	38,4	29,9	22,5	14,6
8	53,3	42,0	30,7	19,9
12	67,7	53,9	39,9	26,0
Сосна				
5	45,2	35,2	26,5	17,1
8	62,7	49,4	36,2	23,5
12	79,7	63,4	47,0	30,6
Ясен				
5	79,1	61,7	46,4	30,0
8	109,8	86,5	63,3	41,2
12	139,4	110,9	82,3	53,5

Таблиця 5 – Значення потужності N , що необхідна для різання (для ланцюгових пилок), Вт

Ширина пропили, мм	Подача на зуб S_z , мм			
	0,4	0,3	0,2	0,1
1	2	3	4	5
Осика				
5	537,9	419,5	315,4	204,1
8	746,4	588,3	430,3	279,9
12	948,3	754,0	559,8	364,1

1	2	3	4	5
Сосна				
5	632,9	493,5	371,0	240,1
8	878,2	692,2	506,3	329,3
12	1115,6	887,1	658,6	428,4
Ясен				
5	1107,5	863,6	649,3	420,2
8	1536,8	1211,3	885,9	576,2
12	1952,3	1552,4	1152,5	749,7

ВИСНОВКИ

На силу і потужність різання ланцюговою пилкою суттєво впливає порода деревини, величина подачі на зубець, а також ширина пропилу. Найменші сила та потужність різання зафіксовані для деревини м'яких порід (осика: $P = 14,6$ Н; $N = 204,1$ Вт) за ширини пропилу 5 мм, а найбільші – для деревини твердих порід (ясен: $P = 139,4$ Н; $N = 1952,3$ Вт) за ширини пропилу 12 мм.

На сумарну довжина траєкторій зубців суттєво впливає величина подачі на зубець та діаметр пиловника. Найменше значення цього параметра зафіксоване для пиловника, що має діаметр 200 мм, за подачі на зубець 0,4 мм ($\sum_{i=1}^{n-1} \chi_i = 78,5$ м), а найбільше – для пиловника діаметром 600 мм за подачі на зубець 0,1 мм ($\sum_{i=1}^{n-1} \chi_i = 2827,4$ м).

Величина роботи, що затрачається на різання, зменшується, якщо збільшується подача на зубець ланцюгової пилки, причому як для м'яких, так і для твердих порід деревини. При зростанні діаметра пиловника та ширини пропилу величина роботи, що затрачається на різання, збільшується.

Розроблена та реалізована для масиву деревини методика розрахунку зусилля, роботи та потужності різання ланцюговою пилкою може бути впроваджена до освітнього процесу спеціальностей лісової галузі.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Вржещ, М. В., & Куделя, Ю. П. (2014). Дослідження енергетичних показників процесів пиляння ланцюговими бензиномоторними пилками (*Research of energy indicators of sawing processes with chainsaws*). *Сільськогосподарські машини*, 28, 3-6.
- Вржещ, М. В., & Касян, О. М. (2018). Дослідження економічності процесу пиляння деревини ланцюговими моторизованими пилками (*Study of the cost-effectiveness of the process of sawing wood with chainsaws*). *Сільськогосподарські машини*, 41, 18-28.
- Зима, І. М., & Малюгін, Т. Т. (2006). *Механізація лісгосподарських робіт (Mechanization of forestry works)*. Київ: Фірма «Інкос».
- Кірик, М. Д. (2006). *Механічне оброблення деревини та деревних матеріалів (Machining of wood and wood materials)*. Львів: КН.
- Шкіря, Т. (2005). *Машини та обладнання лісосічних і лісоскладських робіт (Машини та обладнання лісосічних і лісоскладських робіт)*. Львів: Тріада Плюс.

**SYNTHESIS OF SCREW WORKING BODIES WITH ELASTIC SURFACES
AND RESULTS OF WORKING BODY RESEARCH****I. Hevko*, T. Dovbush, O. Tson, A. Dovbush, A. Stanko***Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine*

AGRICULTURAL MACHINES

**ABSTRACT**

Screw conveyors are widely used in various sectors of the economy, including the pharmaceutical industry, food and processing industries, as well as agriculture. Screw conveyors have specific requirements that depend on the material being transported. One of the requirements is to be able to safely move materials that are easily damaged, in particular grain masses. The article presents a theoretical justification for improving the efficiency of transportation of bulk materials by screw conveyors. The article also analyzes the latest research on this issue. As a result of the review of sources of information the problems which need to be solved are defined. The aim of the research is to experimentally determine the productivity of bulk material transportation and to establish the degree of injury of grain material by developed screw working bodies with elastic surfaces. To find new variants of screw working bodies with elastic surfaces that would ensure minimal damage to grain materials, the method of synthesis of hierarchical groups using morphological analysis was used. The experiments were performed for different types of working bodies with elastic surfaces: with a continuous chamber-like element; with peripheral elastic brush part; with a brush-like element. The article offers recommendations for choosing the speed of the auger to minimize damage to bulk materials. The rational angle of inclination of the screw working body at which productivity of the screw conveyor will be the maximum is also established. It is established that the productivity increases with the increase of the inner diameter of the auger casing and the frequency of rotation of the screw working bodies in the case of horizontal arrangement. As the angle of inclination of the screw working bodies increases, the productivity of the conveyor decreases.

Key words:

screw conveyor,
elastic element of the conveyor,
screw working body,
screw conveyor parameters,
degree of grain damage

Article history:

Received 25.10.2021

Accepted 08.12.2021

***Corresponding author:**

gevkoivan1@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi47.649**To cite this article:**

Hevko, I., Dovbush, T., Tson, O., Dovbush, A., & Stanko, A. (2021). Synthesis of screw working bodies with elastic surfaces and results of working body research. *Agricultural Machines*, 47, 63-72. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.649>

УДК 621.86

СИНТЕЗ ГВИНТОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ІЗ ЕЛАСТИЧНИМИ ПОВЕРХНЯМИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ів.Б. Гевко*, Т.А. Довбуш, О.П. Цьонь, А.Д. Довбуш, А.І. Станько

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, Тернопіль, Україна

AGRICULTURAL MACHINES



СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Гвинтові транспортери мають широке використання у різних галузях економіки, зокрема у фармацевтичній галузі, харчовій та переробній промисловості, а також у сільському господарстві. До гвинтових транспортерів висуваються вимоги, що залежать від матеріалу, який транспортується. Однією з вимог є забезпечення можливості безпечного переміщення матеріалів, що легко пошкоджуються, зокрема зернових мас. У статті представлено теоретичне обґрунтування підвищення ефективності транспортування сипких вантажів гвинтовими транспортерами. Також у статті проведено аналіз останніх досліджень за цією проблематикою. У результаті огляду джерел інформації визначена проблема, яку необхідно вирішити. Метою проведеного дослідження є визначення продуктивності транспортування сипких матеріалів та встановлення ступеня травмування зернового матеріалу розробленими гвинтовими робочими органами із еластичними поверхнями. Для пошуку нових варіантів гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями, які б забезпечували мінімальне пошкодження зернових матеріалів, використано метод синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу. Експерименти проведені для різних типів робочих органів із еластичними поверхнями: із суцільним камероподібним елементом; із периферійною еластичною щіткоподібною частиною; із щіткоподібним елементом. У статті запропоновані рекомендації щодо вибору частоти обертання шнеку для мінімізації пошкоджень сипких матеріалів. Також встановлено раціональний кут нахилу гвинтового робочого органу, за якого продуктивність шнекового транспортера буде максимальною. Встановлено, що продуктивність зростає із збільшенням внутрішнього діаметра кожуха шнека і частоти обертання гвинтових робочих органів у випадку горизонтального розташування.

Ключові слова:

гвинтовий транспортер,
еластичний елемент
транспортера,
гвинтовий робочий орган,
параметри гвинтового
транспортера,
ступінь пошкодження зерна

Історія публікації:

Отримано 25.10.2021

Затверджено 08.12.2021

***Автор для листування:**

gevkoivan1@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi47.649

Цитувати цю статтю:

Гевко, Ів. Б., Довбуш, Т. А., Цьонь, О. П., Довбуш, А. Д., & Станько, А. І. (2021). Синтез гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями та результати їх дослідження. *Сільськогосподарські машини*, 47, 63-72. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.649>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Гвинтові транспортери мають широке використання у різних галузях економіки, зокрема у фармацевтичній галузі, харчовій та переробній промисловості, а також у сільськогосподарському виробництві для переміщення зерна, міңдобрив тощо. З огляду на галузь застосування, до гвинтових транспортерів висуваються специфічні вимоги, зокрема щодо безпечності переміщення сипких матеріалів (зерна та насіння різних сільськогосподарських культур), які легко пошкоджуються. Незважаючи на значну кількість проведених наукових досліджень у цьому напрямі все ж існує проблема, що пов'язана із забезпеченням зменшення пошкодження насінневих зернових матеріалів під час їх транспортування гвинтовими транспортерами. Відтак, постала проблема зумовлює потребу у проведенні подальшого наукового пошуку і дослідження прогресивних конструкцій гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями.

Проектуванню гвинтових транспортерів та теоретичному обґрунтуванню процесів їх функціонування присвячені наукові праці (Невко *et al.*, 2015; Невко *et al.*, 2016; Гевко *та ін.*, 1993; Герман, 1975; Григорьев, 1967; Ловейкін & Рогатинська, 2005; Рогатинський *та ін.*, 2013; Рогатинський *та ін.*, 2019).

Проблемам синтезу машинобудівних конструкцій методом морфологічного аналізу присвячені наукові праці (Кузнецов, 2004; Одрин & Картавов, 1977; Половинкин, 1988). У дослідженнях (Бойко & Куликівський, 2021; Залуцький, 2018; Мерчалова, 1992) було встановлено, що руйнування зернини залежить від напружень її защемлення у зазорі «виток гвинтового робочого органу – кожух» та у випадку збільшення цього зазору від 2 мм до 7 мм, за постійної швидкості переміщення зерна, травмування зерна зростає. Тому для зменшення ступеня пошкодження зерна і забезпечення його надійного переміщення були розроблені гвинтові робочі органи із еластичними поверхнями. Разом із тим, питанню, що пов'язане з пошуком конструкцій шнеків для переміщення сипких матеріалів із мінімальним пошкодженням, на сьогодні недостатньо приділено уваги, що зумовлює потребу в подальших дослідженнях.

Мета дослідження – проведення синтезу гвинтових робочих органів транспортерів методом ієрархічного групування із використанням морфологічного аналізу для отримання конструкцій гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями, які не пошкоджують зернові матеріали, а також проведення дослідження функціонування цих робочих органів.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для пошуку нових варіантів гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями, які б забезпечували мінімальне пошкодження зернових матеріалів, використано метод синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу (Гевко *та ін.*, 2016). У результаті проведеного аналізу впливу різних факторів на процес транспортування зернових сипких матеріалів шляхом структурно-схематичного синтезу із застосуванням морфологічного аналізу було визначено обмежену кількість їх складових елементів та зв'язків між ними, які представляють конструктивні ознаки. На основі цього складена морфологічна матриця у вигляді **таблиці**. Таблиця містить стовпці, в яких представлені морфологічні ознаки елементів гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями, що забезпечують мінімальне пошкодження зернових матеріалів, і зв'язки між ними, а також альтернативи кожної ознаки без критичного аналізу. Обрані такі основні морфологічні ознаки: привод, шнек, який поділяється на гвинтовий робочий орган із еластичними поверхнями та кожух, і завантажувальний механізм.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Морфологічну модель конструктивних ознак та елементів гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями (**таблиця**) можна представити у вигляді морфологічної матриці, що утворена із використанням методу синтезу ієрархічних груп та морфологічного аналізу. У випадку використання цього методу синтезу кількість варіантів визначатиметься за формулою (Гевко *та ін.*, 2016):

$$N = \sum_{z=1}^l \sum_{x=1}^q \prod_{i=1}^m K_i, \quad (1)$$

Таблиця – Морфологічна таблиця ознак конструктивних елементів гвинтових транспортерів із гвинтовими робочими органами, що оснащені еластичними поверхнями

1.1. Електропривод. 1.2. Двигун внутрішнього згорання.	1. Вид	Привод		
2.1. Безперервний. 2.2. Циклічний (з прискоренням і сповільненням).	2. Вид руху			
3.1. Один. 3.2. Два.	3. Кількість			
4.1. Суцільна. 4.2. Секційна.	4. Конструкція гвинта	Конструкція гвинта з еластичними поверхнями	Шнек	
5.1. Жорсткий. 5.2. Гнучкий. 5.3. Комбінований.	5. Жорсткість гвинта			
6.1 Одно типова. 6.2. Багато типова.	6. Комбінація спіралі			
7.1. Однозахідний. 7.2. Двозахідний. 7.3. Багатозахідний.	7. За кількістю спіралей			
8.1. З одним кроком. 8.2. З різним кроком.	8. За кроком			
9.1. З суцільним прорізом основи для кріплення еластичних елементів. 9.2. З круглими отворами основи для кріплення еластичних елементів. 9.3. З еліпсоподібними отворами основи для кріплення еластичних елементів. 9.4. Із суцільним полімерним покриттям спіралі. 9.5. Із суцільним полімерним покриттям спіралі та основи. 9.6. Із кріпленням еластичних гвинтових пелюстків на спіралі. 9.7. Із торцевим кріпленням еластичних елементів в отворах спіралі. 9.8. Із кріпленням еластичних елементів у швелероподібній основі спіралі. 9.9. Спіраль із подвійною основою кріплення еластичних елементів. 9.10. З периферійними стичними накладками на спіралі. 9.11. З периферійною еластичною щіткоподібною частиною на спіралі. 9.12. З суцільним периферійним камеро-подібним елементом на спіралі.	9. Тип гвинта			
10.1. Спіральний. 10.2. Стрічковий. 10.3. Гофрований. 10.4. Лопатевий.	10. Профіль			
11.1. Додатковою внутрішньою основою. 11.2. Гвинтами.	11. Спосіб кріплення			
12.1. Суцільна. 12.2. Секційна. 12.3. З еластичною внутрішньою основою.	12. Конструкція жолоба			
13.1. Гравітаційний. 13.2. Примусовий. 13.3. Роздільний. 13.4. З калібруванням. 13.5. З подрібненням.	13. Процес			Завантажувальний механізм
14.1. Бункер. 14.2. Насадка. 14.3. Завантажувальний пристрій (підбирач).	14. Тип			

де z – ієрархічний рівень; l – кількість ієрархічних рівнів; x – підгрупа ієрархічного рівня; q – кількість підгруп ієрархічного рівня; K_i – альтернатива конструктивної ознаки елемента підгрупи ієрархічного рівня; m – кількість альтернатив конструктивної ознаки елементів підгрупи ієрархічного рівня.

Модель механічної системи гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями, складена відповідно до запропонованого групування, представлена на **рис. 1**. Загальна кількість генерованих варіантів гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями у випадку використання методу синтезу:

$$N_{eu} = \begin{matrix} 9.1 \\ 9.2 \\ 9.3 \\ 9.4 \\ 9.5 \\ 9.6 \\ 9.7 \\ 9.8 \\ 9.9 \\ 9.10 \\ 9.11 \\ 9.12 \end{matrix} + \begin{matrix} 10.1 \\ 10.2 \\ 10.3 \\ 10.4 \\ 10.5 \\ 10.6 \\ 10.7 \\ 10.8 \end{matrix} + \begin{matrix} |4.1| \\ |4.2| \end{matrix} + \begin{matrix} |5.1| \\ |5.2| \\ |5.3| \end{matrix} + \begin{matrix} |6.1| \\ |6.2| \end{matrix} + \begin{matrix} |7.1| \\ |7.2| \\ |7.3| \end{matrix} + \begin{matrix} |8.1| \\ |8.2| \end{matrix} + \begin{matrix} |12.1| \\ |12.2| \\ |12.3| \\ |12.4| \\ |12.5| \end{matrix} + \begin{matrix} |1.1| \\ |1.2| \end{matrix} + \begin{matrix} |2.1| \\ |2.2| \end{matrix} + \begin{matrix} |3.1| \\ |3.2| \end{matrix} + \begin{matrix} |13.1| \\ |13.2| \\ |13.3| \\ |13.4| \\ |13.5| \end{matrix} + \begin{matrix} |14.1| \\ |14.2| \\ |14.3| \end{matrix} = 127. \quad (2)$$

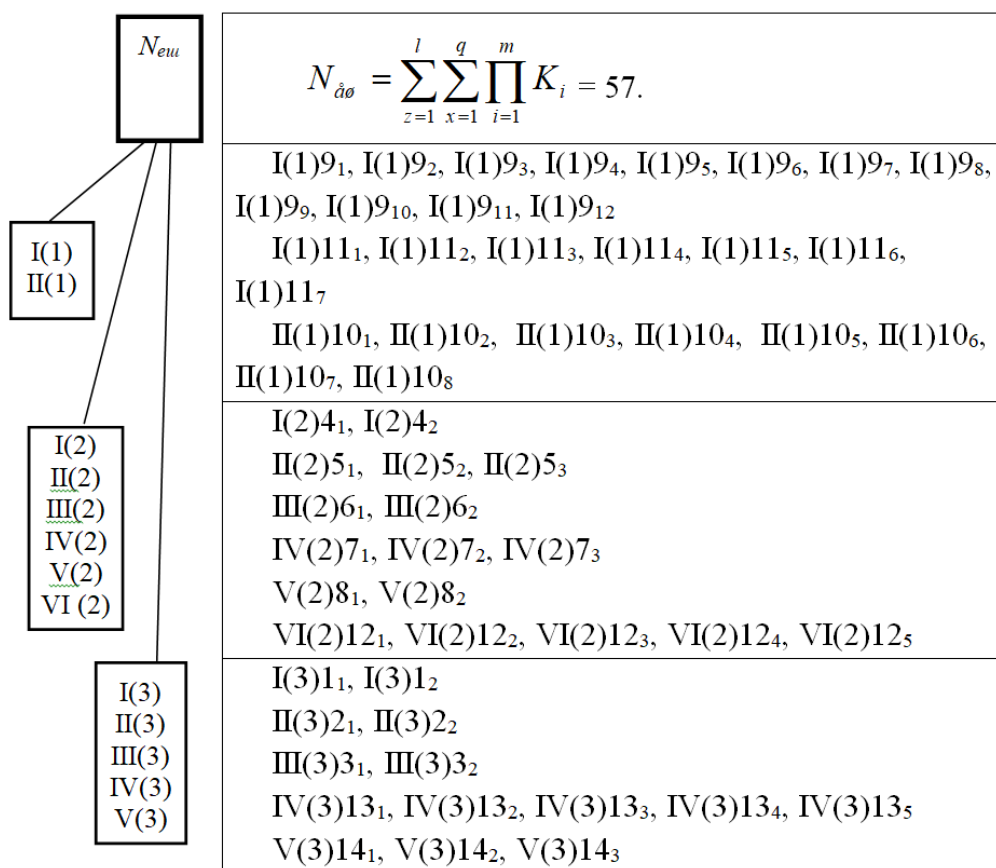


Рис. 1 – Модель механічної системи «Конструктивні ознаки та елементи гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями»: I–VIII – підгрупи ієрархічного рівня; (1)–(3) – відповідні ієрархічні рівні

Використовуючи метод синтезу були розроблені конструкції транспортерів із гвинтовими робочими органами, що оснащені еластичними поверхнями, які порівняно із традиційними мають кращі характеристики. Так, на **рис. 2** представлено досліджувані гвинтові робочі органи (ГРО) із еластичними поверхнями, а на **рис. 3** їх загальний вигляд у бункері дослідної установки (*Гевко та ін., 2021*). Зокрема, на **рис. 2, а**, **рис. 2, в** і **рис. 2, д** представлені їх конструктивні схеми, а на **рис. 2, б**, **рис. 2, г** та **рис. 2, е** – загальний вигляд ГРО, що представлений на **рис. 2, а** і **рис. 2, б**,

виконано із щіткоподібним елементом. Під час розроблення та виготовлення цього ГРО використана конструктивна ознака 9.2.

На **рис. 2, в** та **рис. 2, г** представлено ГРО із периферійною еластичною щіткоподібною частиною. Під час розроблення і виготовлення цього ГРО використана конструктивна ознака 9.11. На **рис. 2, д** та **рис. 2, е** представлено розроблений ГРО, що оснащений суцільним периферійним камеро-подібним елементом. Під час розроблення та виготовлення цього ГРО було використано конструктивну ознаку 9.12 (*таблиця*).

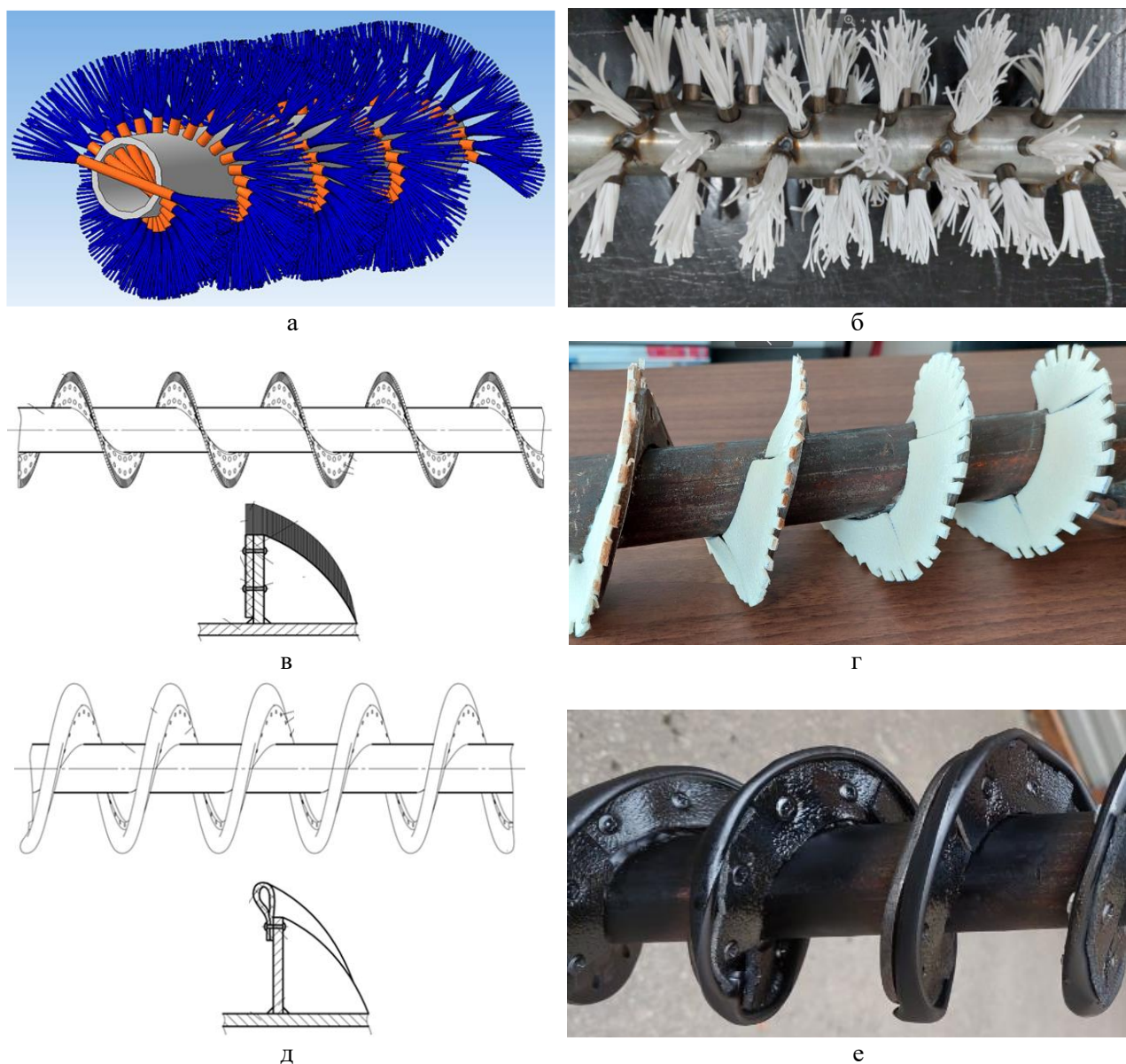


Рис. 2 – Гвинтові робочі органи із еластичними поверхнями:
а, в, д – конструктивні схеми; б, г, е – загальний вигляд

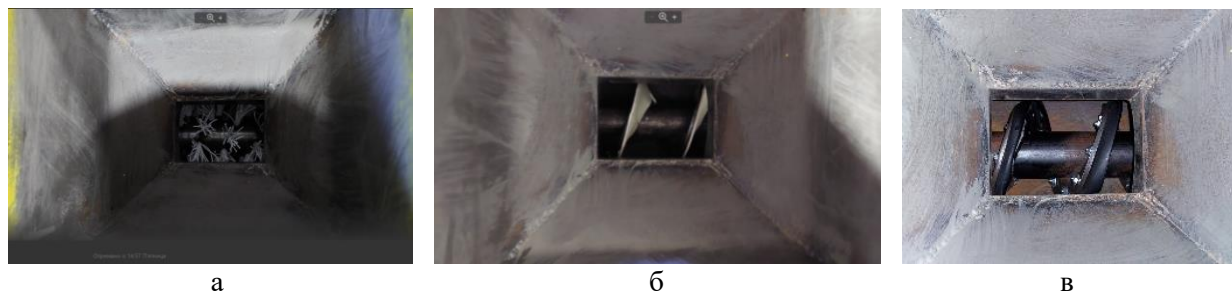


Рис. 3 – Загальний вигляд бункера шнека із еластичними поверхнями:

а – із щіткоподібним елементом; б – із периферійною еластичною щіткоподібною частиною; в – із суцільним камеро-подібним елементом

Використовуючи розроблену дослідну установку (Гевко та ін., 2021) (рис. 4) та представлені гвинтові робочі органи із еластичними поверхнями були проведені експерименти із дослідження продуктивності гвинтового транспортера Q (т/год), який оснащений розробленими ГРО, під час транспортування проса.

Дослідження проводилися за відсутності зазору між кожухом і ГРО ($\Delta = 0$ мм) та за таких параметрів: частота обертання шнека $n = 284$ об/хв, $n = 397,6$ об/хв та $n = 511,2$ об/хв (що відповідало 10, 14 та 18 Гц показникам регулювання частоти осцилографа ALTI-NAR-71); внутрішній діаметр кожуха $D = 96$ мм, $D = 102$ мм та $D = 108$ мм; кут нахилу ГРО $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 15^\circ$ та $\alpha = 30^\circ$.

За результатами оброблення дослідних даних побудовані поверхні відгуку зміни продуктивності гвинтових транспортерів Q , оснащених робочими органами із еластичними

поверхнями, залежно від діаметра D кожуха та частоти обертання шнека n . На рис. 5, а представлені поверхні відгуку продуктивності Q для ГРО, що оснащений щіткоподібним елементом, на рис. 5, б – продуктивності Q для ГРО, оснащеного периферійною еластичною щіткоподібною частиною, а на рис. 5, в – продуктивності Q для ГРО, що оснащений суцільним камеро-подібним елементом.

Аналіз отриманих даних показує (рис. 5), що найбільша продуктивність $Q = 6,8$ т/год досягається у випадку використання ГРО із суцільним камеро-подібним елементом (за параметрів $D = 108$ мм, $n = 511,2$ об/хв, $\alpha = 0^\circ$). Дещо менша продуктивність $Q = 5,6$ т/год досягається у випадку використання ГРО із еластичною щіткоподібною частиною (за параметрів $D = 108$ мм, $n = 511,2$ об/хв, $\alpha = 0^\circ$). Найнижча продуктивність $Q = 3,9$ т/год у ГРО, що оснащений щіткоподібним елементом (за параметрів $D = 108$ мм, $n = 397,6$ об/хв, $\alpha = 0^\circ$).

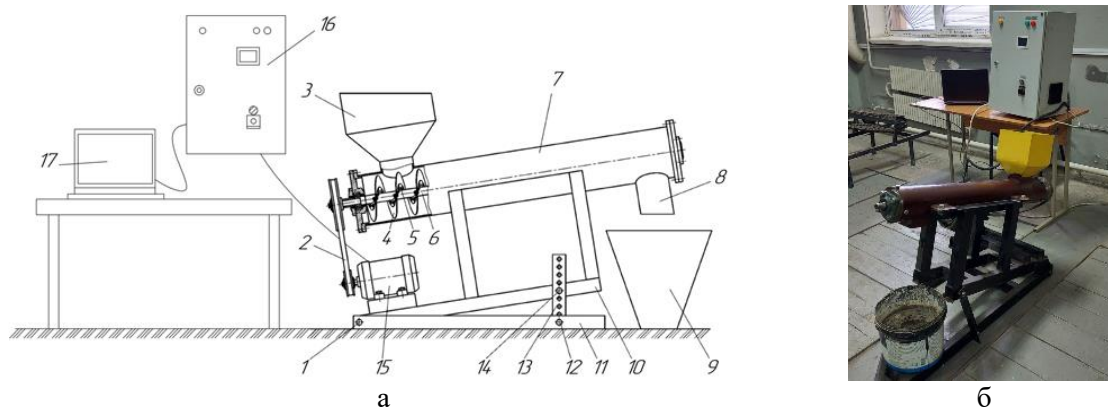


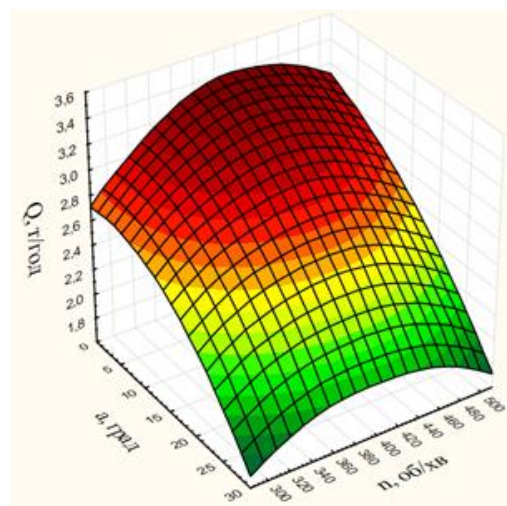
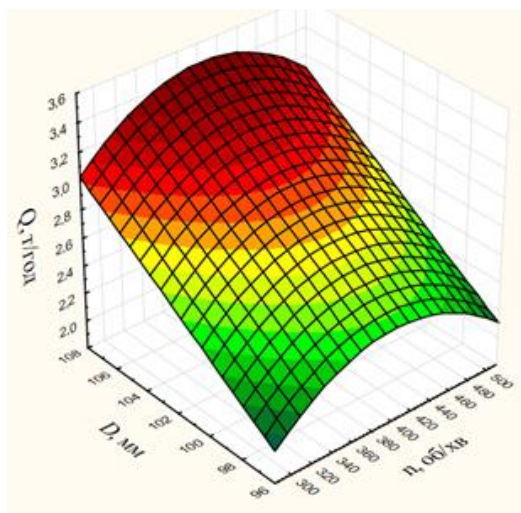
Рис. 4 – Схема (а) установки для дослідження ГРО із еластичними поверхнями та її вигляд (б):

1, 12, 14 – шарнірне з'єднання; 2 – кінематична передача; 3 – бункер; 4 – шнек;

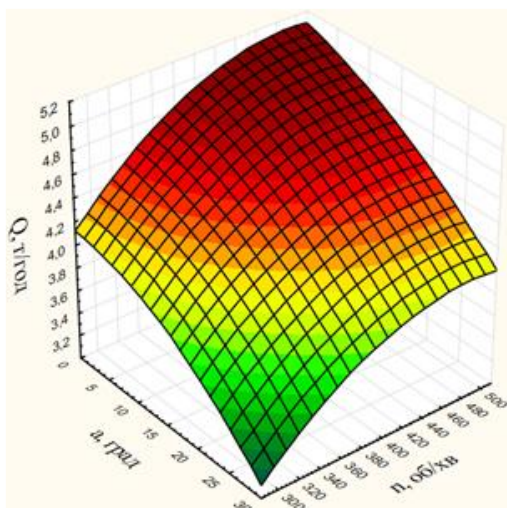
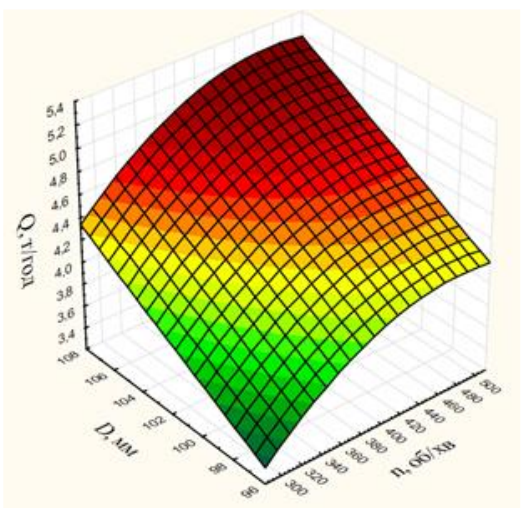
5 – еластична поверхня; 6 – вал шнека; 7 – корпус шнека; 8 – вивантажувальний патрубков;

9 – місткість; 10 – рухома рама; 11 – нерухома рама; 13 – регульовальні отвори; 15 – двигун;

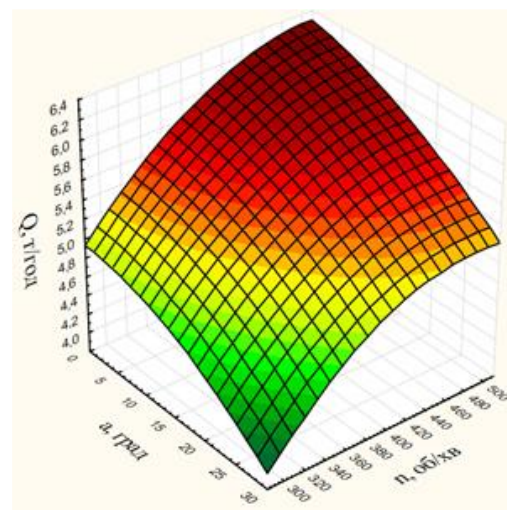
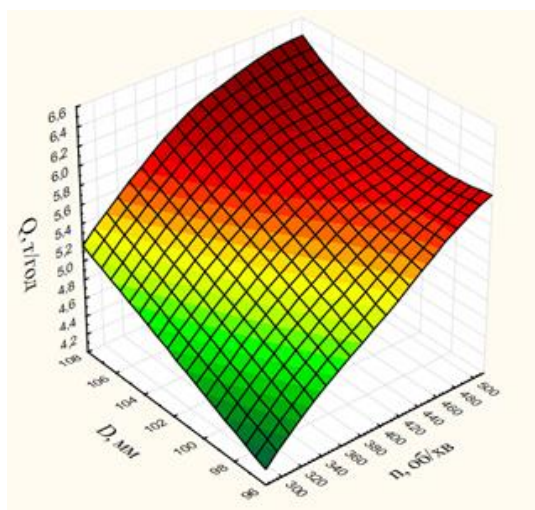
16 – пульт керування; 17 – монітор



а



б



в

Рис. 5 – Поверхні відгук $Q(D,n)$ та $Q(\alpha,n)$ для випадків переміщення проса транспортером із гвинтовими робочими органами, що оснащені:
 а – щіткоподібним елементом; б – периферійною еластичною щіткоподібною частиною;
 в – суцільним камеро-подібним елементом

Максимальна продуктивність гвинтового транспортера у випадку переміщення проса ГРО із суцільним камеро-подібним елементом на 21,4% більша, ніж у випадку використання ГРО із еластичною щіткоподібною частиною, і на 74,4% більша порівняно із використанням ГРО із щіткоподібним елементом.

За результатами дослідження можна зробити висновок, що продуктивність зростає із збільшенням внутрішнього діаметра кожуха та частоти обертання ГРО. Лише для ГРО із щіткоподібним елементом із зростанням частоти понад 400 об/хв спостерігається зменшення продуктивності. Продуктивність ГРО із суцільним камеро-подібним елементом, зростає на 54,5% (за кута $\alpha = 0^\circ$), а у випадку ГРО із еластичною щіткоподібною частиною – на 55,6%. Із зростанням кута нахилу ГРО продуктивність знижується для усіх типів гвинтових робочих органів.

Дослідження із визначення ступеня травмування проса показали, що ступінь його травмування ГРО із суцільним камеро-подібним елементом порівняно з ГРО із щіткоподібним елементом є дещо вищим і майже не відрізняється від показників для випадку використання ГРО із периферійною еластичною щіткоподібною частиною.

Порівнюючи одержані результати із травмування зернового матеріалу під час переміщення жорстким шнеком, які представлені у праці (Залуцький, 2018), можна констатувати, що ступінь травмування проса розробленими ГРО із еластичними елементами є значно меншим. Разом із тим, це питання потребує більш глибокого вивчення та аналізу.

ВИСНОВКИ

Проведено структурний синтез ГРО із еластичними поверхнями, що забезпечують мінімальне пошкодження зерна, методом ієрархічного групування із використанням морфологічного аналізу за результатами якого отримано декілька прогресивних конструкцій.

На основі згенерованих конструктивних рішень було розроблено та виготовлено ГРО із еластичними поверхнями, а також досліджено його функціонування під час транспортування проса. Зокрема встановлено, що максимальна продуктивність переміщення зерна гвинтовим транспортером досягається у випадку використання ГРО, що оснащений суцільним камеро-подібним елементом ($Q = 6,8$ т/год за

параметрів $D = 108$ мм, $n = 511,2$ об/хв, $\alpha = 0^\circ$). Менша продуктивність досягається у випадку використання ГРО з периферійною еластичною щіткоподібною частиною ($Q = 5,6$ т/год за параметрів $D = 108$ мм, $n = 511,2$ об/хв, $\alpha = 0^\circ$). Значно нижчу продуктивність гвинтового конвеєра забезпечує ГРО, що оснащений щіткоподібним елементом ($Q = 3,9$ т/год за параметрів $D = 108$ мм, $n = 397,6$ об/хв, $\alpha = 0^\circ$).

Також встановлено, що продуктивність шнека, переважно, зростає із збільшенням внутрішнього діаметра кожуха і частоти обертання ГРО за його горизонтального положення. Із зростанням кута нахилу ГРО гвинтового конвеєра продуктивність завжди зменшується.

Аналіз результатів експериментальних досліджень із визначення ступеня травмування проса показав, що ступінь травмування проса ГРО із суцільним камеро-подібним елементом порівняно з ГРО із щіткоподібним елементом є дещо вищим і майже не відрізняється від показника для випадку використання ГРО з периферійною еластичною щіткоподібною частиною. Крім того, ступінь травмування проса запропонованими ГРО є значно нижчим порівняно з жорсткими шнеками.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Hevko, R. B., Zalutskyi, S. Z., Tkachenko, I. G., & Klendiy, O. M. (2015). Development and investigation of reciprocating screw with flexible helical surface. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 46(2), 133-138.
- Hevko, R., Dzyadykevych, Y., Tkachenko, I., & Zalutskyi, S. (2016). Parameter justification for interworking relationship of elastic screw operating element with grain material. *Scientific Journal of TNTU*, 81(1), 77-87.
- Бойко, А. І., & Куликівський, В. Л. (2021). Дослідження контактної взаємодії зерна в зазорі «виток-кожук» шнекових живильників зерноочисних машин (*Investigation of contact interaction of grain in the gap «coil-shell» of screw feeders of grain cleaning machines*). *Науковий вісник НУБіПУ. Техніка та енергетика АПК*, 166(1), 267-274.
- Гевко, Б.М., Данильченко, М.Г., Рогатинський, Р.М. та ін. (1993). *Механізми з гвинтовими пристроями (Mechanisms with screw devices)*. Львів: Світ.
- Гевко, Ів. Б., Гудь, В. З., Шуст, І. М. та ін. (2016). Синтез телескопічних гвинтових конвеєрів (*Synthesis of telescopic screw conveyors*). *Вісник Харківського національного технічного*

- університету сільського господарства імені Петра Василенка. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві, 168, 85-91.
- Гевко, Ів. Б., Гевко, М. Р., Залуцький, С. З., & Станько, А. І. (2021). Установка для дослідження параметрів шнекових механізмів з еластичними змінними поверхнями (*Equipment for research of parameters of screw mechanisms with elastic variable surfaces*). В *Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф., присвячена пам'яті професора Гевка Богдана Матвійовича*. Тернопіль, Україна, (С. 70-71).
- Герман, Х. (1975). *Шнековые механизмы в технологии (Screw mechanisms in technology)*. Ленинград: Химия.
- Григорьев, А. М. (1967). *Гибкие шнеки (Flexible augers)*. Киев: Знание.
- Залуцький, С. З. (2018). *Обґрунтування параметрів шнеків з робочою еластичною поверхнею для транспортування сільськогосподарських матеріалів (Substantiation of parameters of screws with a working elastic surface for transportation of agricultural materials)* [Дисертація канд. техн. наук]. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль.
- Кузнецов, Ю. М. (2004). *Прогнозування розвитку технічних системи (Forecasting the development of technical systems)*. ТОВ «ЗМОК», ПП «ГНОЗІС».
- Ловейкін, В. С., & Рогатинська, О. Р. (2005). Вибір раціональних параметрів та режимів роботи вертикальних гвинтових конвеєрів (*Selection of rational parameters and regimes of operation of vertical screw conveyors*). *Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету*, 23, 181-195.
- Мерчалова, М. Е. (1992). *Снижение травмирования зерна пшеницы за счет совершенствования технологического процесса его послеуборочной обработки (Reducing injury to wheat grain by improving the technological process of its post-harvest processing)* [Автореф. диссертации канд. техн. наук]. ВГАУ, Воронеж.
- Одрин, В. М., & Картавов, С. С. (1977). *Морфологический анализ систем: построение морфологических матриц (Morphological analysis of systems: construction of morphological matrices)*. Київ: Наукова думка.
- Половинкин, А. И. (1988). *Основы инженерного творчества (Fundamentals of engineering creativity)*. Москва: Машиностроение.
- Рогатинський, Р. М., Гевко, І. Б., Ляшук, О. Л. та ін. (2019). *Перспективні гвинтові конвеєри: конструкції, розрахунок, дослідження (Promising screw conveyors: design, calculation, research)*. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А.
- Рогатинський, Р., Гевко, Ів., & Рогатинська, Л. (2013). Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних системи (*Parameter optimization of screw transport-technological systems*). *Вісник ТНТУ*, 1(69), 116-125.

CALCULATION AND SELECTION OF STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ROTARY RIPPERS. Zamoysky¹, V. Oleksandrenko¹, M. Dovzhik², A. Martyniuk^{1*}, V. Kurskoy¹¹*Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, Ukraine*²*Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine*

AGRICULTURAL MACHINES

AM
СМ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

Tillage equipment with active working bodies are widely used for surface tillage. Rotary ripper is the most common equipment for soil surface tillage. When designing tillage equipment and working bodies, it is necessary to take into account that equipment must ensure high quality tillage, the ability to change the regime of cutting the soil in a wide range. Comparison of tillage equipment for soil surface tillage shows that the best quality of soil preparation for sowing cereals is provided by active working bodies. But active working bodies also have disadvantages: insufficient earning of stubble and crop residues in the soil, high energy consumption, complex design. Therefore, the study of design parameters of the rotary ripper and parameter dependence on the physical and mechanical properties of the soil is an urgent task today. The aim of the research is to establish the dependence of the quality of the technological process on the design parameters of the rotary ripper and the physical and mechanical properties of the soil. The main design and technological parameters of the rotary ripper are rotor radius, length and width of the knife, angle of shear of the knife, cutting angle, drum diameter, kinematic regime, speed of rotor rotation, pitch of knives, distance between knives, power consumption, the degree of grinding of the soil. The structure and degree of soil grinding depend on the speed of the tillage equipment and the indicator of the kinematic regime. The result of the proposed method of calculating the kinematic regime and optimization of related parameters is to improve agronomic performance and quality of soil tillage. The use of this technique in the design of rotary tillage equipment and substantiation of technological regimes of the rotary ripper will reduce energy consumption for technological operations of tillage and significantly improve the quality of prepared soil for sowing.

Key words:

soil,
soil surface tillage,
rotary ripper,
design and technological
parameters of the ripper,
depth of tillage

Article history:

Received 10.10.2021

Accepted 08.12.2021

***Corresponding author:**

avmart@khnmu.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi47.650**To cite this article:**

Zamoysky, S., Oleksandrenko, V., Dovzhik, M., Martyniuk, A., & Kurskoy, V. (2021). Calculation and selection of structural and technological parameters of rotary ripper. *Agricultural Machines*, 47, 73-78. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.650>

УДК 658.285:631.3

РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТАЦІЙНОГО РОЗПУШУВАЧА**С.М. Замойський¹, В.П. Олександренко¹, М.Я. Довжик²,
А.В. Мартинюк^{1*}, В.С. Курской¹**¹Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна²Сумський національний аграрний університет, Суми, Україна

AGRICULTURAL MACHINES



СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Для поверхневого обробітку ґрунту широко застосовуються ґрунтообробні знаряддя з активними робочими органами. Найбільш поширені ротаційні розпушувачі ґрунту. Під час проектування цих знарядь і їх робочих органів необхідно враховувати, що вони повинні, в першу чергу, забезпечувати високу якість обробітку ґрунту, можливість зміни режиму різання ґрунту в широкому діапазоні. Якщо порівняти ґрунтообробні знаряддя для поверхневого обробітку ґрунту, то кращу якість підготовки ґрунту під посів зернових культур забезпечують активні робочі органи, але й вони мають певні недоліки: недостатнє зароблення стерні і пожнивних решток у ґрунт, велика енергоємність, складна конструкція. Тому дослідження конструкційних параметрів розпушувача та їх залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту є на сьогодні актуальним завданням. Основними конструкційними і технологічними параметрами ротаційного розпушувача є: радіус ротора, довжина та ширина ножа, кут зсуву ножа в плані, кут різання, діаметр барабана, показник кінематичного режиму, частота обертання ротора, крок витка ножів, віддаль між ножами, споживана потужність на обробітку ґрунту, ступінь подрібнення ґрунту. Від швидкості ґрунтообробного знаряддя та показника кінематичного режиму залежить структура і ступінь подрібнення ґрунту. Результатом запропонованої методики розрахунку показника кінематичного режиму і оптимізації пов'язаних із ним параметрів є підвищення агротехнічних показників та якості обробітку ґрунту. Використання цієї методики під час проектування ротаційних ґрунтообробних знарядь дозволить забезпечити зменшення енерговитрат на обробітку ґрунту і значно покращити якість підготовки ґрунту до сівби.

Ключові слова:

ґрунт,
поверхневий обробіток ґрунту,
ротаційний розпушувач,
конструкційно-технологічні
параметри розпушувача,
глибина обробітку ґрунту

Історія публікації:

Отримано 10.10.2021

Затверджено 08.12.2021

***Автор для листування:**

avmart@khmnu.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi47.650

Цитувати цю статтю:

Замойський, С. М., Олександренко, В. П., Довжик, М. Я., Мартинюк, А. В., & Курской, В. С. (2021). Розрахунок та вибір конструкційних і технологічних параметрів ротаційного розпушувача. *Сільськогосподарські машини*, 47, 73-78. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.650>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Однією з найбільш трудомістких операцій в технологічному процесі вирощування різних сільськогосподарських культур є обробіток ґрунту. Подрібнення ґрунту ґрунтообробними знаряддями відбувається механічним способом, тобто ґрунтовий моноліт руйнується під дією на нього робочого органу. Існує декілька різновидів механічного способу подрібнення ґрунту: різання, сепарування, стискування, роздавлювання, «гравітаційне падіння», розколювання, перетирання, злом, удар. Найбільш поширений спосіб руйнування ґрунтової скиби – це різання під час якого ріжучий орган у формі клину знімає стружку за рахунок деформації сколу за визначеними траєкторіями, які залежать від параметрів ріжучого органу і властивостей ґрунту.

На сьогодні поряд із ґрунтообробними знаряддями для суцільного обробітку ґрунту (лемішні плуги; стрілчасті, розпушуючі та голчасті культиваторні лапи; дискові робочі органи борін, лушпильників та плугів; зубові борони; долота плоскорізів-глибокорозпушувачів), які оснащені пасивними робочими органами, широко використовуються ротаційні ґрунтообробні знаряддя, які забезпечують кращу якість підготовки ґрунту, але під час розроблення цих машин і їх робочих органів необхідно враховувати, що машини мають відповідати вимогам (Замойська, 2008; Панченко, 1998):

- забезпечувати необхідну якість обробітку ґрунту;
- мати високу прохідність, що забезпечувала б роботу на вологих ґрунтах;
- забезпечувати можливість зміни робочих режимів різання ґрунту так, щоб не відбувалося намотування рослинних решток і залипання робочих органів вологим ґрунтом;
- залишати поверхню ґрунту після обробітку без борозен і гребнів;

Аналіз публікацій показав, що питаннями поверхневого обробітку ґрунту під посів різних зернових культур займалися вчені: Зеленін А.М., Панов І.М., Синеоков Г.І., Герук С.М., Босой Є.С., Сакун В.А., Яцук Є.П., Панченко А.М., Коновал А.І. та ін. (Замойська, 2008). Вони сформуливали основи теорії різання ґрунту пасивними і активними робочими органами різних типів. Актуальними є праці професора Панченка А.М. (Панченко, 1998;

Панченко, 1999; Панченко, 2002), які присвячені різанню ґрунту активними робочими органами. У цих працях зазначено, що існуючі ґрунтообробні ротаційні знаряддя мають деякі недоліки: висока енергомісткість обробітку ґрунту, показник кінематичного режиму $\lambda = 4-16$, невелика швидкість руху. У працях (Замойська, 2008; Замойський & Замойська, 2015) оптимізовані конструкційно-технологічні, а також енергетичні параметри ротаційних ґрунтообробних знарядь, що впливають на поверхневий обробіток ґрунту.

Мета дослідження – розроблення методики розрахунку конструкційних та технологічних параметрів і режимів роботи ротаційного розпушувача ґрунту, а також визначення їх впливу на якісні показники поверхневого обробітку ґрунту під посів різних сільськогосподарських культур шляхом розкриття сукупності явищ дії ножів розпушувача на ґрунт.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Під час дослідження проведено ґрунтовий аналіз джерел науково-технічної інформації із досліджуваного питання. Проведені теоретичні дослідження базувалися на положеннях теоретичної механіки, опору матеріалів та теорії різання ґрунту активними робочими органами.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Ураховуючи результати дослідження ротаційного розпушувача, що висвітлені у працях (Замойська, 2008; Замойський & Замойська, 2015; Замойський & Замойська, 2016; Замойський & Замойська, 2017), розроблена методика розрахунку його конструктивних та технологічних параметрів і режимів роботи.

Ротаційний розпушувач ґрунту, який представлено на **рис.**, містить раму, на якій розташовано барабан із основними та додатковими ножами. З одного боку від осьової лінії машини основні ножі розташовані під кутом до осі барабана і закріплені на барабані за гвинтовою лінією з правою навівкою до основної лінії машини. З другого боку від осьової лінії машини розпушувач містить основні ножі, які розташовані під кутом до барабана за гвинтовою лінією з лівою

навивкою (Замойський & Замойська, 2015; Замойський & Замойська, 2016; Замойський & Замойська, 2017). Привод робочих органів розпушувача відбувається через ланцюгову передачу, конічний редуктор та вал відбору потужності трактора.

Ротаційний розпушувач ґрунту працює таким чином. Під час переміщення машини вздовж поля основні ножі розпушують нижні шари ґрунту, а додаткові ножі – верхні шари ґрунту з одночасним подрібненням рослинних решток, перемішуючи верхні і нижні шари ґрунту вздовж осі барабана назустріч один одному, що полегшує деформацію ґрунту і покращує якість розпушування.

У конструкції ротаційного розпушувача передбачена можливість зміни режимів його роботи, зокрема швидкості ґрунтообробного знаряддя та показника кінематичного режиму. Від цих параметрів залежить структура подрібненого і ступінь подрібнення ґрунту.

Початковими даними для визначення параметрів ротаційного розпушувача є: фізико-механічні властивості ґрунту і технологічні умови роботи. До фізико-механічних властивостей ґрунту можна віднести: об'ємну масу ґрунту γ ; кути зовнішнього φ_1 і внутрішнього φ_2 тертя; питоме зчеплення частинок ґрунту C_{num} ; коефіцієнт допустимої несучої властивості ґрунту K' ; вологість ґрунту ω ; склад частинок τ розміром $d_{0,01} \leq 0,01$ мм. До технологічних умов проведення обробітку ґрунту відносяться: глибина обробітку ґрунту a ; швидкість руху

знаряддя V_M ; якість обробітку ґрунту (розмір структурних агрегатів D_{50} , коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів η); ширина захвату знаряддя B_0 .

Для ротаційного розпушувача основними параметрами є: радіус ротора R ; довжина ножа l ; ширина ножа l_H ; кут зсуву ножа в плані ε ; кут різання α_p ; діаметр барабана D_b ; показник кінематичного режиму λ ; частота обертання ротора n ; крок витка ножів T ; відстань між ножами ΔS ; споживана потужність на обробітку ґрунту N_2 ; ступінь подрібнення ґрунту i .

Проведемо розрахунок параметрів і режимів роботи ротаційного розпушувача. Радіус ротора розраховується за формулою:

$$R = a + 0,5D_b + 0,05; \quad (1)$$

де a – глибина обробітку ґрунту, м; D_b – діаметр барабана ($D_b = (0,6 - 0,8)a$), м; 0,05 – висота закріплення ножів, м.

Кут зсуву ножа в плані ε визначається із умови ковзання ґрунту поверхнею ножа:

$$\varepsilon \leq 90^\circ - \zeta; \quad (2)$$

де ζ – кут між напрямком руху ножа та нормаллю, яка проведена до поверхні ножа, град.

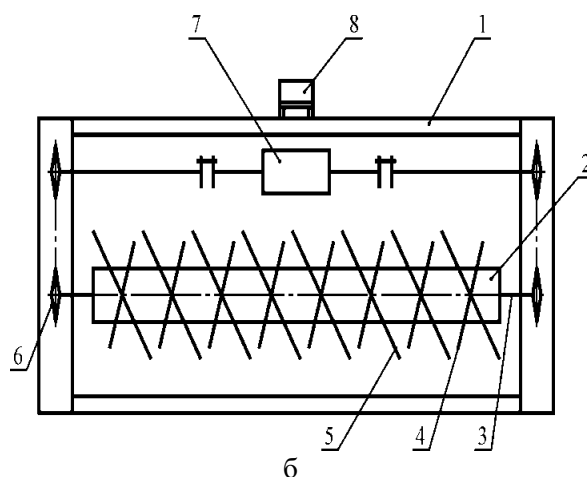
Для кута ζ має виконуватися умова:

$$\zeta > \varphi_1; \quad (3)$$

де φ_1 – кут зовнішнього тертя ґрунту, град.



а



б

Рис. – Ротаційний розпушувач ґрунту (а) та його схема (б):

1 – рама; 2 – барабан; 3 – вісь барабана; 4 – основні ножі; 5 – додаткові ножі; 6 – ланцюгова передача; 7 – конічний редуктор; 8 – вал відбору потужності

Кут різання ножа із умови кришення ґрунту складе:

$$\alpha_p \geq 45^\circ - \varphi_1. \quad (4)$$

Показник кінематичного режиму агрегата:

$$\lambda = \frac{2\pi R}{TV_M} \sqrt{\frac{1}{l_H \delta \gamma \sin(\varepsilon)} \times \left[\frac{P_{0i}(1 - \cos \alpha_0)}{\sin \alpha_0} + P_{0i} \operatorname{tg} \varphi_2 \right] \times (1 + \sin(\varepsilon) \cos(\varepsilon) \operatorname{tg}(\varphi_1))}; \quad (5)$$

де T – крок витка ножів, м; V_M – швидкість руху знаряддя, м/с; l_H – ширина ножа, м; δ – товщина стружки, м; γ – об'ємна маса ґрунту, т/м³; P_{0i} – осьове зусилля тиску структурних агрегатів на дно борозни, кН; α_0 – кут вкладання структурних агрегатів ($\alpha_0 = 48-50^\circ$ – для пухких ґрунтів; $\alpha_0 = 80-84^\circ$ – для щільних ґрунтів), град.

Крок витка розраховується за формулою:

$$T = (Z - 1) \times \left[\frac{2,64 \cos(45^\circ + \varphi_2) \operatorname{tg} \varphi_2 + \lambda Z \varepsilon}{2\pi R \cos\left(\arcsin\left(1 - \frac{a}{R}\right)\right)} + a + \varepsilon \right]; \quad (6)$$

де Z – кількість ножів, що розташовані за периметром кола ротора, шт; ε – ширина захвату ножа ($\varepsilon = l_H \cdot \sin(\varepsilon)$), м.

Товщина стружки (ґрунту):

$$\delta = \frac{2\pi R}{\lambda Z} \cos\left(\arcsin\left(1 - \frac{a}{R}\right)\right). \quad (7)$$

Осьове зусилля тиску структурних агрегатів ґрунту на дно борозни:

$$P_{0i} = 0,028e^{-4,08\bar{D}_{50i} - 0,0344\tau_i} \times (96,3 \cdot 10^{-5} \omega_i^2 - 0,058\omega_i + 1) \times (-142,0 \cdot 10^{-5} \eta + 0,236); \quad (8)$$

де \bar{D}_{50i} – розмір структурних агрегатів після розпушування ґрунту ножами, м; τ_i – склад частинок $d_{0,01} \leq 0,01$ мм, %; ω_i – вологість ґрунту, %; η – коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів.

Відстань між ножами розраховується за формулою:

$$\Delta S = \frac{[2,64\delta \cos(45^\circ + \varphi_2) \operatorname{tg}(\varphi_2) + \varepsilon]a}{\delta}. \quad (9)$$

Потужність, яка витрачається на обробіток ґрунту, розраховується згідно формули:

$$N_2 = \frac{B_0 \lambda V_M}{T} \left(P_{p1} + \frac{\pi \sigma^2 \varepsilon \delta K_L}{12 E T i^3} \left(\frac{i^3}{i_p^3} - 1 \right) + P_{p1} \operatorname{ctg}(\varepsilon + \varphi_1) + \operatorname{tg}(\varphi_1) \cos^2(\varepsilon) \right); \quad (10)$$

де B_0 – ширина захвату розпушувача, м; σ – границя міцності структурних агрегатів, кН/м²; E – модуль пружності ґрунту ($E = 28 \cdot 10^3 - 35 \cdot 10^3$ кН/м²), кН/м²; K_L – приведена довжина пласта ґрунту ($K_L = 1,0$ м), м; i – ступінь подрібнення ґрунту розпушувачем; i_p – ступінь подрібнення ґрунту ножем; P_{p1} – дотична складова опору різанню ґрунту ножем, кН.

Границя міцності структурних агрегатів ґрунту знаходиться із виразу:

$$\sigma = 135e^{0,049\tau_i} (-0,00152\omega_i^2 + 0,064\omega_i + 0,33). \quad (11)$$

Дотична складова опору різанню ґрунту ножем розраховується за формулою:

$$P_{p1} = C_{num} \delta \left[2\varepsilon + 2,64 \cos(45^\circ + \varphi_2) \right] \times \left[\operatorname{tg}(\varphi_2) + \cos(45^\circ + \varphi_2) + 2 \left(2C_{num} \delta^2 \cos(45^\circ + \varphi_2) \times \sin \left[\operatorname{arctg} \left[\frac{0,66 \operatorname{tg}(\varphi_2)}{\cos(45^\circ + \varphi_2)} \right] \right] \times \sin(45^\circ + \varphi_2) + 4,9 l_H \delta^2 \gamma \cos(\varepsilon) \times \operatorname{tg}^2(45^\circ - 0,5\varphi_2) \sin(\varphi_2) \right) \times \operatorname{tg}(\varphi_1) + K'(X + Z \operatorname{tg}(\varphi_1)) \varepsilon + \varepsilon \delta \gamma \frac{\sin(\varepsilon) \cos(\Theta')}{\sin(\varepsilon \Theta')} V_p^2 \right]; \quad (12)$$

де C_{nim} – питоме зчеплення частинок ґрунту, кН/м^2 ; K' – коефіцієнт допустимої несучої властивості ґрунту, кН/м^2 ; X, Z – параметри площі затушення ножа, м; Θ' – задній кут ножа ($\Theta' \geq 10^\circ$), град; V_p – швидкість обертання ротора ($V_p = \lambda \cdot V_M$), м/с.

Ступінь подрібнення ґрунту ротаційним розпушувачем визначається за емпіричною формулою:

$$i = 0,264e^{0,41\lambda + 0,173Z - 1,334T - 0,873V_M + 0,00463 \cdot \sigma} \times (0,0013\sigma + 0,714) \cdot (0,75a + 0,887). \quad (13)$$

Ступінь подрібнення ґрунту ножом:

$$i_p = 0,1e^{0,324\lambda + 0,173Z + 0,75V_M} \times (0,0013\sigma + 0,714). \quad (14)$$

Частота обертання ротора розраховується за формулою:

$$n = \frac{15V_M \lambda}{\pi R^2}. \quad (15)$$

ВИСНОВКИ

Використання запропонованої методики розрахунку конструкційних та технологічних параметрів ротаційних ґрунтообробних знарядь під час їх проектування та визначення режимів їх роботи дозволить забезпечити зменшення енерговитрат на обробіток ґрунту і значно покращити якість підготовки ґрунту до сівби сільськогосподарських культур.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Замойська, К. В. (2008). *Обґрунтування параметрів ротаційного розпушувача ґрунту* (Substantiation

of parameters of soil rotary ripper) [Автореф. дисертації канд. техн. наук]. Львівський національний аграрний університет, Львів, 2008.

Замойський, С. М., & Замойська, К. В. (2015). Аналіз досліджень ротаційних ґрунтообробних знарядь для поверхневого обробітку ґрунту (Analysis of research of rotary tillage equipment for soil surface tillage). *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*, 23, 33-43.

Замойський, С. М., & Замойська, К. В. (2016). Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів ротаційного розпушувача ґрунту (Optimization of structural and technological parameters of soil rotary ripper). *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*, 24, 114-123.

Замойський, С., & Замойська, К. (2017). Покращення якості поверхневого обробітку ґрунту ротаційним розпушувачем (Improving the quality of surface tillage with a rotary ripper). В *Сучасні проблеми землеробської механіки. Збірник наукових праць 18 міжн. наук. конф. Кам'янець-Подільський, Україна* (С. 103-105).

Панченко, А. Н. (1998). *Аналитический метод определения тяговых сопротивлений почвообработывающих и землеройных машин и оценка их эффективности для энерго-сберегающих технологий* (An analytical method for determining the traction resistance of tillage and earth-moving machines and assessing their effectiveness for energy-saving technologies). Киев: Урожай.

Панченко, А. Н. (1999). *Теория измельчения почв почвообработывающими орудиями* (Theory of soil crushing with tillage equipment). Днепропетровск: Полиграфист.

Панченко, А. Н. (2002). *Теория и расчет сельскохозяйственных машин* (Theory and calculation of agricultural machinery). Днепропетровск: ДГУ.

TECHNOLOGY OF SUPPLEMENTATION OF THE MOST COMMON ETERNAL EVERGREEN TREES AND SHRUBS IN THE CONDITIONS OF VOLYN REGION

N. Kovalchuk, A. Herasymchuk*, Y. Shymchuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES



ABSTRACT

*The article describes the beneficial properties of evergreen trees and shrubs as an important and integral part of human life and our planet as a whole. Particular attention is paid to the technology of reproduction of both coniferous and deciduous evergreen trees and shrubs, namely grafting to increase their species diversity and quantitative composition, the creation of highly ornamental and environmentally sustainable greenery, as well as to reduce the growing time for modern urbogenic conditions that have become global in recent decades. The method of grafting trees and shrubs was studied, the percentage of survival and growth rates of the most common evergreen plants in Volyn were studied, in order to include them in the future for landscaping. The object of the study were evergreen trees and shrubs, namely we studied such evergreen plants as *Thuja occidentalis* L. «Columna», *Thuja occidentalis* L. «Clobosa», *Thuja occidentalis* L. «Ericoides», *Thuja occidentalis* L. «Aurea Ellvangeriana», *Juniperus sabina* L., *Juniperus communis* L. «Hibernica», *Picea pungens* Engelm «Glauca», *Buxus sempervirens* L. During the research, methods of comparative analysis and synthesis of information, observation, description, generalization were used, as well as system and field methods, mathematical and statistical method were used. Measurements and observations of cuttings planted in the greenhouse and their number were carried out and the number of rooted and planted cuttings in open ground was determined. Also, the ratio of cuttings that took root in the total number of planted cuttings in percentage was calculated and the average size of underground and aboveground parts of plants that best take root and grow in the natural and climatic conditions of Volyn region was measured. In modern conditions, which are characterized by a high degree of anthropogenic pressure on natural ecosystems, these studies are extremely important and relevant, which is due to the need to find and alternative solutions to combat these processes directly in each region of Ukraine.*

Key words:

evergreen trees,
evergreen shrubs,
trees and shrubs cuttings,
trees and shrubs growth,
trees and shrubs reproduction

Article history:

Received 14.11.2021

Accepted 10.12.2021

***Corresponding author:**

alexgop2017@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi47.651

To cite this article:

Kovalchuk, N., Herasymchuk, A., & Shymchuk, Y. (2021). Technology of supplementation of the most common eternal evergreen trees and shrubs in the conditions of Volyn region. *Agricultural Machines*, 47, 79-86. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.651>

УДК 712.4 (477.82)

ТЕХНОЛОГІЯ ЖИВЦЮВАННЯ НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИХ ВІЧНОЗЕЛЕНИХ ДЕРЕВ ТА ЧАГАРНИКІВ В УМОВАХ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ**Н.П. Ковальчук, О.П. Герасимчук*, Ю.П. Шимчук***Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна*

AGRICULTURAL MACHINES

**АМ
СМ**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

У статті описано корисні властивості вічнозелених дерев та чагарників як важливої і невід'ємної частини життя людства і нашої планети в цілому. Особлива увага приділена технології розмноження хвойних і листяних вічнозелених дерев, чагарників, а саме живцюванню, яке проводиться для збільшення їх видової різноманітності та кількісного складу, створення високодекоративних та екологічно-стійких зелених насаджень, а також з метою скорочення термінів вирощування садивного матеріалу для сучасних урбогенних умов, що набули в останні десятиліття глобального характеру. Вивчено методика живцювання дерев та чагарників, досліджено відсоток приживання та темпи росту найпоширеніших на Волині вічнозелених рослин з метою їх подальшого використання для озеленення населених пунктів. Об'єктом дослідження були вічнозелені дерева та чагарники, зокрема вивчалися вічнозелені рослини *Thuja occidentalis* L. «Columna», *Thuja occidentalis* L. «Clobosa», *Thuja occidentalis* L. «Ericoides», *Thuja occidentalis* L. «Aurea Ellvangeriana», *Juniperus sabina* L., *Juniperus communis* L. «Hibernica», *Picea pungens* Engelms «Glauca», *Vixus sempervirens* L. При проведенні досліджень були застосовані методи порівняльного аналізу та синтезу інформації, спостереження, опису, узагальнення, а також був застосований системний і польовий методи, математико-статистичний метод. Під час дослідження здійснювали вимірювання та спостереження за висадженими живцями в теплиці та їх кількістю, визначали кількість прижитих і висаджених живців у відкритий ґрунт, розраховували співвідношення живців, що прижилися, до загальної кількості висаджених, вимірювали середні розміри підземної і надземної частин рослин, визначали рослини, які найкраще приживаються і ростуть в природно-кліматичних умовах Волинської області.

Ключові слова:

вічнозелені дерева,
вічнозелені чагарники,
живцювання дерев та
чагарників,
ріст дерев та чагарників,
розмноження дерев та
чагарників

Історія публікації:

Отримано 14.11.2021

Затверджено 10.12.2021

***Автор для листування:**

alexgop2017@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi47.651

Цитувати цю статтю:

Ковальчук, Н. П., Герасимчук, О. П., & Шимчук, Ю. П. (2021). Технологія живцювання найбільш поширених вічнозелених дерев та чагарників в умовах Волинської області. *Сільськогосподарські машини*, 47, 79-86. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.651>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Негативний антропогенний вплив на навколишнє середовище є неминучим наслідком розвитку суспільства і науково-технічного прогресу. В умовах науково-технічної революції та урбанізації постає дуже важлива проблема, пов'язана із забрудненням навколишнього середовища (повітряного басейну, води, ґрунту), яка вже давно набула глобального характеру для всього людства. Збільшення площ із зеленими насадженнями є альтернативною і важливою та необхідною умовою заходів із оздоровлення життя населення, особливо в умовах сучасності.

Вічнозелені дерева та чагарники – це важлива і невід'ємна частина нашого життя і життя планети Земля. Вони поглинають вуглекислий газ і виділяють кисень, зволожують повітря і затримують пил. Деякі вічнозелені рослини, особливо хвойні, виділяють фітонциди – це рідкі чи газоподібні продукти обміну речовин рослинних клітин, які здійснюють уражаючу або смертельну дію, зокрема на туберкульозну паличку та найпростіші. Тобто вони стерилізують повітря. Фітонциди впливають на кількісний і якісний склад повітря, але цей вплив не скрізь однаковий і залежить від видового складу лісових і паркових фітоценозів та від їх фітонцидних властивостей. Також вічнозелені рослини використовуються в лікувальних та естетичних цілях, як будівельний матеріал та приправа до їжі. Хвойні настої, що збагачені вітаміном С, чинять тонізуючу і загальнозміцнювальну дію на весь організм людини. Відомо, що принципи планування садів, парків, скверів з часом змінюються, але вічнозелені декоративні дерева та кущі залишаються незмінними їх елементами.

В умовах сучасного розвитку науково-технічного прогресу і урбанізації завдання полягає не в тому, щоб просто висаджувати дерева, чагарники та інші рослини, не просто озеленювати, а створювати і формувати високодекоративні та високоефективні в екологічному відношенні, стійкі до умов несприятливого середовища багаторічні культурні антропоотолерантні рослинні співтовариства (біоценози). Це питання набуває надзвичайної актуальності, воно передбачає не лише правильне розташування та проєктування зелених насаджень, але й

врахування екологічної ситуації, тобто рівня забруднення навколишнього середовища, характеру взаємовпливу виробничо-технічної діяльності суспільства і навколишнього середовища.

В умовах сучасності розмноження, ріст та використання вічнозелених дерев і чагарників є надзвичайно актуальним і розглядається у працях багатьох вчених різних сфер діяльності: біологів, лісівників, екологів тощо. Разом із тим, деякі питання залишаються не вирішеними. Проблеми зниження рівня антропогенного впливу на природні та штучні екосистеми досліджували Кучерявий В.А., Дудин Р.Б., Ковальчук Н.П., Пилат О.С. Зокрема, відома праця (*Кучерявий та ін., 2004*) із дослідження дерев, чагарників, ліан в ландшафтній архітектурі. Еколого-біологічні проблеми зелених насаджень м. Луцька досліджені у працях (*Ковальчук, 2011; Ковальчук та ін., 2021*). Дослідження питань благоустрою територій також здійснювали Генсірук С.А., Третяк П.Р., Фурдичко О.І.

Мета дослідження – вивчення та аналізування відсотку приживання і темпів росту найпоширеніших у Волинській області вічнозелених дерев та чагарників, що розмножуються шляхом живцювання, для збільшення їх видової різноманітності та кількісного складу, створення високодекоративних та екологічно-стійких зелених насаджень, скорочення термінів вирощування садивного матеріалу в сучасних урбогенних умовах та їх використання в подальшому для озеленення населених пунктів та інших урбанізованих територій.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Програмою досліджень передбачалося вивчення особливостей росту і розмноження найбільш поширених вічнозелених дерев та чагарників шляхом живцювання. Об'єктом дослідження були найбільш поширені вічнозелені дерева та чагарники на території Волинської області (Україна).

Під час проведення досліджень були застосовані методи порівняльного аналізу та синтезу інформації, спостереження, опису, узагальнення, а також був застосований системний і польовий методи, математико-статистичний метод. Також під час дослідження здійснювали вимірювання та

спостереження за висадженими живцями в теплиці та їх кількістю, визначали кількість прижитих і висаджених живців у відкритий ґрунт, розраховували співвідношення живців, що прижилися, до загальної кількості висаджених, вимірювали середні розміри підземної та надземної частин рослин, визначали вічнозелені рослини, які найкраще приживаються і ростуть в природно-кліматичних умовах Волинської області..

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Для проведення досліджень було відібрано кілька видів вічнозелених дерев та чагарників, які є найбільш поширеними в природно-кліматичних умовах Волинської області.

Вид Ялина колюча ф. блакитна (*Picea pungens* Engelm. «Glauca») відноситься до родини Соснових, роду Ялина. У Волинській області ця рослина є інтродукованим видом. Ялина поширена в парках, скверах, садах, вона висаджується в групах і як солітер та використовується для акцентування входів в алейній посадці. Ялина утворює живі огорожі, її хвоя дуже декоративна на темно-зеленому фоні листяних та інших хвойних рослин. Вона є повністю зимостійка в умовах регіону і в дорослому віці невибаглива до міських умов зростання. Ялина колюча – це високе дерево із густою конічною кроною. Коренева рослинна система стрижнева. Стебло рослини виражене, висхідне, дерев'янисте, багаторічне. Бруньки розміщуються високо над землею (фанерофіт). Гілки розміщені мутовчасто, правильними ярусами, щорічно утворюючи одне кільце. Листки (хвоя) голкоподібні ксерофільні, багаторічні, шкірясті, чотиригранні, щільні, дуже гострі, на пагоні хвойної рослини розташовуються відтопирено в різні боки, поодиночі. Характерним є наявність під епідермою смоляних ходів. Голочки рослини розташовуються спіралью і відкриваються разом із подушечками. При відпаданні голок лишаються подушечки. Хвоя блакитна із сизим відтінком, завжди густіша біля основи. Ялина колюча ф. блакитна – це рослина однодомна. Зрілі шишки рослини овальні або циліндричні з видовженою віссю, вони завжди висячі із довжиною 5–15 см та діаметром шишки 2–3 см. У зрілому віці шишки світло-коричневі, луска тонка, довгасто-ромбічна, з країв хвиляста, на вершині зубчаста. Пилок

має повітряні камери і розсіюється вітром. Насіння рослини з крилоподібним придатком. Швидкістю росту ялина колюча поступається ялині звичайній. Вона невибаглива до клімату і ґрунтових умов та витримує сильні морози і не страждає від весняних заморозків, а також досить добре витримує сухе повітря і високі літні температури. Ялина є вітростійкою, витримує навали снігу. Вона краще за інші хвойні переносить пил і шкідливі гази та є найбільш стійкою в міських умовах. До ґрунтів вона невибаглива, розмножується насінням і живцями (Заячук, 2008; Кучерявий та ін., 2004).

Вид Туя західна, її форми (ф. колоноподібна (*Thuja occidentalis* L. «Columna»), туя західна ф. куляста (*Thuja occidentalis* L. «Clobosa»), туя західна ф. золотиста Ельвангера («Aurea Ellvangeriana»), туя західна ф. верескоподібна (*Thuja occidentalis* L. «Ericoides»)) відносяться до родини Кипарисових, роду Туя. У Волинській області цей вид належить до інтродукованих. Вона поширена в садах, парках і скверах. Туя західна повністю зимостійка в умовах регіону. Відноситься до тінелюбних рослин, окрім жовтих і золотистих форм. Туя західна є невибагливою, за винятком форми верескоподібної, яка частіше за інших хворіє. Коренева система туї стрижнева, стебло виражене, дерев'янисте, висхідне, багаторічне. Бруньки рослини розташовуються високо над землею. Гілки розташовуються горизонтально в одній площині. Листки рослини вічнозелені, лусковидні, багаторічні, шкірясті, сидячі, плоскі, ксерофільні, розташовані навхрест супротивно. Під епідермою є смоляні ходи. Туя західна – це однодомна рослина. Верхня і нижня частина гілок туї має на спинці овальну або округлу випуклу смоляну залозу. Бокова хвоя рослини довгаста, більш загострена з серпоподібними увігнутими внутрішніми та овальними зовнішніми краями. Пилок має повітряні камери і розсіюється за допомогою вітру. Шишки туї яйцеподібно-довгасті, довжиною 1–1,5 см, на коротких черешках, стоячі (пізніше пониклі), світло-коричневі, шкірясті, утворені 3–4 (5–6) парами лусок, у верхньому кінці нерівно зубчасті. Насіння туї плоске з двома вузькими крильцями. Туя морозостійка та витримує перезволоження ґрунту; вона є посухостійкою, добре росте в лісостепу, в степу, а в напівпустелі – лише за

регулярного поливу. Туя тіневитривала, може рости під пологом інших хвойних чи листяних порід. Вона витримує кіптяву, дим, газу і тому є кращою хвойною породою для озеленення території промислових підприємств. Завдяки ароматичній хвої, ця рослина є цінною у санітарно-гігієнічних відношеннях (Заячук, 2008; Ковальчук, 2011). За будовою різні форми туї західної майже не відрізняються. Хвоя туї західної ф. верескоподібна м'яка, лінійна, відтопирена і розташована на тонких гілках. Забарвлення хвої влітку зелене, а взимку – буро-зеленого кольору з коричневим відтінком.

Туя західна ф. золотиста «Ельвангера» є перехідною формою з двоєю хвоею. На молодих пагонах хвоя лінійна, м'яка, відтопирена, а на більш старих – луската, плоско притиснута до гілок. Рослина не висока, кущеподібна, широкопірамідальної форми, часто багатoverшинна та відрізняється золотисто-жовтою хвоею.

Туя західна ф. колоноподібна – це невелике дерево з колоноподібною кроною і висхідними, притиснутими короткими гілками.

Туя західна ф. куляста – це кулястий кущ діаметром до 1,5 м з світло-зеленою хвоею.

Усі вказані форми розмножуються найбільш ефективно за допомогою живців. Велика різноманітність форм туї західної, різний характер росту та забарвлення хвої дозволяють її використовувати для створення багатих паркових ландшафтних композицій. Туєю західну добре використовувати для створення ефектних вічнозелених живих огорож. Групи і малі солітери туї гарно виглядають на передньому плані.

Досліджувані види Ялівець звичайний (*Juniperus communis* L. «*Hibernica*») та Ялівець козацький (*Juniperus sabina* L.) належать до родини Кипарисові, роду Ялівець.

Ялівець звичайний – це кущ чи дерево висотою 8–10 м, іноді 15 м. Він мінливий за формою крони і висотою залежно від умов зростання, дводомний. Чоловічі екземпляри мають більш вузьку конусоподібну чи яйцеподібну крону, а жіночі – більш розлогі. Кора основного стовбура рослини сіро-бура, бокових пагонів – червонувато-бура. Хвоя розташована по 3 в мутовці, зверху з білою увігнутою стрічкою, знизу – блискучо-зелена, довжиною 0,8–2 см і шириною 1 мм. Шишки дрібні (діаметр 5–10 мм), майже округлі,

складаються з 3–6 міцно зрослих, м'ясистих лусок, зверху із злитим пупком. Не зрілі – зелені, зрілі – червонувато-сині з блакитним нальотом. Насіння розташовується по 3 і дозріває на 2–3 рік. Ялівець звичайний росте повільно, морозостійкий, витримує затінок і росте в якості підліска в листяних та хвойних лісах. До ґрунтових умов він невибагливий. Ялівець звичайний розмножується насінням і живцями, добре витримує обрізку. Деревина використовується для дрібних виробів. Шишкоягоди застосовуються в лікеро-горілчаній промисловості. Ялівець звичайний є цінним матеріалом для паркового будівництва в лісовій та лісостеповій зонах. Ялівець звичайний висаджується групами для формування живих огорож (Заячук, 2008; Кучерявий та ін., 2004).

Ялівець козацький – це дводомний, низкорослий, сланкий кущ висотою 1,5–2 м. Іноді він має косо підняті вгору гілки. Його кора червонувато-сіра, а хвоя в молодих рослин голкоподібна, м'яка (у дорослих екземплярів – лускоподібна, а на нижніх безплідних гілках іноді голкоподібна). При розтиранні хвоя дає різкий неприємний запах. Шишки майже кулясті, дрібні, довжиною 5–7 мм і діаметром 5–6 мм, темно-сині з сизим нальотом. У шишці дві і більше насінини. Ялівець козацький росте повільно, морозостійкий, світлолюбний, посухо- і газостійкий. До ґрунтових умов він невибагливий та поширюється вкоріненням гілок. Рекомендоване його використання у вигляді груп на газоні, в негустих підлісках, на галявинах. Ялівець козацький цінний для декорування і застосовується для укріплення кам'янистих схилів та кам'янистих садів. Його плоди та ягоди отруйні. Для благоустрою дитячих садочків заборонено використовувати, а в парках загального користування – обмежено.

Вид Самшит вічнозелений (*Buxus sempervirens* L.) належить до родини Самшитові, роду Самшит. Це вічнозелений кущ з відділу Покритонасінні, що має середземноморське походження. У Волинській області відноситься до культивованих видів і належить до повільноростучих рослин. Лише через 100 років у сприятливих умовах може досягати висоти 5–7 м. Самшит є довговічним, тривалість життя становить понад 700 років. Його корона розгалужена, густа, а стовбур у

деревовидних екземплярів покритий сірувато-білою, дрібно потрісканою корою. Коренева система рослини стрижневого типу. Стебло вічнозеленого виражене, дерев'янисте, багаторічне, висхідне і міцне, як слонова кістка, а пагони 4-ри гранні слабо опушені. Листки рослини вічнозелені, прості, супротивні, еліптичні, довгасті чи обернено-яйцеподібні з притупленою чи зрізаною верхівкою, цільнокраї, коротко-черешкові, глянцеві, шкірясті, з добре розвиненою кутикулою, дрібні до 2,5 см, розміщені супротивно. Листки з верхнього боку темно-зелені, а з нижнього – світло- чи жовтувато-зелені. Цвіте Самшит вічнозелений в квітні-травні дрібними жовтувато-зеленими квітами, що знаходяться в пазухах листків. Квіти одностатеві (однодомні), запашні, зібрані пучками. Оцвітина правильна, 4 тичинки і 2–3 приймочки розміщені зверху. Запилення відбувається за допомогою комах, оскільки квіти досить ароматні. Плід – тригранна коробочка довжиною 0,8 см з 6-ма чорними блискучими насінинами. Розмножується насінням, живцями та поділом кущів (Заячук, 2008; Ковальчук, 2011). Самшит вічнозелений – це одна з найбільш тіневитривалих листяних порід. Він може рости під буком та піхтою. Теплолюбний, але без пошкоджень витримує короткотривале зниження температури. Він потребує поживних, світлих ґрунтів з наявністю вапна. Самшит добре витримує дим та пил в міських умовах, прекрасно переносить формувальну обрізку та є найкращим матеріалом для топіарних робіт. Ця рослина є першокласним матеріалом для оформлення низьких, середніх бордюрів та більш високих живоплотів.

Живці рослин для досліджень заготовляли в кінці весни та на початку літа, нарізаючи з маточних рослин згідно методики (зелені та напівдерев'янілі), попередньо підготувавши ґрунт в холодному парнику (перекопали та змішали з торфом, піском і дрібним гравієм). Розміри живців визначали згідно розмірів маточної рослини (в середньому по 15 см).

Живці вічнозелених дерев та чагарників відбирали з «п'яткою», оскільки їх висаджування проводили у парник з поліетиленової плівки. Перед висаджуванням рослин обробили кінчики кожного живця регуляторами росту для стимуляції утворення коренів (Роговський та ін., 2018). Для

оброблення живців використовувався препарат «Корневін».

Результати дослідження (весна-осінь 2019 року) кількості висаджених живців у теплицю та кількості живців, що згодом прижилися, представлені в **таблиці 1**.

Після проведення живцювання за рослинами доглядали для збільшення відсотка вкорінення. Насамперед, парник підтримували у чистоті. Влітку парник регулярно провітрювали і притінювали для захисту рослин від опіків. За необхідності живці поливали згідно (Роговський та ін., 2018). Згідно спостережень через 3–4 місяці живці почали вкорінюватися. Восени рослини викопали та висадили їх у відкритий ґрунт на відведене для них постійне місце, проводячи в подальшому необхідний догляд, а саме, в період активного росту рослини поливали, підживлювали, прополювали бур'яни. З метою прискорення росту живців використовували селітру як ефективне підживлення.

Згідно даних **таблиці 1** встановлено, що серед досліджуваних вічнозелених рослин найвищий відсоток вкорінення мають туя західна ф. верескоподібна (92%), туя західна ф. золотиста «Ельвангера» (89%), самшит вічнозелений (94%) і туя західна ф. куляста (83%). Найнижчий відсоток вкорінення в туї західної ф. колоноподібна (65%).

У кінці весни та на початку літа 2019 року були відібрані живці туї західної ф. колоноподібна, туї західної ф. куляста, туї західної ф. золотиста «Ельвангера», туї західної ф. верескоподібна, ялини колючою ф. голуба, самшиту вічнозеленого. Живці ялівцю козацького та ялівцю звичайного ф. колоноподібного відбирали на початку весни 2019 року.

Розмір живців в середньому становив 15 см. Восени рослини були висаджені у відкритий ґрунт на відведене для них постійне місце. Результати проведених досліджень, а саме росту підземної і надземної частин досліджуваних вічнозелених дерев та чагарників в умовах Волинської області представлено у **таблиці 2**.

Відповідно до результатів проведених досліджень (2019–2021 рр.) найбільший приріст підземної частини спостерігається в ялини колючої ф. голуба (26 см). Найбільший приріст надземної частини спостерігається в ялівцю звичайного ф. колоноподібний (17 см)

та ялівцю козацького (13 см). Це пояснюється тим, що живці ялівцю відбиралися на 3 місяці раніше, ніж в інших досліджуваних рослин. Хороший приріст надземної частини спостерігається в туї західної ф. колоноподібна (9 см), а також у туї західної ф. золотиста «Ельвангера» (8 см). У рослин найнижчий

ступінь приросту надземної (1,5 см) і підземної (6,7 см) частини спостерігається в туї західної ф. верескоподібна, оскільки ця рослина не є швидкорослою, а також є вибагливою до умов навколишнього середовища, частіше хворіє, в результаті цього повільніше росте, на відміну від інших досліджуваних рослин.

Таблиця 1 – Результати дослідження приживання живців вічнозелених рослин

Таксон	Кількість висаджених живців у теплицю, штук	Кількість прижитих живців та висаджених у відкритий ґрунт	
		штук	%
(<i>Thuja occidentalis</i> L. «Columna») Туя західна ф. колоноподібна	200	130	65
(<i>Thuja occidentalis</i> L. «Clobosa») Туя західна ф. куляста	200	166	83
(<i>Thuja occidentalis</i> L. «Ericoides») Туя західна ф. верескоподібна	200	184	92
(<i>Thuja occidentalis</i> L. «Aurea Ellvangeriana») Туя західна ф. золотиста «Ельвангера»	200	178	89
(<i>Juniperus sabina</i> L.) Ялівець козацький	200	156	78
(<i>Juniperus communis</i> L. «Hibernica») Ялівець звичайний ф. колоноподібний	200	164	82
(<i>Buxus sempervirens</i> L.) Самшит вічнозелений	200	188	94

Таблиця 2 – Результати дослідження росту підземної і надземної частини живців рослин

Таксон	Розміри підземної частини за 1 рік, см	Розміри надземної частини за 1 рік, см	Приріст надземної частини за 1 рік, см	Розміри надземної частини за 2 роки, см	Приріст надземної частини за 2 роки, см
(<i>Thuja occidentalis</i> L. «Columna») Туя західна ф. колоноподібна	9,0	24,0	9,0	36,0	12,0
(<i>Thuja occidentalis</i> L. «Clobosa») Туя західна ф. куляста	11,0	22,0	7,0	27,0	5,0
(<i>Thuja occidentalis</i> L. «Aurea Ellvangeriana») Туя західна ф. золотиста «Ельвангера»	6,5	23,0	8,0	26,0	3,0
(<i>Thuja occidentalis</i> L. «Ericoides») Туя західна ф. верескоподібна	6,7	16,5	1,5	20,0	3,5
(<i>Juniperus sabina</i> L.) Ялівець козацький	12,0	28,0	13,0	35,0	7,0
(<i>Juniperus communis</i> L. «Hibernica») Ялівець звичайний ф. колоноподібна	10,0	32,0	17,0	34,0	2,0
(<i>Buxus sempervirens</i> L.) Самшит вічнозелений	12,0	22,0	7,0	27,0	5,0
(<i>Picea pungens</i> Engelms «Glausa») Ялина колюча ф. блакитна	26,0	19,5	4,5	24,0	4,5

ВИСНОВКИ

Найбільш поширеним сучасним способом розмноження вічнозелених декоративних дерев та чагарників є живцювання, що дозволяє скоротити терміни вирощування садивного матеріалу на кілька років та є цілком безпечним для маточних рослин. Цей спосіб розмноження забезпечує збереження 100% генетичної інформації декоративних форм. Живцювання є досить економічно вигідним способом розмноження, оскільки він не потребує значних витрат. Серед досліджуваних форм вічнозелених рослин найвищий відсоток вкорінення мають туя західна ф. верескоподібна (92%), туя західна ф. золотиста «Ельвангера» (89%), самшит вічнозелений (94%) і туя західна ф. куляста (83%). Найнижчий відсоток вкорінення в туї західної ф. колоноподібна (65%).

Результати досліджень (2019–2021 рр.) вказують на те, що найбільший приріст підземної частини спостерігається в ялини колючої ф. голуба (26 см). Найбільший приріст надземної частини спостерігається в ялівцю звичайного ф. колоноподібна (17 см) та ялівцю козацького (13 см). Це пояснюється тим, що живці ялівцю для вкорінення відбиралися на 3 місяці раніше, ніж в інших досліджуваних рослин. Хороший приріст надземної частини спостерігається також в туї західної ф. колоноподібна (9 см) і в туї західної ф. золотиста «Ельвангера» (8 см). Найнижчий

ступінь приросту надземної (1,5 см) і підземної (6,7 см) частини спостерігається в туї західної ф. верескоподібна.

У Волинській області вічнозелені декоративні дерева та чагарники набули широкого поширення у практичному застосуванні. Кліматичні та екологічні умови регіону в загальному є сприятливими для росту, подальшого вирощування і практичного застосування усіх досліджуваних рослин.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Заячук, В. Я. (2008). *Дендрологія (Dendrology)*. Львів: Апріорі.
- Ковальчук, Н. П. (2011). *Еколого-біологічні проблеми зелених насаджень м. Луцька: монографія (Ecological and biological problems of green plantations in Lutsk)*. Луцьк: РВВ ЛНТУ.
- Ковальчук, Н. П., Герасимчук, О. П., & Шимчук, Ю. П. (2021). Рекреаційна трансформація приміських лісів Волинської області в умовах сучасності (*Recreational transformation of suburban forests of Volyn region in modern conditions*). *Сільськогосподарські машини*, 46, 40-48. <https://doi.org/10.36910/acm.vi46.492>
- 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.
- Роговський, С. В., Масальський, В. П., & Лавров, В. В. (2018). *Сучасні технології в розсадництві (Modern technologies in nurseries)*. Біла Церква. http://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/1688/3/suc_hasni_tehnologiyi_v_%20rozsadnycztvi.pdf

RESEARCH OF SUGAR BEET HAULM CUTTING PROCESS

I. Tsiz*, S. Khomych, A. Vakulyuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine



ABSTRACT

Sugar beet is an important technical crop for Ukraine. Sugar beet is grown on an area of about 1 million hectares in Ukraine. In today's economic conditions, large agricultural enterprises use high-performance automotive harvesters to harvest sugar beet roots. For the needs of small and medium-sized farms, there is almost no supply of new equipment for harvesting this crop. Analysis of well-known research scientists in the field of sugar beet harvesting indicates that their main focus is to find ways to resolve the technical contradiction, which is to copy the height of the sugar beet roots above the field surface in sugar beet haulm toppers that cut the sugar beet haulms with a solid horizontal rotor at least 4 rows. At the same time, there are no technical and theoretical justifications that would radically resolve such a contradiction. During the analysis of technological operations of sugar beet harvesting, in particular sugar beet haulm cutting, a number of parameters were identified, the impact of which on the energy of the cutting process requires research. The article presents a functional scheme of a trailed beet harvester that does not require copying the height of the root heads above the field surface for quality cutting of the sugar beet haulms. In order to verify the operability of the proposed scheme, a laboratory installation was made to study the cutting process of the sugar beet haulms. A method for studying the torque spent on the cutting process has been developed. This technique is based on the use of mathematical method of experiment planning. Based on the results of the experiment, a regression equation was obtained that reveals the effect on the dimension of the cutting torque the maximum diameter of sugar beets, the angle of the beet axis and the gap between the plane of the knife and the lower edge of the pulley. Response surfaces were constructed to analyze the regression equation of cutting process. As a result of generalization, recommendations are given.

Key words:

sugar beet haulm,
sugar beet haulm cutting process,
sugar beet haulm topper,
sugar beet diameter,
torque of cutting

Article history:

Received 10.11.2021
Accepted 12.12.2021

***Corresponding author:**

tsizigor@lutsk-ntu.com.ua

DOI: 10.36910/acm.vi47.653

To cite this article:

Tsiz, I., Khomych, S., & Vakulyuk, A. (2021). Research of sugar beet haulm cutting process. *Agricultural Machines*, 47, 87-94. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.653>

УДК 631.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗРІЗУВАННЯ ГИЧКИ КОРЕНЕПЛОДІВ ЦУКРОВОГО БУРЯКА

І.Є. Цизь*, С.М. Хомич, А.Т. Вакулюк

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна



АНОТАЦІЯ

Цукрові буряки є важливою для України технічною культурою. В Україні цукровий буряк вирощується на площах близько 1 млн га. У сьогоденних умовах господарювання великі аграрні підприємства використовують для збирання коренеплодів цукрового буряка високопродуктивні самохідні комбайни. Для потреб невеликих та середніх фермерських господарств практично відсутня пропозиція нової техніки для збирання цієї культури. Аналіз відомих досліджень вчених у галузі збирання цукрових буряків вказує, що основним їх спрямуванням є пошук шляхів вирішення технічного протиріччя, яке полягає у необхідності копіювання висоти розташування головок коренеплодів над поверхнею поля у машинах, які здійснюють зрізування гички суцільним горизонтальним ротором, мінімум над 4-ма рядками. Разом із тим, відсутні технічні та теоретичні обґрунтування, які б дозволяли кардинально розв'язати це протиріччя. Під час аналізу технологічних операцій збирання цукрового буряка, зокрема зрізування гички, було виокремлено низку параметрів, вплив яких на енергетику процесу зрізування вимагає дослідження. У статті представлено функціональну схему причіпного бурякозбирального комбайна, який не вимагає копіювання висоти розташування головок коренеплодів над поверхнею поля для якісного зрізування гички. З метою перевірки роботоздатності запропонованої схеми комбайна виготовлено лабораторну установку для дослідження процесу зрізування гички з коренеплодів. Розроблено методикку дослідження крутного моменту, що необхідний для процесу зрізування. Методика базується на математичному методі планування експерименту. На основі результатів експерименту отримано рівняння регресії, яке розкриває вплив на величину крутного моменту зрізування максимального діаметру коренеплодів, кута нахилу осі коренеплодів та зазору між площиною ножа і нижньою кромкою брального шківів. За результатами дослідження запропоновані рекомендації.

Ключові слова:

гичка цукрового буряка,
процес зрізування гички,
гичкозрізувач,
діаметр цукрового буряка,
крутний момент зрізування

Історія публікації:

Отримано 10.11.2021

Затверджено 12.12.2021

*Автор для листування:

tsizigor@lutsk-ntu.com.ua

DOI: 10.36910/acm.vi47.653

Цитувати цю статтю:

Цизь, І. Є., Хомич, С. М., & Вакулюк, А. Т. (2021). Дослідження процесу зрізування гички коренеплодів цукрового буряка. *Сільськогосподарські машини*, 47, 87-94. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.653>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Цукрові буряки є основною сировиною в Україні для виробництва цукру, тому віднесені до групи технічних культур. Останніми роками в Україні цукровий буряк вирощується на площах близько 1 млн га.

У сьогоденних умовах господарювання великі аграрні підприємства використовують для викопування коренеплодів цукрового буряка самохідні комбайни із шириною захвату 6 і 12 рядків. Найбільш поширеними є високопродуктивні комбайни Hollmer Terra Dos, Matrot M 41, Grimme Maxtron 6-20, Vervaet Beet Eater, Moreau Voltra 6-24, ROPA Tiger 6. Проте, для потреб невеликих та середніх фермерських господарств на сьогодні майже відсутні пропозиції нової техніки для викопування коренеплодів цукрового буряка. Тому у багатьох господарствах застосовується ручне збирання або бувша у використанні закордонна техніка.

Українськими вченими постійно ведуться дослідження процесів збирання цукрового буряка, зокрема зрізування гички. Значний внесок у теоретичні та експериментальні дослідження зробили науковці Погорілий Л.В., Татянюк Н.В., Хелемендик М.М., Булгаков В.М., Гевко Р.Б., Мартиненко В.Я., Барановський В.М. та інші (Барановський та ін., 2014; Булгаков, 2009; Гевко, 1999; Мартиненко, 2000; Погорілий та ін., 1983; Хелемендик, 2001).

В останнє десятиріччя з'явилася низка нових досліджень збирання цукрових буряків. Ігнат'єв (2016) зазначає, що при здійсненні зрізування гички з головок цукрового буряка з індивідуальним копіюванням та збиранням зрізаної маси з кожної головки коренеплоду істотно знижується продуктивність роботи гичкозбиральної машини та ускладнюється конструкція гичкозрізувального апарату, також зростають експлуатаційні витрати. Науковцем отримано графічну залежність, яка дозволяє провести оцінювання втрат цукросировини за різної висоти встановлення пристрою для безкопійного зрізування. З її аналізу можна зробити висновок, що за висоти 40–45 мм втрати цукросировини прямують до нуля, але разом із коренеплодами збирається до 4 т/га гички, що забруднює сировину.

Результати експериментальних досліджень гичкозбирального агрегату, що представлені у науковій праці (Булгаков & Ігнат'єв, 2018),

дозволили отримати емпіричну модель процесу зрізування гички у вигляді рівняння регресії. На основі аналізу цієї моделі авторами встановлено, що найбільший вплив на масу залишків гички на коренеплоді має висота зрізування, а найменший – швидкість обертання ротора. Крім того, встановлено діапазони раціональних значень висоти зрізування, швидкості руху машини та ротора.

Важливу роль в якісному зрізуванні гички відіграє закономірність розподілу висоти голівок коренеплодів над поверхнею поля. Дослідження цього розподілу представлено у праці (Адамчук та ін., 2019). Вченими встановлено відповідність цього природного процесу нормальному закону розподілу. Також встановлено, що у цьому випадку математичне сподівання становить 40–60 мм, а середньо-квадратичне відхилення – 20–30 мм. Крім того, автори зазначають, що ці польові дослідження створили передумови для розроблення нової системи автоматичного копіювання висоти зрізування гички, яка мінімізує втрати цукрової сировини.

На основі проаналізованих досліджень можна зробити висновок, що основним їх спрямуванням є пошук шляхів вирішення технічного протиріччя, яке полягає в необхідності копіювання висоти розташування головок коренеплодів над поверхнею поля у машинах, котрі здійснюють зрізування гички суцільним горизонтальним ротором, мінімум над 4-ма рядками. Разом із тим, відсутні технічні та теоретичні обґрунтування, які б дозволяли розв'язати це протиріччя.

Для вирішення зазначеного технічного протиріччя пропонується нова конструкція причіпного бурякозбирального комбайна із пристроєм для виймання (брання за гичку) підкопаних коренеплодів та зрізування гички. Цей комбайн обладнується вібруючими лівим та правим полицевими копачами, завдяки дії яких відбувається звільнення коренеплодів від утримуючої дії ґрунту та підіймання над його поверхнею (рис. 1). Далі здійснюється брання коренеплодів за гичку шляхом їх затискання у зазорі між бральним пасом та бральним шківом. На наступному етапі відбувається зрізування гички із мінімальною кількістю коренеплоду та її вкладання у валок за ходом комбайна. Паралельно із цим коренеплоди буряка без гички очищуються від ґрунту та завантажуються у бункер.

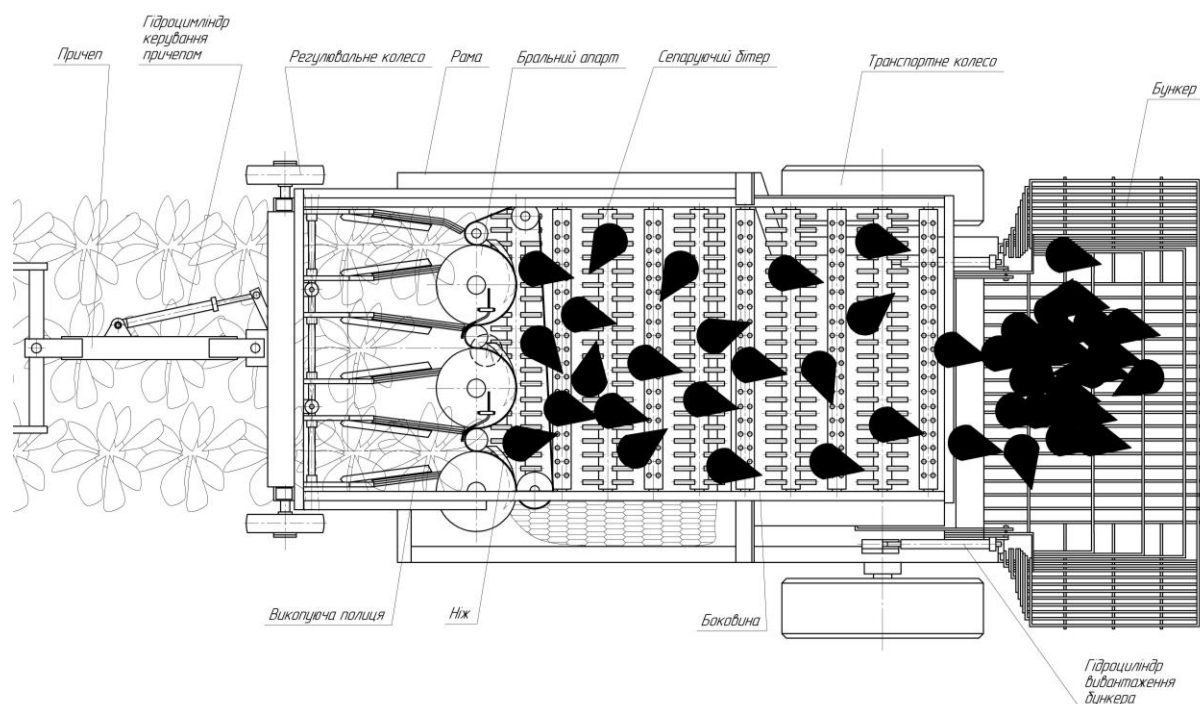


Рис. 1 – Функціональна схема причіпного бурякозбирального комбайна

Мета дослідження – дослідження зусилля зрізування гички із коренеплодів цукрового буряка пристроєм, який не вимагає копіювання висоти розташування головок коренеплодів над поверхнею ґрунту.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Із метою перевірки роботоздатності схеми запропонованого бурякозбирального комбайна було виготовлено лабораторну установку для дослідження процесу зрізування гички на коренеплодах (рис. 2). Установка містить зварену раму, на якій болтовим з'єднанням закріплено пасивний ніж. До рами також прикріплено обертову вісь, де розташовано бральний шків. На шківі закріплено відрізок брального паса, до якого, у свою чергу, теж болтовим з'єднанням прикріплено другий відрізок паса. До центральної частини шківів прикріплена тяга, яка, у свою чергу, з'єднана із динамометром. Завдяки відкручуванню гайок болтового з'єднання є можливість швидкого демонтажу правої частини відрізка брального паса. В отриманому зазорі розташовувалася гичка коренеплоду буряка та проводилося її защемлення пасом. Для прикладання до брального шківів крутного моменту на нього намотується гнучка тяга, яка з'єднана із динамометром. Зміна робочого зазору між бральними пасами здійснювалася шляхом

переставляння одного із пасів за допомогою виконаних у ньому отворів. Необхідність змінювання робочого зазору між бральними пасами була обумовлена проведенням досліджень із коренеплодами різного діаметру.

Під час аналізу технологічних операцій збирання буряка, зокрема зрізування гички, було виокремлено низку параметрів, вплив яких на енергетику процесу зрізування вимагає дослідження. Відповідно до представлених міркувань була складена програма досліджень, якою передбачено визначити вплив на зусилля зрізування гички трьох факторів: середнього діаметра коренеплоду; зазору між ножем та нижньою кромкою брального шківів; кута нахилу осі коренеплоду відносно осі брального шківів. В якості характеристики зусилля визначався крутний момент, що необхідний для зрізування гички.

Із метою зміни зазору між нижньою кромкою брального шківів, а отже і нижньою точкою затискання гички у бральних пасах, та площиною пасивного ножа в розробленій установці передбачена можливість вкладання регульовальних шайб між пасивним ножем та рамою установки. Положення пасивного ножа за максимального зазору продемонстровано на рис. 2, б. Величину зазору між бральним шківом та ножем контролювали за допомогою штангенциркуля ШЦ-1-200.

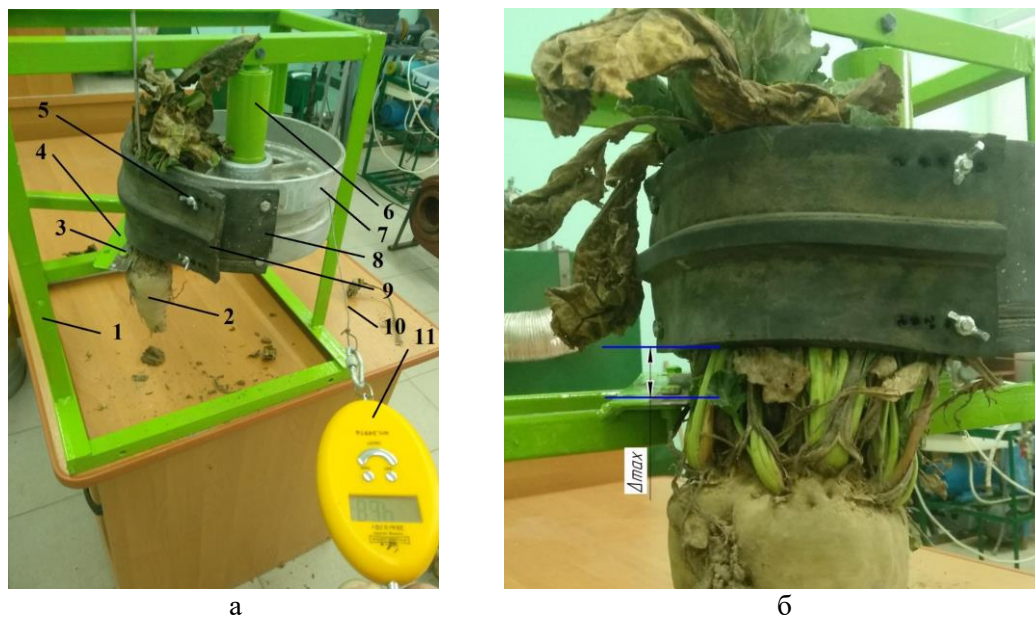


Рис. 2 – Загальний вигляд лабораторної установки для дослідження процесу зрізування гички з коренеплідів цукрового буряка (а) та зображення встановлення зазору між площиною ножа і нижньою кромкою брального шківів (б):

1 – рама; 2 – коренеплід; 3 – болт регульовальний; 4 – пасивний ніж; 5 – гайка притискна, 6 – вісь; 7 – бральний шків; 8, 9 – бральний пас; 10 – тяга; 11 – електронний динамометр

З метою встановлення коренеплоду на заданий кут відхилення його осі від осі бральних шківів використовувалися металевий стержень, що слугував продовженням умовної осі коренеплоду, та додатково виготовлені кутові шаблони (рис. 3).

Відповідно до методики одним із досліджуваних факторів, вплив якого на зусилля зрізування гички досліджувався на установці, був діаметр коренеплідів буряка. Не зважаючи на високу ступінь однорідності розмірів коренеплідів цукрового буряка сучасних сортів, все ж на різних полях та за різної агротехніки вирощування наявні окремі розмірні групи коренеплідів.

Саме тому було вирішено зупинитися на розмірних групах із середніми значеннями максимального діаметру коренеплідів: 80 мм; 120 мм; 160 мм (рис. 4). Оскільки в природних умовах коренеплоди не формуються із точно заданими розмірами, тому до цих груп під час дослідження включалися коренеплоди із відхиленням від середнього значення ± 5 мм.

Діаметр коренеплоду буряка визначали за максимальним розміром перерізу. Спочатку цей переріз визначався візуально, а потім проводилися вимірювання із використанням штангенциркуля ШЦ-1-200 до отримання

максимального із можливих значень, за яким і робили висновок щодо належності буряка до певної розмірної групи.

Коренеплід встановлювали в установці шляхом розташування його гички у зазорі між бральними пасами та здійснювали попереднє загвинчування гайок болтового з'єднання. Із використанням зроблених шаблонів (рис. 3, б) встановлювали кут нахилу осі коренеплоду (шляхом суміщення із шаблоном металевого стержня) та остаточно затягували гайки і перевіряли надійність затискання коренеплоду.

За допомогою динамометра через тягу переміщували коренеплід у зону дії ножа та за рахунок збільшення прикладеного до динамометра зусилля досягали зрізування гички з коренеплоду (рис. 2). У процесі зрізування фіксували максимальне значення досягнутого зусилля зрізування. За отриманим значенням максимального зусилля зрізування розраховували максимальний крутний момент зрізування гички:

$$M_{кр} = \frac{P_{\max} D_{ш}}{2g}; \quad (1)$$

де P_{\max} – максимальне зафіксоване за показами динамометра зусилля зрізування гички, кГс;

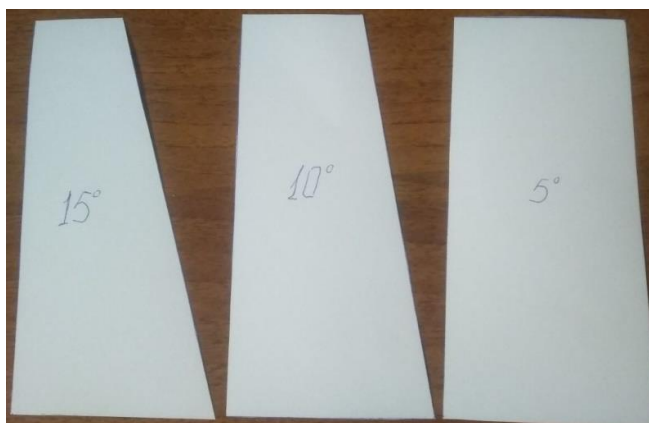
$D_{ш}$ – діаметр брального шківця у місці кріплення тяги ($D_{ш} = 0,34$ м), м; g – прискорення вільного падіння, m/s^2 .

Із використанням описаного обладнання і методики проведено дослідження крутного моменту, що необхідний для зрізування гички із коренеплодів. Дослідження реалізоване на основі математичного методу планування

експерименту із використанням плану експерименту Бокса-Бенкіна другого порядку (Мельников та ін., 1980; Новик & Арсов, 1980). При формуванні таблиці факторів (таблиця) та встановленні рівнів їх варіювання були враховані результати пошукових досліджень, а також результати досліджень машин для збирання цукрового буряка.



а



б

Рис. 3 – Пристосування для встановлення коренеплоду цукрового буряка на заданий кут відхилення його осі від осі брального шківця:
а – металева вісь; б – кутові шаблони



Рис. 4 – Фото розмірних груп коренеплодів, що досліджувалися

Таблиця – Фактори і рівні варіювання

Рівні та інтервал варіювання факторів	Фактори		
	Максимальний діаметр коренеплоду D , мм	Зазор між ножем та нижньою кромкою брального шківця h , мм	Кут нахилу осі коренеплоду α , град
	x_1	x_2	x_3
Верхній (+1)	160	20	15
Основний (0)	120	15	10
Нижній (-1)	80	10	5
Інтервал варіювання	40	5	5

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Оброблення експериментальних даних здійснено на ПК у середовищі MathCAD. Однорідність ряду дисперсій перевіряли за критерієм Кохрена. Оскільки виконується умова $G^{розр.} = 0,171 < G^{табл.}(0,05;15;2) = 0,335$, то процес відтворюється. Для встановлення довірчого інтервалу коефіцієнтів рівняння регресії використовували критерій Стюдента, табличне значення якого для випадку 5%-рівня значущості і числа ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів $f_1 = 2$ становить $t = 4,3$ (Новик & Арсов, 1980). На основі встановлених довірчих інтервалів та коваріацій здійснювали перевірку значущості коефіцієнтів регресії. Незначущим виявився лише коефіцієнт парної взаємодії між другим та третім факторами, тобто зазором між ножем і нижньою кромкою браального шківця та кутом нахилу осі коренеплоду відносно осі браального шківця. Із урахуванням зазначеного, отримаємо:

$$y = 9,367 + 8,254x_1 + 4,517x_2 + 3,879x_3 + 2,417x_1x_3 + 4,192x_1^2 + 2,483x_2^2 - 1,092x_3^2. \quad (2)$$

Перевірку гіпотези щодо адекватності рівняння регресії (2) проводили за критерієм Фішера. Розрахункове значення критерію становило $F^{розр.} = 14,834$, а табличне значення критерію за прийнятого рівня значущості (Новик & Арсов, 1980):

$$F^{табл.}(0,05;f_2;f_1) = 19,33; \quad (3)$$

де f_2 – число ступенів вільності дисперсії неадекватності; f_1 – число ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів.

Оскільки для критерію виконується умова $F^{розр.} = 14,834 < F^{табл.}(0,05;f_2;f_1) = 19,33$, то гіпотеза адекватності отриманого рівняння регресії підтверджується.

Тоді рівняння регресії із факторами у натуральному вигляді матиме вигляд:

$$M = 68,677 - 0,8364D - 4,421h + 0,1992\alpha + 0,01954Dh + 0,012085D\alpha + 0,00262D^2 + 0,09932h^2 - 0,04368\alpha^2. \quad (4)$$

За рівнянням регресії (4) були побудовані поверхні відгуку, що представлені на **рис. 5**, які дозволяють провести оцінювання впливу досліджуваних факторів на максимальний крутний момент зрізування гички цукрового буряка.

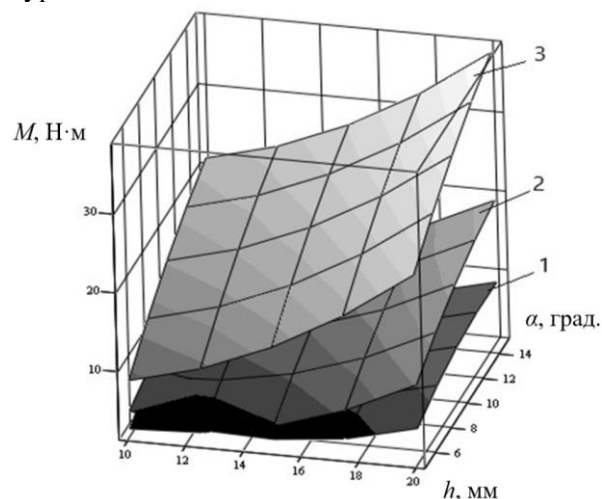


Рис. 5 – Поверхні відгуку $M = f(h, \alpha)$ за різних максимальних діаметрів коренеплодів цукрового буряка:
1 – $D = 80$ мм; 2 – $D = 120$ мм; 3 – $D = 160$ мм

ВИСНОВКИ

Аналіз рівняння регресії у кодованих факторах (2) та поверхні відгуку (**рис. 5**) дозволяє зробити висновок про те, що усі вибрані фактори є значущими та їх збільшення призводить до зростання крутного моменту, необхідного для зрізування гички. Зважаючи на те, що зменшення максимального діаметру коренеплоду буряка обмежене природними факторами та прагненням до максимальної урожайності, то мінімізувати енергетичні затрати можна шляхом зменшення зазору між площиною ножа та нижньою площиною браального шківця до 10–15 мм, а також прийняттям кута встановлення браального апарату, який пов'язаний із кутом між віссю коренеплоду та віссю браального шківця, у межах 5–10 град. Необхідно зазначити, що зменшення зазору між площиною ножа та нижньою кромкою браального шківця призведе до зростання довжини залишків гички на коренеплоді і, особливо, бічних листків гички на коренеплодах діаметром понад 120 мм. Недолік може бути усунутий встановленням додаткового ножа із більшим зазором і дією лише на бічні листки гички.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Адамчук, В. В., Булгаков, В. М., Головач, І. В., Ігнат'єв, Є. І., & Борис, А. М. (2019). Дослідження розподілення висоти виступання головок коренеплодів буряків цукрових над поверхнею ґрунту (*Experimental study of the statistical distribution of height of protrusion of beetroot heads above the soil surface*). *Вісник аграрної науки*, 12, 48-53. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201912-07>
- Барановський, В. М., Підгурський, М. І., Паньків, М. Р. та ін. (2014). *Основи розробки адаптованих транспортно-технологічних систем коренезбиральних машин (Foundations of development of adapted transport and technological systems of root-harvesting machines)*. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя.
- Булгаков, В. М., & Ігнат'єв, Є. І. (2018). Результати експериментальних досліджень показників роботи гичкозбиральної машини для суцільного зрізу гички (*Results of experimental studies of operation indicators of beet tops harvesting machine for continuous cutting*). *Механізація та електрифікація сільського господарства*, 8, 105-113.
- Булгаков, В. М. (2009). *Теорія свеклоуборочних машин (Theory of beet harvesters)*. Кировоград: «КОД».
- Гевко, Р. Б. (1999). *Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів бурякозбиральних машин (Substantiation of constructive-technological parameters of working bodies of beet harvesters)* [Автореф. дисертації д-ра техн. наук]. Національний аграрний університет, Київ.
- Ігнат'єв, Є. І. (2016). *Науково-технічне обґрунтування способів збирання гички цукрових буряків в сучасних умовах (Scientific and technical substantiation of harvesting sugar beet tops under modern conditions)*. *Механізація та електрифікація сільського господарства*, 3, 82-90.
- Мартиненко, В. Я. (2000). *Механіко-технологічні основи підвищення ефективності робочих органів гичкозбиральних машин (Mechanical and technological bases of increase of efficiency of working bodies of tops-harvesting machines)* [Дисертація д-ра техн. наук]. ВАТ «Тернопільський комбайновий завод», Тернопіль.
- Мельников, С. В. и др. (1980). *Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов (Experiment planning in agricultural process research)*. Ленинград: Колос.
- Новик, Ф. С. & Арсов, Я. Б. (1980). *Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов (Optimization of metal technology processes by methods of planning experiments)*. Москва: Машиностроение; София: Техника.
- Погорелый, Л. В. и др. (1983). *Свеклоуборочные машины. Конструирование и расчет (Beet harvesters. Construction and calculation)*. Київ: Техніка.
- Хелемендик, М. М. (2001). *Напрями і методи розробки робочих органів сільськогосподарських машин (Directions and methods of development of working bodies of agricultural machines)*. Київ: Аграрна наука.

THE IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION OF THE AGRICULTURAL CROPS RESIDUES FOR FURTHER USE

S. Yaheliuk^{1*}, M. Fomych¹, O. Holiy², A. Khomych³

¹Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

²State Enterprise «Experimental Research Farm ELITA», Rokiny, Ukraine

³Liubeshiv Technical College, Liubeshiv, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES



ABSTRACT

The Ukrainian Agro-Industrial Complex faces the task of improving the post-harvest operations system with the agricultural plants biomass. At best, it is crushed and left in the soil, and at worst, it is burned. A number of directives on the protection of the environment from the incineration of agricultural waste have been developed and implemented in the European Union for several decades, and Ukraine has only just begun to implement regulations governing the management of plant biomass. The task is compounded by the wide variety of crops, crop residues and waste. Unfortunately, despite the existing research, in Ukraine today a few enterprises use the agricultural plants biomass for the production of consumer products. The identification and classification of the agricultural plants biomass according to the main characteristics is the first step in solving the problem. This will allow identifying priority opportunities for further use of residues after harvesting or processing crops. In the paper the volumes and types of agricultural plants biomass that are formed after harvesting and processing crops in Ukraine are analyzed. It was revealed that more wastes are generated in the production of corn, ear, oilseeds and bast crops. Also found for all the indicated plant residues is found the general need for processing the stems (straw), as well as residues after the production of the main product (husk, cake, meal). Based on the modern research, it can be argued that at the present stage of development of the Agro-industrial Complex, the most rational way of processing the agricultural plants biomass is the production of various types of solid fuels.

Key words:

biomass,
identification of crop residues,
classification of crop residues,
solid fuel,
processing of crop residues

Article history:

Received 02.11.2021

Accepted 12.12.2021

***Corresponding author:**

cler2010@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi47.654

To cite this article:

Yaheliuk, S., Fomych, M., Holiy, O., & Khomych, A. (2021). The identification and classification of the agricultural crops residues for further use. *Agricultural Machines*, 47, 95-101. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.654>

УДК 677.11:677.021.15

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАЛИШКІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ВИКОРИСТАННЯ

С.В. Ягелюк^{1*}, М.І. Фомич¹, О.В. Голій², А.В. Хомич³¹Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна²ДПЕГ «Еліта» Волинської ДСГСДС ІК НААН, Рокині, Україна³Любешівський технічний коледж, Любешів, Україна

AGRICULTURAL MACHINES

**А
С М М**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

На сучасному етапі розвитку перед агропромисловим комплексом в Україні постала задача удосконалення системи післязбиральних операцій з біомасою сільськогосподарських культур. У кращому випадку її подрібнюють та залишають у ґрунті, а в гіршому – спалюють. У країнах ЄС вже протягом декількох десятиліть розроблена та застосовується низка директив щодо охорони навколишнього середовища від спалювання рослинних відходів сільськогосподарського виробництва, а в Україні цей процес тільки розпочато. Проблема ускладнюється великою різноманітністю культур, рослинних залишків та відходів. На жаль, незважаючи на існуючі дослідження та наукові розробки у цій галузі, в Україні на сьогодні дуже мало підприємств використовують біомасу сільськогосподарських культур для виробництва споживчої продукції. Ідентифікація та класифікація рослинних залишків за основними ознаками є першим кроком для вирішення проблеми. Це дозволить визначати пріоритетні можливості подальшого використання залишків після збирання або перероблення сільськогосподарських культур. У статті проаналізовані обсяги та види біомаси сільськогосподарських культур, що утворюється після збирання й перероблення урожаю в Україні. Виявлено, що найбільше залишків та відходів утворюється під час виробництва кукурудзи, зернових колосових, олійних та луб'яних культур. Також встановлено, що для всіх зазначених рослинних залишків спільною є необхідність перероблення стебел (соломи), а також залишків після виробництва основної продукції (лушпиння, макухи, шроту). Найбільш раціональним способом перероблення біомаси є виробництво різних видів твердого палива для опалювальних котлів.

Ключові слова:

біомаса,
ідентифікація залишків
сільськогосподарських культур,
класифікація залишків
сільськогосподарських культур,
тверді паливні матеріали,
перероблення залишків
сільськогосподарських культур

Історія публікації:

Отримано 02.11.2021

Затверджено 12.12.2021

*Автор для листування:

cler2010@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi47.654

Цитувати цю статтю:

Ягелюк, С. В., Фомич, М. І., Голій, О. В., & Хомич, А. В. (2021). Ідентифікація та класифікація залишків сільськогосподарських культур для подальшого використання. *Сільськогосподарські машини*, 47, 95-101. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.654>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Згідно статистичних даних (*Ukrstat, n.d.*) у 2020 році обсяг утворених відходів в Україні склав 10779 тис т, із них 1363 тис т – це рослинні відходи сільськогосподарського виробництва (біомаса), що потребує утилізації.

У країнах ЄС вже протягом декількох десятиліть розроблена та застосовується низка директив щодо охорони навколишнього середовища від спалювання рослинних відходів сільськогосподарського виробництва. Згідно (*Розпорядження КМУ № 371-р, 2015*) в Україні імплементуються законодавчі акти та директиви, які регламентують поведінку агропідприємств з рослинною біомасою.

Наукові дослідження показали, що під час спалювання рослинної біомаси відбувається викид твердих частинок (сажі), оксиду азоту, який сприяє забрудненню приземного озону, різних канцерогенів та чадного газу. Спалювання рослинної біомаси фактично сприяє зміні клімату в той час, коли необхідно скоротити викиди вуглецю (*Gaba & Iordache, 2011*). Для вирішення цієї проблеми Кабінет Міністрів України в 2017 році запровадив «Національну стратегію управління відходами» (*Розпорядження КМУ № 820-р, 2017*). У документі значна увага приділена розвитку галузі перероблення відходів сільського господарства.

Ураховуючи зазначені зміни, українські дослідники намагаються запропонувати напрями використання рослинної біомаси (*Дідух та ін., 2010; Ягелюк & Дідух, 2020*).

Відповідно до (*Gregory, 2016*) найбільш доцільним у сучасних умовах є виробництво твердого біопалива. На жаль, в Україні на сьогодні незначна кількість підприємств використовує біомасу для виробництва палива (*Чурілов та ін., 2012*). Встановлено, що для виготовлення паливних матеріалів із рослинної біомаси можна використовувати механічні засоби та технології, за допомогою яких отримують гранули та брикети (*Gregory, 2016*). Ще одним напрямом використання рослинних залишків сільськогосподарських культур, що дозволить економічно та швидко виготовити тверді паливні матеріали, є виготовлення малогабаритних паливних рулонів для сучасних опалювальних твердопаливних котлів (*Yaheliuk et al., 2020*). Однак, на сьогодні вітчизняні технології перероблення

рослинної біомаси сільськогосподарських культур розвинуті недостатньо.

Причиною повільного розвитку технологій післязбирального оброблення та перероблення рослинної біомаси в споживчу продукцію є відсутність в державі комплексного підходу до ідентифікації та класифікації рослинних сільськогосподарських залишків. Вирішенню цього питання присвячена стаття.

Мета дослідження – ідентифікувати й класифікувати біомасу сільськогосподарських культур, що залишається у полі після збирання урожаю, та проаналізувати можливості її перероблення.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Аналітичні дослідження проводилися із використанням методів аналізу, синтезу, наукової абстракції та комплексного підходу. Результати цього дослідження базуються на матеріалах, що отримані під час аналізу статистичних даних (*Ukrstat, n.d.*), та експериментальних спостереженнях (*Онюх, 2017; Yaheliuk et al., 2020*). На основі експериментальних даних досліджень, що проводилися у 2017–2021 роках у Луцькому національному технічному університеті та ДПЕГ «Еліта» Волинської ДСГСДС ІК НААН України, встановили основні ідентифікаційні та класифікаційні ознаки рослинної біомаси сільськогосподарських культур.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Сучасні технології агропромислового виробництва в Україні не передбачають перероблення післязбиральних залишків сільськогосподарських культур (рослинної біомаси). Відповідно до даних «Утворення відходів за класифікаційними угрупованнями державного класифікатора відходів» (*Ukrstat, n.d.*) в Україні у 2020 році було ідентифіковано та описано відходи сільськогосподарських культур, інформація щодо обсягів яких представлена в **таблиці 1**. Згідно даних (*Ukrstat, n.d.*) на полях агропромислових підприємств залишаються стебла кукурудзи, сої, льону олійного, ріпаку, соняшнику, конопель та багатьох іншого культур. Усі рослинні відходи варіюються за кількістю, місцем збирання, етапами технологічних процесів, можливістю подальшої утилізації.

На **рис.** узагальнена якісна та кількісна характеристика рослинної біомаси, що залишається після збирання основного урожаю сільськогосподарських культур. Згідно даних, які представлені на **рис.**, можна зробити висновок, що наймасовішими та придатними

до перероблення залишками є сухі стебла кукурудзи та солома, зокрема солома льону олійного. Аналізуючи дані **таблиці 1** та **рис.** можна виокремити такі основні джерела рослинної біомаси: кукурудза, соняшник, зернові (колосові), луб'яні та олійні культури.

Таблиця 1 – Відходи сільськогосподарських культур (*Ukrstat, n.d.*)

Найменування відходів за класифікаційними угрупованнями державного класифікатора відходів (ДК 005-06)	Код відходів	Обсяг утворених відходів, т
1	2	3
Насіння злаків хлібних та культур сільськогосподарських, н. в. і у., зіпсоване (у т. ч. під час оброблення)	0111.1.1.01	23967,1
Відходи тканин рослинного походження	0111.2.6.00	83834,5
Солома колосова	0111.2.9.01	234882,4
Солома інша	0111.2.9.02	353218,3
Качани кукурудзи обрушені	0111.2.9.03	1231,2
Стебла кукурудзи сухі	0111.2.9.04	602698,4
Злаки хлібні некондиційні	0111.3.1.01	28384,7
Картопля некондиційна	0111.3.1.02	187,4
Культури бобові некондиційні	0111.3.1.03	165,1
Плоди, насіння олійних культур некондиційні	0111.3.1.04	4798,6
Буряк цукровий некондиційний	0111.3.1.06	13826,6
Солома та фураж некондиційні	0111.3.1.07	3214,1
Сировина рослинна (у т. ч. волокна луб'яні), яку використовують у текстильному виробництві, некондиційна	0111.3.1.08	406,0
Рослини (у т. ч. ефіроолійні), квіти тощо, які використовують головним чином у парфумерії, фармацевтиці або як інсектицидні, фунгіцидні чи аналогічні засоби, некондиційні	0111.3.1.09	96,2
Злаки хлібні, культури зернові інші забруднені радіонуклідами та (або) шкідливими (небезпечними) речовинами	0111.3.2.01	628,9
Культури сільськогосподарські інші (у т. ч. картопля, бобові, плоди та насіння олійні, тютюн та махорка, буряк цукровий, солома та фураж, рослини для текстильного виробництва, рослини для парфумерії та фармацевтики тощо), забруднені радіонуклідами	0111.3.2.02	
Бадиля овочева	0112.2.9.01	257,9
Залишки, які утворилися під час догляду за посадками овочів, квітів, саджанців	0112.2.9.02	2288,7
Коренеплоди та бульбоплоди некондиційні	0112.3.1.01	72,0

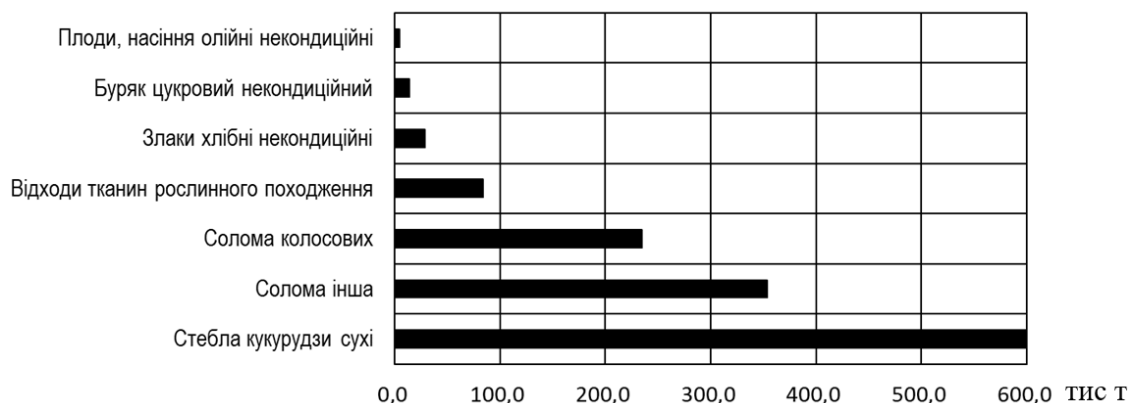


Рис. – Основні складові біомаси сільськогосподарських культур

Сучасні технології збирання кукурудзи на зерно не передбачають оброблення стеблової частини. Якщо комбайни не обладнані подрібнювачами, тоді технологічний процес потребує додаткових засобів для утилізації залишків стебел. Не існує промислових технологій перероблення качанів. На сьогодні є спроби виробляти тверді види біопалива із побічних продуктів кукурудзи на зерно: прямокутні і круглі тюки, гранули та брикети. Також були спроби використання цієї біомаси як субстрату для біогазових установок у тестовому режимі (Gregory, 2016).

У процесі збирання льону олійного одержують насіння (основний продукт) та стеблову частину (побічний продукт, відходи). Насіння, за необхідності, підсушують та очищають. Льоносолома залишається у валках на полі. Хоча, згідно існуючих наукових досліджень (Chursina et al., 2019), з трести льону олійного можна отримати неорієнтоване волокно, яке може використовуватися в якості сировини для виробництва паперу, нетканих матеріалів та армування пластмас. Також соломі цієї культури використовують для одержання різних паливних матеріалів (Yaheliuk et al., 2020).

Дещо краща ситуація склалася із соломою зернових колосових культур (Безуглий та ін., 2010). Розроблені та запроваджені технології подрібнення із подальшим переорюванням рослинних залишків. Ці технології дозволяють використовувати рослинну біомасу в якості органічного добрива. Іншим напрямом є використання соломи зернових колосових культур як грубого корму у тваринництві. Проте, дослідження показали, що цей напрям малоефективний. Також соломі застосовують

в енергетичних цілях як паливо.

Аналіз даних **таблиці 1** та **рис.** дозволяє стверджувати, що рослинну біомасу можна класифікувати за видом сільськогосподарської культури, етапом технологічного процесу (коли саме отримали рослинні залишки), а також за напрямом подальшого використання.

На основі класифікаційних характеристик у **таблиці 2** можна підсумувати, що для більшості сільськогосподарських культур основним залишком, що потребує перероблення після збирання урожаю, є солома. Лушпиння і відходи перероблення кукурудзи, соняшника, колосових та інших культур – вторинна складова біомаси сільськогосподарської продукції. Також варто зазначити, що обидві складові придатні для виготовлення різних видів твердого біопалива. Для АПК найбільш раціональним способом перероблення біомаси сільськогосподарських рослин можна вважати виробництво різних видів твердого палива. У цьому разі, основною операцією, що може бути спільною для всіх видів залишків сільськогосподарських культур, є подрібнення. Доцільно звернути увагу на розроблення технічних засобів для подрібнення залишків сільськогосподарських культур.

У різних країнах здійснюють пошуки способів максимального використання всього потенціалу сільськогосподарських культур (Ogone et al., 2017), адже утилізація методом спалювання – це екологічна та економічна проблема. Використання біомаси в якості твердого палива є перспективним. Під час використання рослинної біомаси як палива необхідно враховувати її класифікаційні особливості (**таблиця 2**) і періодичність циклів її відтворення.

Таблиця 2 – Класифікація біомаси сільськогосподарських культур за основними ознаками

Культура	Продукція	Відходи		Використання (пропозиція)	
		первинні	вторинні	первинні	вторинні
1	2	3	4	5	6
Кукурудза	зерно	стебло	качани	тверде паливо (рулони, брикети, пелети)	тверде паливо (пелети)
Колосові	зерно	стебло (солома)	некондиційне зерно	корм, добрива, тверде паливо (рулони, брикети)	корм для тварин
Льон олійний	насіння	стебло (солома), треста	лушпиння, макуха, шрот, некондиційне насіння	текстильне волокно, неорієнтоване волокно, тверде паливо (рулон)	харчові продукти (халва), корм для тварин, тверде паливо (брикети)
Льон-довгунець	стебло	некондиційне стебло	костриця, лушпиння, некондиційне насіння	тверде паливо (рулони)	корм для тварин, тверде паливо (брикети, пелети)
Соняшник	насіння	стебло	лушпиння, макуха, шрот	тверде паливо (рулони, брикети, пелети)	харчові продукти (халва), корм для тварин, тверде паливо (брикети)

ВИСНОВКИ

Рослинна біомаса сільськогосподарських культур має великий потенціал та є перспективним джерелом екологічно чистої енергії в Україні та світі. У результаті проведених досліджень встановлено, що рослинну біомасу можна ідентифікувати та класифікувати за видом сільськогосподарської культури, етапом технологічного процесу (коли і де саме отримали рослинні залишки), а також за напрямом подальшого використання. Проведені дослідження продемонстрували, що найбільш раціональним шляхом перероблення біомаси сільськогосподарських культур можна вважати виробництво різних видів твердого палива. У цьому разі, основною технологічною операцією, що може бути спільною для всіх видів рослинних залишків, є подрібнення. Перетворення рослинної біомаси на тверді паливні матеріали є хорошою можливістю для України підвищити економічну ефективність та екологічність вирощування різних сільськогосподарських культур, а також забезпечити споживачів твердим біопаливом.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Chursina, L., Tikhosova, H., Holovenko, T., Shovkomud, O., Kniaziev, O., & Yanyuk, T. (2019). Innovative

technologies of oilseed flax straw mechanical processing and quality of obtained fibers. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 57(1), 207-214.

Gaba, A., & Iordache, S. F. (2011). Reduction of air pollution by combustion processes. Retrieved October 10, 2021, from <https://www.intechopen.com/books/the-impact-of-air-pollution-on-health-economy-environment-and-agricultural-sources/reduction-of-air-pollution-by-combustion-processes>

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.

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.). *Утворення відходів за класифікаційними угрупованнями державного класифікатора відходів у 2020 році (Waste generation by classification groups of the state waste classifier in 2020)*. Отримано 01 жовтня 2021 з http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/uv_zaklass/arch_uv_zaklass_u.htm

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

- Безуглий, М., Гриник, І., & Булгаков, В. (2010). Науково-практичні підходи до використання соломи та рослинних решток (*Scientific and practical approaches to the use of straw and plant residues*). *Вісник аграрної науки*, 3, 5-8.
- Дідух, В., Тараймович, І., & Дударев, І. (2010). Технології використання льону олійного на енергетичні цілі (*Technologies for the use of flax oil for energy purposes*). *Збірник наукових праць ВНАУ*, 5, 145-147. <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/3477.pdf>
- Онох, Ю. (2017). Особливості вирощування льону олійного в умовах Західного Полісся (*Features of growing flax oil in the conditions of Western Polissya*). *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Сільсько-господарські науки*, 27, 37-43.
- Розпорядження КМУ № 371-р. (2015). *Про схвалення розроблених Міністерством екології та природних ресурсів планів імплементації деяких актів законодавства ЄС (On approval of the plans developed by the Ministry of Ecology and Natural Resources for the implementation of certain acts of EU legislation)*. Отримано 10 жовтня 2021 з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/371-2015-%D1%80#Text>
- Розпорядження КМУ № 820-р. (2017). *Національна стратегія управління відходами (National Waste Management Strategy)*. Отримано 10 жовтня 2021 з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>
- Чурилов, Д., Калініченко, В., Калініченко, А., & Малинська, Л. (2012). Державне регулювання ринку твердого біопалива як один із чинників збалансованого природокористування (*State regulation of the solid biofuels market as one of the factors of sustainable nature management*). *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 2, 89-93. <https://doi.org/10.31210/visnyk2012.02.18>
- Ягелюк, С., & Дідух, В. (2020). Напрямки використання продукції переробки льону олійного та льону-довгунця (*Areas of use of oilseed and long flax processing products*). *Товарознавчий вісник*, 1(13), 292-305. <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2020-13-25>

SEPARATION METHODS AND SEPARATORS OF GRAIN MASS

V. Olkhovskyi, I. Dudarev*

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine



ABSTRACT

Grain is a valuable raw material for food production, as well as for the production of bioethanol, alcohol, feed and medicines. Technologies of storage and primary processing of grain involve the separation process of grain mass. The quality and cost of grain largely depend on the efficiency of grain separation process. There are preliminary, primary and secondary cleaning of grain. Impurities from the grain mass are separated due to differences between their physical and mechanical properties and the properties of the grain of the main crop. These properties include: size and shape, aerodynamic properties, density, surface texture of grain mass components, coefficients of internal and external friction, elastic properties, humidity, color, etc. Different separation methods are used to separate the components of the grain mass by physical and mechanical properties, such as gravitational, mechanical, pneumatic, friction, magnetic, optical, electrical, X-ray, hydraulic and combined. Gravitational, mechanical and pneumatic grain mass separation methods are the most used. To separate from the grain mass of all impurities that have different physical and mechanical properties and nature, use a combined separation method, which involves the simultaneous or sequential separation of components of the grain mass on several grounds of divisibility. The grain mass separation method is chosen taking into account the feature that allows us during the separation to ensure the most complete separation of impurities or to divide the grain mass into fractions. Gravitational, electrostatic, magnetic, optical, pneumatic, sieve, belt and friction separators are used for separation of grain masses. For cleaning and separation into seed and food grain fractions, separators with sieve working surfaces of different construction are mainly used. Based on the results of the analysis of sieve work surfaces, their classification and classification of sieve orifices are formed.

Key words:

grain separation process,
grain separator,
grain separation methods,
separator sieves,
grain mass

Article history:

Received 05.09.2021

Accepted 01.12.2021

*Corresponding author:

i_dudarev@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi47.655

To cite this article:

Olkhovskyi, V., & Dudarev, I. (2021). Separation methods and separators of grain mass. *Agricultural Machines*, 47, 102-112. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.655>

УДК 621.928:167

СПОСОБИ СЕПАРУВАННЯ ТА СЕПАРАТОРИ ЗЕРНОВОЇ МАСИ

В.О. Ольховський, І.М. Дударев*

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

AGRICULTURAL MACHINES

АМ
СМ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Зерно є цінною сировиною для харчових виробництв, а також для виготовлення біоетанолу, спирту, комбікормів та медичних препаратів. Технології зберігання та первинного перероблення зерна передбачають процес сепарування зернової маси. Від ефективності сепарування зернової маси значною мірою залежать якість та вартість зерна. Розрізняють попереднє, первинне та вторинне очищення зерна. Домішки із зернової маси відокремлюються внаслідок відмінностей між їхніми фізико-механічними властивостями та властивостями зерна основної культури. До цих властивостей відносяться: розмір та форма, аеродинамічні властивості, густина, текстура поверхні складових зернової маси, коефіцієнти внутрішнього та зовнішнього тертя, пружні властивості, вологість, колір. Для поділу складових зернової маси за фізико-механічними властивостями застосовуються різні способи сепарування: гравітаційний, механічний, пневматичний, фрикційний, магнітний, оптичний, електричний, рентгенівський, гідравлічний та комбінований. Гравітаційний, механічний та пневматичний способи сепарування зернової маси є найбільш застосованими. Для відокремлення із зернової маси усіх домішок, які мають різні фізико-механічні властивості та природу, застосовується комбінований спосіб сепарування, що передбачає одночасний чи послідовний поділ складових зернової маси за декількома ознаками подільності. Спосіб сепарування зернової маси обирається із урахуванням ознаки, яка дозволяє під час сепарування забезпечити найбільш повне відокремлення домішок або ж розділити зернову масу на фракції. Для сепарування зернових мас використовуються гравітаційні, електростатичні, магнітні, оптичні, пневматичні, решітні, стрічкові та фрикційні сепаратори. Для очищення та розділення на фракції насінневого і продовольчого зерна використовуються сепаратори із решітними робочими поверхнями. За результатами аналізу решітних робочих поверхонь сформовано їх класифікацію та класифікацію отворів решітних поверхонь.

Ключові слова:

сепарування зерна,
зерновий сепаратор,
способи сепарування зерна,
решета сепаратора,
зернова маса

Історія публікації:

Отримано 05.09.2021

Затверджено 01.12.2021

***Автор для листування:**

i_dudarev@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi47.655

Цитувати цю статтю:

Ольховський, В. О., & Дударев, І. М. (2021). Способи сепарування та сепаратори зернової маси. *Сільськогосподарські машини*, 47, 102-112. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.655>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Зерно різних культур, окрім того, що воно є посівним матеріалом, становить більшу частину світового запасу продовольства (Cassman et al., 2010) та є цінною сировиною для харчових виробництв і виготовлення спирту, біоетанолу, комбікормів, медичних препаратів (Гринчук, 2013; Бурлака, 2012). Розрізняють злакові, бобові та гречкові зернові культури (Зінченко та ін., 2008). Найбільш поширеними у світі зерновими культурами є рис, пшениця та кукурудза (Awika, 2011). Для задоволення зростаючих потреб населення планети у продуктах харчування, а також для виробництва біопалива світове виробництво зернових культур має подвоїтися до 2050 року (Ray et al., 2013). В Україні сприятливі природно-кліматичні умови для вирощування зернових, які дозволяють отримувати високий урожай. Крім того, застосування прогресивних агротехнологій та сучасної техніки дозволяє щороку підвищувати урожайність зернових культур в Україні (таблиця) (Державна служба статистики України, 2021; Савченко & Константинова, 2020). Обсяги виробництва

зерна в Україні повністю забезпечують внутрішні потреби країни та дозволяють експортувати значну частину урожаю (Лебідь & Прищепя, 2013). Найбільший експортний потенціал в Україні мають пшениця, кукурудза та ячмінь (рис. 1) (Месель-Веселяк, 2018; Пачинок, 2021).

Для зберігання і перероблення зростаючих обсягів зерна необхідне будівництво нових потужностей з сучасним високопродуктивним обладнанням та прогресивними технологіями.

Технологія зберігання та перероблення зерна передбачає його сепарування з метою відокремлення зернових (зерно неосновної культури, пошкоджене зерно основної культури) та смітних (полова, частинки соломи, насіння бур'янів, пісок, пил, частинки ґрунту тощо) домішок (Верещинський, 2018), а також розділення зерна на фракції за крупністю. Тому проведення аналізу способів сепарування зернових мас та сепараторів є актуальним завданням, що дозволить визначити фактори, які впливають на вибір способу сепарування і конструкції сепаратора, які б забезпечували високу ефективність процесу сепарування.

Таблиця – Урожайність та обсяг виробництва зернових культур в Україні (2010–2020 рр.) (Державна служба статистики України, 2021; Савченко & Константинова, 2020)

Рік	Площа (зібрана), тис га	Урожайність з 1 га зібраної площі, ц	Обсяг виробництва (валовий збір), тис т
2010	15090	26,9	39271
2011	15724	37,0	56747
2012	15449	31,2	46216
2013	16210	39,9	63051
2014 ¹	14801	43,7	63859
2015 ¹	14739	41,1	60126
2016 ¹	14401	46,1	66088
2017 ¹	14624	42,5	61917
2018 ¹	14839	47,4	70057
2019 ¹	15318	49,1	75143
2020 ¹	14759	42,9	63344

¹ Дані представлено без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, міста Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях.

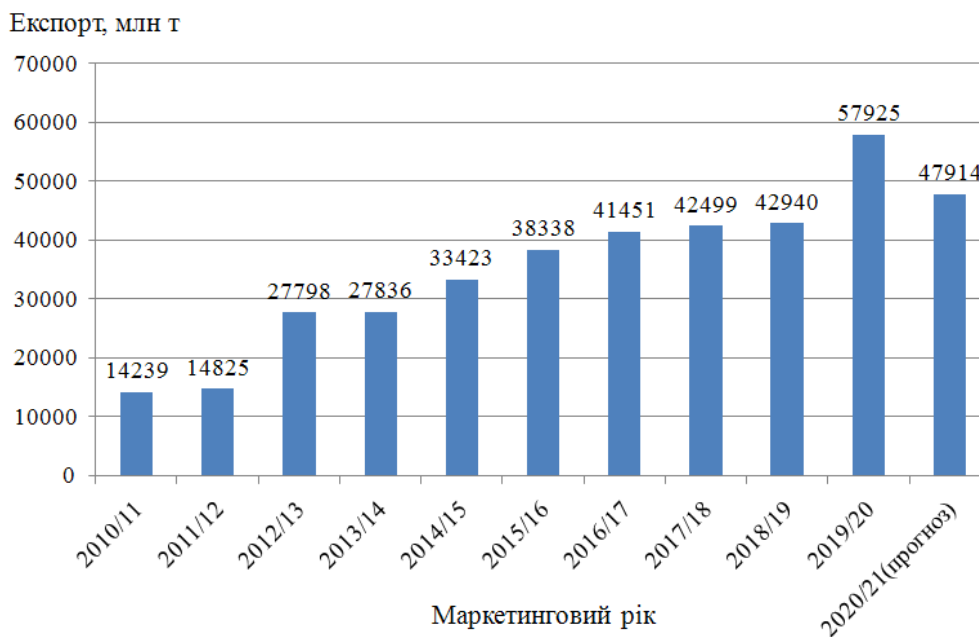


Рис. 1 – Експорт зернових та зернобобових культур з України (Пачинок, 2021)

Мета дослідження – проведення аналізу способів сепарування зернової маси та конструкцій сепараторів.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Дослідження передбачало проведення аналізу способів сепарування зернових мас та конструкцій решітних робочих поверхонь сепараторів. Аналіз здійснювався на основі огляду науково-технічної літератури та інших джерел інформації. За результатами аналізу були сформовані класифікація решітних робочих поверхонь сепараторів та їх отворів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Сепарування зернової маси забезпечує підготовлення зерна та насіння до зберігання та подальшого використання як посівного матеріалу чи продовольчої сировини. Від ефективності сепарування зернової маси залежать якість та вартість зерна. Розрізняють попереднє, первинне та вторинне очищення зерна. Відокремлення крупних домішок та насіння різних бур'янів відбувається під час попереднього очищення зерна, що проводять після збирання зернових культур. Після попереднього очищення зернова маса стає більш сипкою, оскільки з неї відокремлюється не менше 50–60% бур'янистих та 99–100%

соломистих домішок (Степаненко, 2012). Ефективність первинного очищення має бути не меншою за 60% (Головин & Прокопов, 2015). На цьому етапі з маси відокремлюються домішки, що залишилися після попереднього очищення.

Особливі домішки відокремлюються під час вторинного очищення. На цьому етапі зерно також поділяється на фракції за крупністю, при цьому його втрати не повинні перевищувати 1% (Головин & Прокопов, 2015). Для унеможливлення злипання частинок зернової маси, що суттєво впливає на ефективність сепарування, вологість зернової маси не повинна перевищувати 18% (Головин & Прокопов, 2015).

Органічні та неорганічні домішки із зернової маси відокремлюються внаслідок відмінностей між їхніми фізико-механічними властивостями і властивостями зерна основної культури. До цих властивостей відносяться: розмір (довжина, ширина, товщина) та форма, аеродинамічні властивості, густина, текстура поверхні складових зернової маси (гладка, щільна, пориста, шорстка чи бугорчата), коефіцієнти внутрішнього та зовнішнього тертя, пружні властивості, вологість, колір тощо (Bracacescu et al., 2016; Гапонюк, 2010; Заика, & Мазнев, 1978; Михайлов та ін., 2020; Шуханов, 2018). Використання перелічених

властивостей складових зернової маси як ознак для подільності зумовлює різні результати: очищення, сортування, калібрування та збагачення зернової маси.

Для поділу зернової маси за фізико-механічними властивостями застосовуються різні способи сепарування (рис. 2) (Белецький та ін., 2018; Богомолов та ін., 2019; Галкин та ін., 2017; Гапонюк & Мосиенко, 2012; Кирпа & Ковальов, 2018; Куліш & Леценко, 2013; Куценко, 2014; Олексієнко та ін., 2017): гравітаційний, механічний, пневматичний, фрикційний, магнітний, рентгенівський, оптичний, електричний, гідравлічний та комбінований.

Гравітаційний, механічний і пневматичний способи сепарування зернової маси є найбільш застосованими. В основі гравітаційного способу сепарування зернових мас є використання гравітаційних властивостей їх складових, зокрема густини.

Механічний спосіб сепарування зернової маси передбачає її просіювання на конічних, плоских, спіральних або циліндричних решітчастих робочих поверхнях сепараторів, які коливаються за різними траєкторіями або/та обертаються, або шляхом трієрування зернової маси у дискових чи циліндричних трієрах. Спосіб дозволяє розділити складові зернової маси за розмірами і формою.

Під час застосування пневматичного способу сепарування відбувається розділення складових зернової маси із використанням повітряного потоку. При цьому за напрямком повітряний потік може бути вертикальним, горизонтальним і похилим (Куліш & Леценко, 2013). Цей спосіб заснований на різних

аеродинамічних властивостях складових зернової маси, зокрема швидкості витання.

За електричного способу зернова маса розділяється в електричному полі коронного розряду або в електростатичному полі (Белецький та ін., 2018).

За оптичного способу сепарування, основою якого є аналізування цифрових зображень, що отримані оптичними камерами, відбувається розділення зернової маси за кольором, текстурою та формою її складових (Солдатенко, 2018).

Рентгенівський спосіб сепарування полягає у тому, що зерно, яке має приховані дефекти, відокремлюють із зернової маси шляхом його ідентифікації із використанням отриманих зображень (Потрахов та ін., 2017).

За фрикційного способу розділення зернової маси проходить на похилих нерухомих чи рухомих, зокрема вібраційних, неперфорованих поверхнях із урахуванням фрикційних властивостей складових зернової маси, зокрема коефіцієнта зовнішнього тертя (Лукьяненко, 2015; Мечинский та ін., 2014).

Використання магнітного поля для відокремлення феродомішок із зернової маси передбачає магнітний спосіб сепарування (Самойлов та ін., 2015). Під час застосування гідравлічного способу сепарування, який заснований на урахуванні швидкості осідання частинок із різною масою у воді, відбувається розділення зерна на фракції за крупністю та відокремлення пошкодженого зерна і легких домішок (Радченко & Дутченко, 2013). Цей спосіб сепарування можна реалізувати у висхідних, горизонтальних чи обертальних потоках води.



Рис. 2 – Способи сепарування зернової маси

Як правило, для відокремлення із зернової маси усіх домішок, які мають різні фізико-механічні властивості та природу (органічного та неорганічного походження), застосовують комбінований спосіб сепарування, що передбачає одночасний чи послідовний поділ складових зернової маси за декількома ознаками подільності. Спосіб сепарування зернової маси обирається із урахуванням ознаки, яка дозволяє під час сепарування забезпечити найбільш повне відокремлення домішок або ж розділити зернову масу на фракції (Богомолов та ін., 2019).

Для сепарування зернових мас використовуються гравітаційні, пневматичні, магнітні, електростатичні, оптичні, решітні (гвинтові, конічні, плоскі, призматичні, спіральні, циліндричні), стрічкові та фрикційні сепаратори (Basiry & Esehaghbeygi, 2012; Giyevskiy et al., 2018; Nagesh & Lakshminarasimhan, 2014; Panasiewicz et al., 2012; Vasytkovskiy et al., 2019; Волынкин, 2006; Дадак, 2015; Дударев, 2017; Фалько, 2014). В основу роботи цих сепараторів покладені різні способи сепарування або їх комбінації. Виокремлюють три групи сепараторів залежно від кількості ознак, за якими проводиться сепарування зернової маси (Богомолов, 2017):

- сепаратори, в яких для поділу зернової маси використовується одна ознака (оптичні, гравітаційні, гідравлічні, електричні, магнітні, пневматичні (повітряні), рентгенівські, трієри, фрикційні);

- сепаратори, в яких поділ зернової маси проводиться послідовно за двома та більшою кількістю ознак (повітряно-решітно-трієрні, повітряно-решітні тощо).

- сепаратори, в яких для поділу зернової маси використовується комбінація ознак, причому поділ за декількома ознаками проходить одночасно на одній робочій поверхні (падді-машини, вібраційні сепаратори із фрикційними поверхнями тощо).

Для очищення та розділення на фракції насінневого і продовольчого зерна переважно використовуються сепаратори з решітними робочими поверхнями (Корнев, 2015; Сабиев & Скусанов, 2019). На **рис. 3** представлена класифікація решітних робочих поверхонь сепараторів, відповідно до якої розрізняють сепаратори з плоскими решетами, що мають круглу, прямокутну чи трапецієвидну форму, а також із гвинтовими та гіперболоїдними,

конічними, напівсферичними, спіральними та циліндричними решетами, які здійснюють коливання та/або обертання (**рис. 4**) (Байшугулова та ін., 2017; Дударев, 2017). За конструкцією решета сепараторів поділяються на (Бондаренко, 2007): листові, які виготовляються шляхом штампування та лиття решіт або свердлення отворів у сталевих листах; плетені чи ткані, які виготовляються із сталевого дроту чи синтетичних волокон; струнні (щілинні), які виготовляються із відрізків сталевого дроту чи гумових ниток, що розташовуються за довжиною решета. Листові конічні, плоскі та циліндричні решета випускаються з отворами різних розмірів, форми та розташування, що залежать від характеристик складових зернової маси. Отвори решіт бувають (Badretdinov et al., 2020; Чеботарев & Медведь, 2018): гексагональні, квадратні, круглі, овальні, прямокутні, ромбоподібні, трикутні та іншої форми. Причому за довжиною решета отвори можуть бути з однаковою або змінними довжиною. Розташування отворів на решетах може бути (Чеботарев & Медведь, 2018): «шахове»; «ялинка»; у вигляді квадрата чи шестикутника; рядками вздовж, поперек та під кутом до напрямку руху зернової маси (**рис. 5**).

На процес сепарування зерна впливають просторове розташування (вертикальне, горизонтальне, похиле) та вид коливань (еліптичні, колові, крутильні та прямолінійні) решіт. На ефективність процесу сепарування зернової маси на решетах також впливають: робочий режим поверхні сепарування (частота коливань, кутова швидкість обертання); подача маси на решето; співвідношення складових у зернової масі; довжина решета вздовж напрямку руху зернової маси; висота шару зернової маси на решеті.

Під час сепарування зернової маси на решеті має місце процес сегрегації, коли внаслідок відмінності складових маси за густиною, розміром, формою, шорсткістю та іншими фізико-механічними властивостями відбувається зміна положення частинок складових за висотою шару зернової маси (Долгунин & Иванов, 2011). Інтенсивність сегрегації суттєво впливає на ефективність процесу сепарування (Ливень, 2017): якщо складові зернової маси, які необхідно відокремити протягом перебування маси на решеті, встигнуть переміститися через шар

зернової маси до поверхні решета, то вони зможуть пройти через його отвори. Таким чином, технологічний режим робочої поверхні

сепаратора та її конструкція мають сприяти сегрегації складових зернової маси, які необхідно відокремити.



Рис. 3 – Класифікація решітних робочих поверхонь сепараторів

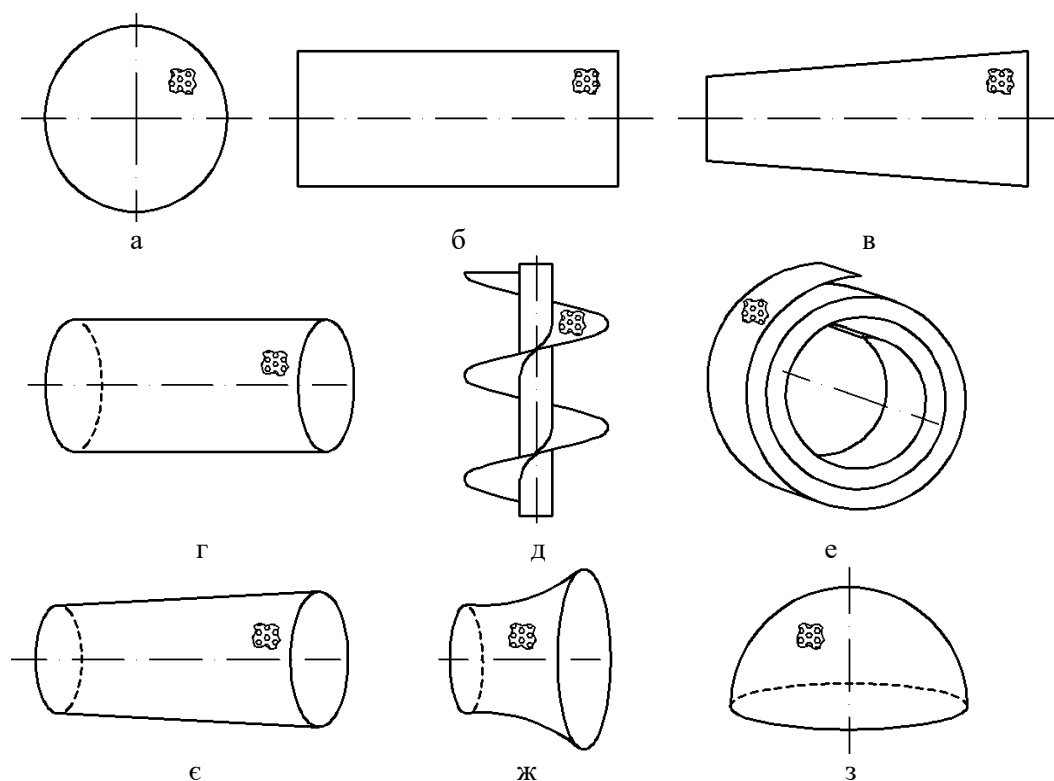


Рис. 4 – Форми решітних робочих поверхонь сепараторів:

а – плоска кругла; б – плоска прямокутна; в – плоска трапецієвидна; г – циліндрична; д – гвинтова; е – спіральна; є – конічна; ж – гіперболоїдна; з – півсферична



Рис. 5 – Класифікація отворів решітних робочих поверхонь

ВИСНОВКИ

Внаслідок нарощування виробництва зерна у світі, що обумовлене потребами людства, існує необхідність в удосконаленні технологій його зберігання та первинного перероблення, однією із основних операцій яких, що визначає якість зерна, є сепарування. Крім того, важливим є розроблення нових конструкцій сепараторів, які б забезпечували високу інтенсивність процесу сепарування та його низьку енергоємність, а також не зумовлювали б пошкодження зерна. Залежно від призначення процесу сепарування зернової маси (очищення зерна чи розділення на фракції), фізико-механічних властивостей її складових та їх вмісту застосовують різні способи сепарування або їх комбінації. Для реалізації способів сепарування розроблені різноманітні конструкції сепараторів. Для сепарування зернової маси найбільш широко використовуються решітні сепаратори або сепаратори, які забезпечують комбінування декількох способів сепарування.

Решітні робочі поверхні різняться за формою, конструкцією та режимом роботи, а їх отвори мають різні розміри, розташування та форму. Вибір конструкції сепаратора має здійснюватися із урахуванням властивостей складових зернової маси, а також призначення процесу сепарування зернової маси.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Awika, J. M. (2011). Major cereal grains production and use around the world. In J. M. Awika, V.

Piironen, S. Bean, *Advances in Cereal Science: Implications to Food Processing and Health Promotion, Vol. 1089, Chapter 1* (pp. 1-13). <https://doi.org/10.1021/bk-2011-1089.ch001>

Badretdinov, I., Mudarisov, S., Lukmanov, R., Ibragimov, R., Permyakov, V., & Tuktarov, M. (2020). Mathematical modelling and study of the grain cleaning machine sieve frame operation. *INMATEH – Agricultural Engineering, 60*(1), 19-28. <https://doi.org/10.35633/inmateh-60-02>

Basiry, M., & Esehaghbeygi, A. (2012). Cleaning and charging of seeds with an electrostatic separator. *Applied Engineering in Agriculture, 28*(1), 143-147. <https://doi.org/10.13031/2013.41274>

Bracacescu, C., Gageanu, I., Popescu, S., & Selvi, K. C. (2016). Researches concerning impurities separation process from mass of cereal seeds using vibrating sieves in air flow currents. In *Engineering for Rural Development, Jelgava* (pp. 364-370).

Cassman, K. G., Grassini, P., & Wart, J. (2010). Crop yield potential, yield trends, and global food security in a changing climate. In C. Rosenzweig, D. Hillel (Eds.), *Handbook of Climate Change and Agroecosystems, Imperial College Press, London* (pp. 37-51).

Giyevskiy, A. M., Orobinsky, V. I., Tarasenko, A. P., Chernyshov, A. V., & Kurilov, D. O. (2018). In *Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 327*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/4/042035>

Nagesh, S., & Lakshminarasimhan, S. N. (2014). Development of grain separator machine. *International Journal of Engineering Research – Online, 2*(6), 161-167.

Panasiewicz, M., Sobczak, P., Mazur, J., Zawislak, K., & Andrejko, D. (2012). The technique and analysis

- of the process of separation and cleaning grain materials. *Journal of Food Engineering*, 109, 603-608. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.010>
- Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., & Foley, J. A. (2013). Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS ONE*, 8(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066428>
- Vasylykovskiy, O., Vasylykovska, K., Moroz, S., Sviren, M., & Storozhyk, L. (2019). The influence of basic parameters of separating conveyor operation on grain cleaning quality. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 57(1), 63-70.
- Байшугулова, Ш. К., Ахметов, Е. С., & Есхожин, Д. З. (2017). Повышение качества работы зерноочистительных машин (*Improving the quality of grain cleaning machines*). В *Материалы Республ. научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 13: сохраняя традиции, создавая будущее», посв. 60-летию Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, I(3)* (С. 112-115).
- Белецкий, С. Л., Гусакова, Л. П., Прияткин, Н. С., & Архипов, М. В. (2018). Методы и технические средства сепарации семян (*Methods and equipment of seed separation*). В *Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд: науч. сб. Вып. X* (С. 42-54). Москва: Галлея-Принт.
- Богомолов, О. О. (2017). Аналіз конструкцій сепараторів для сепарації важкороздільних зернових сумішей (*Analysis of separator designs for separation of difficult-to-separate grain mixtures*). *Інженерія переробних і харчових виробництв*, 1, 47-51.
- Богомолов, О. В., Лялюк, В. І., Шаренко, А. Д., Шестірка, І. О., Єременко, В. Є., & Богомолов, О. О. (2019). Сепарація зернових сумішей за розмірами та аеродинамічними властивостями (*Separation of grain mixtures by size and aerodynamic properties*). В *Матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв», ХНТУСГ, Харків* (С. 7-9).
- Бондаренко, Л. Ю. (2007). Аналіз конструкцій решіт для сортування різних матеріалів (*Analysis of sieve designs for sorting different materials*). *Праці Таврійського державного агроєкологічного університету*, 7(2), 214-220.
- Бурлака, Н. І. (2012). Україна як світовий експортер зерна (*Ukraine as a world exporter of grain*). *Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Економічні науки*, 3(69), 36-41.
- Верещинський, О. (2018). Правильний підхід до очищення зерна (*The right approach to grain cleaning*). *Пропозиція*, 11.
- Вольнкин, В. В. (2006). Послеуборочная обработка зерна и ее перспективы (*Post-harvest grain processing and its prospects*). *Аграрный вестник Урала*, 6(36), 34-38.
- Галкин, В. Д., Хандриков, В. А., & Хавыев, А. А. (2017). Сепарация семян в вибропневмо-оживленном слое: технология, техника, использование (*Separation of seeds in a vibro-pneumatic fluidized bed: technology, technique, use*). Пермь: ИПЦ «ПрокростЪ».
- Гапонюк, І. І. (2010). Якщо добре знати характеристики смітних домішок у зерні та їх вологовміст, тоді можна забезпечити ефективне сепарування (*If you know well the characteristics of impurities in the grain and their moisture content, then you can ensure effective separation*). *Зерно і хліб*, 4(60), 25-27.
- Гапонюк, О. І., & Мосиенко, Г. А. (2012). Класифікація основних способів сепарування труднороздільних смесей (*Classification of the main methods of separation of difficult-to-separate mixtures*). *Восточно-Європейський журнал передових технологій*, 6/10(60), 55-57.
- Головин, А. Ю., & Прокопов, С. П. (2015). Інтенсифікація процесу сепарації зерна (*Intensification of the grain separation process*). *Вестник Омського ГАУ*, 2(18), 75-79.
- Гринчук, Т. П. (2013). Тенденції розвитку вітчизняного зерновиробництва (*Trends in the development of grain growing*). *Стратегія економічного розвитку України*, 33, 173-177.
- Дадак, В. О. (2015). Обґрунтування параметрів та режимів роботи пневмосепаратора дрібно-насіньових сумішей (*Substantiation of parameters and operation regimes of the pneumoseparator of small-seed mixtures*) [Дисертація канд. техн. наук]. Львівський національний аграрний університет, Львів.
- Державна служба статистики України (*State Statistics Service of Ukraine*). (2021). Retrieved November 10, 2021, from <http://www.ukrstat.gov.ua/>
- Долгунин, В. Н., & Иванов, О. О. (2011). Процессы и оборудование для переработки зернистых материалов в управляемых сегрегированных потоках (*Processes and equipment for the processing of granular materials in controlled segregated flows*). Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
- Дударев, І. М. (2017). Розрахунок машин зі спіральними робочими поверхнями (*Calculation of machines with spiral work surfaces*). Луцьк: Інформ.-вид. відділ Луцького НТУ.
- Зайка, П. М., & Мазнев, Г. Е. (1978). Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств (*Separation of seeds by a complex of*

- physical and mechanical properties*). Москва: Колос.
- Зінченко, О. І., Коротєєв, А. В., Каленська, С. М. та ін. (2008). *Рослинництво (Plant growing)*. За ред. О. І. Зінченка. Вінниця: Нова Книга.
- Кирпа, М. Я., & Ковальов, Д. В. (2018). Способи сепарування сумішей насіння в процесах їх післязбиральної обробки (на прикладі кукурудзи) (*Methods of seed mixtures separation in the processes of their post-harvest processing (for example, corn)*). *Селекція і насінництво*, 113, 201-208. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2018.134379>
- Корнев, А. С. (2015). *Повышение эффективности сепарации зерна на плоских решетках зерноочистительных машин (Increasing the efficiency of grain separation on flat screens of grain cleaning machines)* [Автореф. диссертации канд. техн. наук]. Воронежский гос. аграрный университет им. императора Петра I, Воронеж.
- Куліш, Д. С., & Лещенко, С. М. (2013). Огляд способів повітряного очищення зерна та напрямки його інтенсифікації (*Review of methods of grain air cleaning and directions of its intensification*). В *Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки, Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград*, 2 (С. 31-33).
- Кущенко, Ю. Н. (2014). Обоснование структуры электрооборудования и системы автоматизированного управления установки сепарации зерновых культур (*Substantiation of the structure of electrical equipment and the automated control system of the grain separation plant*). *Вестник аграрной науки Дона*, 2(26), 15-21.
- Лебідь, В. М., & Прищеп, К. Є. (2013). Сучасний стан ринку зерна України, проблеми та перспективи розвитку (*Current state of the grain market of Ukraine, problems and prospects of development*). *Економічний вісник Донбасу*, 1(31), 131-135.
- Лукьяненко, В. М. (2015). Сепарация трудно-разделимых семенных смесей (*Separation of difficult-to-separate seed mixtures*). В *Scientific Proceedings III International Scientific and Technical Conference «Agricultural Machinery»*, 1 (pp. 95-98).
- Месель-Веселяк, В. Я. (2018). Виробництво зернових культур в Україні: потенційні можливості (*Cereal production in Ukraine: potential opportunities*). *Економіка АПК*, 5, 5-14.
- Мечинский, В. Е., Фоминых, А. В., Воинков, В. П., & Шестопапов, И. С. (2014). Выбор фрикционной поверхности ленточного сепаратора для очистки бобов сои (*Selection of the friction surface of the belt separator for cleaning soybeans*). *Вестник Курганской ГСХА*, 1, 56-57.
- Михайлов, Є. В., Задосна, Н. О., Ковальов, О. В., & Задосний, Д. О. (2020). Розрахунок технологічних параметрів процесу сепарування зернової суміші (*Calculation of technological parameters of grain separation process*). *Праці Таврійського державного агроетологічного університету*, 20(4), 73-81. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2020-20-4-73-81>
- Олексієнко, В. О., Петриченко, С. В., Вершков, О. О., & Олексієнко, В. В. (2017). Аналіз методів і засобів очищення та сепарації зерна (*Analysis of methods and equipment of grain cleaning and separation*). *Праці Таврійського державного агроетологічного університету*, 17(1), 132-139.
- Пачинок, А. В. (2021). Сучасний стан та перспективи розвитку зернового ринку в Україні (*Current state and prospects of grain market development in Ukraine*). *Наукові записки Національного університету «Острозька академія», серія «Економіка»*, 20(48), 10-14.
- Пивень, М. В. (2017). Ефективність сепарування зернових смесей плоскими виброрешетами с разрыхлителями (*Efficiency of separation of grain mixtures by flat vibrating sieves with openers*). *Інженерія природокористування*, 2(8), 38-44.
- Потрахов, Н. Н., Белецкий, С. Л., & Мусаев, Ф. Б. (2017). Рентгенсепаратор – дальнейший шаг в развитии технологии оптической сепарации (*X-ray separator – a further step in the development of optical separation technology*). *Овощи России*, 2(35), 40-42. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2017-2-40-42>
- Радченко, М. В., & Дутченко, З. Я. (2013). Вплив гідротермічної обробки зерна гречки на вихід та якість крупи (*Influence of hydrothermal treatment of buckwheat grain on grain output and quality*). *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*, 11(26), 128-130.
- Сабиев, У. К., & Скусанов, И. В. (2019). Сепарация зерна на плоском решете, совершающем поперечные колебания (*Separation of grain on a flat sieve performing transverse vibrations*). *Вестник Омского ГАУ*, 1(33), 141-147.
- Савченко, Т. В., & Константинова, Т. В. (2020). Міжнародна торгівля зерном: сучасний стан та перспективи розвитку для України (*International grain trade: current status and development prospects for Ukraine*). *Інфраструктура ринку*, 45, 27-31. <https://doi.org/10.32843/infrastruct45-5>
- Самойлов, В. А., Невзоров, В. Н., & Ярум, А. И. (2015). *Технологическое оборудование для переработки зерновых культур в пищевые продукты (Technological equipment for processing grain crops into food)*. Красноярск:

- Краснояр. гос. аграр. ун-т.
- Солдатенко, Л. С. (2018). Особливості конструкції і застосування фотоелектронного обладнання для розділення зерна і зернопродуктів на фракції за ознакою кольору (*Features of design and application of photoelectronic equipment for separation of grain and grain products into fractions on the basis of color*). *Зернові продукти і комбікорми*, 18(2), 45-50. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v18i2.970>
- Степаненко, С. П. (2012). Функціонально-структурне моделювання технологічних процесів післязбиральної обробки зерна на току (*Functional-structural modeling of technological processes of post-harvest processing of grain on threshing floor*). *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*, 170(2), 186-196.
- Фалько, О. Л. (2014). *Наукове обґрунтування процесу фракціонування рослинної сировини (Scientific substantiation of the process of fractionation of vegetable raw materials)* [Автореф. дисертації д-ра техн. наук]. Національний університет харчових технологій, Київ.
- Чеботарев, В. П., & Медведь, А. В. (2018). Классификация зерновых сепарирующих решетных поверхностей (*Classification of grain separating sieve surfaces*). В *Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник научных статей Международной научно-практической конференции* (С. 64-67). Минск: БГАТУС.
- Шуханов, С. Н. (2018). Зависимость сепарации зерна от его упругости (*Dependence of grain separation on its elasticity*). *Аграрная наука*, 1, 25-26.

RESEARCH OF GRAIN BATCH FORMATION BY MIXING

I. Dudarev*, S. Panasyuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine



ABSTRACT

Quality indicators of grain, which delivers from agricultural producers to elevators and grain terminals, vary widely due to the natural and climatic conditions of crop cultivation and harvesting, varietal characteristics of crops. At these enterprises the primary processing of grain (cleaning, drying), its storage and formation of grain batches for customers with the quality indicators provided in the signed contracts take place. For functioning of the enterprises with high profitability it is necessary to provide effective use of grain raw materials of various quality which is stored at the enterprise. At these enterprises, formation of grain batches is provided by mixing grain with different quality indicators. Mixing is also used for formation of grain batches, that allow us to produce flour with stable properties and rational use of raw materials. The main task of the grain mixing is to obtain homogeneous mixtures in which grain with different quality indicators is evenly distributed throughout the batch. For mixing of bulk materials, which include grain of agricultural crops, mixer designs of periodic and continuous action, in particular, tape, screw, drum, gravitational, vibrating are developed. Elevators, grain terminals and flour mills must mix large volumes of grain in a continuous stream, respectively, grain mixers must be continuous, they must not damage the grain and energy costs for the process must be minimal. So, the use of gravity grain mixers of continuous action is promising, because they do not consume energy for the mixing process, and they do not damage the grain because they do not contain active working bodies. Study of the possibility of forming grain batches by mixing was carried out on a gravity mixer of the column type. According to the results of experimental study of mixing wheat and rye grain of four colors that mimic grain with different quality indicators, the satisfactory quality of grain mixture can be obtained by mixing grain flows in seven sections of the proposed mixer. The value of the coefficient of heterogeneity of such a mixture of wheat and rye grains does not exceed 20%.

Key words:

grain batch,
grain mixing,
grain mixer,
grain mixture,
grain mixture quality

Article history:

Received 26.10.2021
Accepted 10.12.2021

***Corresponding author:**

i_dudarev@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi47.656

To cite this article:

Dudarev, I., & Panasyuk, S. (2021). Research of grain batch formation by mixing. *Agricultural Machines*, 47, 113-123. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.656>

УДК 621.929.1

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМУВАННЯ ПАРТІЙ ЗЕРНА ШЛЯХОМ ЗМІШУВАННЯ**І.М. Дударев*, С.Г. Панасюк***Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна*

AGRICULTURAL MACHINES

**АНОТАЦІЯ**

Показники якості зерна, яке надходить від агровиробників на елеватори та зернові термінали, змінюються в широких межах внаслідок природно-кліматичних умов вирощування та збирання, сортових особливостей сільськогосподарських культур. На цих підприємствах відбувається первинне оброблення зерна (очищення, сушіння), його зберігання та формування партій зерна для замовників із передбаченими у підписаних контрактах показниками якості. При цьому для функціонування підприємств з високою рентабельністю необхідно забезпечити ефективне використання зернової сировини різної якості, що зберігається на підприємстві. Формування партій зерна на цих підприємствах відбувається шляхом змішування зерна із різними показниками якості. Також змішування застосовується під час формування помельних партій зерна, що дозволяє отримати борошно із стабільними властивостями та раціонально використати сировину. Для змішування сипких матеріалів, до яких відноситься зерно сільськогосподарських культур, розроблені конструкції змішувачів періодичної та безперервної дії, зокрема, стрічкові, гвинтові, барабанні, гравітаційні, вібраційні. Перспективним є використання гравітаційних змішувачів зерна безперервної дії, оскільки у них немає витрат енергії на процес змішування, а також вони не пошкоджують зерно, оскільки не містять активних робочих органів. Дослідження можливості формування партій зерна шляхом змішування проводилися на гравітаційному змішувачі запропонованої конструкції. За результатами проведених експериментальних досліджень змішування зерна пшениці та жита чотирьох кольорів, що імітують зерно із різними якісними показниками, в однаковому співвідношенні у гравітаційному змішувачі колонного типу встановлено, що задовільну якість зернової суміші можна отримати під час змішування зернових потоків у семи секціях змішувача. Значення коефіцієнта неоднорідності такої суміші зерна пшениці та жита не перевищує 20%.

Ключові слова:

партія зерна,
змішування зерна,
змішувач зерна,
зернова суміш,
якість зернової суміші

Історія публікації:

Отримано 26.10.2021

Затверджено 10.12.2021

***Автор для листування:**

i_dudarev@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi47.656

Цитувати цю статтю:

Дударев, І. М., & Панасюк, С. Г. (2021). Дослідження формування партій зерна шляхом змішування. *Сільськогосподарські машини*, 47, 113-123. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.656>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Зерно сільськогосподарських культур після збирання спрямовується виробниками для первинного оброблення (очищення, сушіння) та/або зберігання на підприємства системи зберігання зерна (елеватори, річкові та морські зернові термінали тощо). Основне призначення цих підприємств полягає у прийманні великих обсягів зерна із різними фізичними і хіміко-біологічними показниками та формування з нього однорідних партій для відвантаження замовникам (Ryndin et al., 2021). Оскільки показники якості зерна, що надходить від виробників агропродукції, змінюються в широких межах внаслідок природно-кліматичних умов вирощування та збирання, а також сортових особливостей сільськогосподарських культур (Шпак, 2021), відповідно, виникає необхідність формування партій зерна для замовників із передбаченими у контрактах показниками якості. При цьому для функціонування підприємств системи зберігання зерна з високою рентабельністю необхідно забезпечити максимально ефективне використання зернової сировини різної якості, що зберігається на підприємстві. Формування партій зерна відбувається шляхом змішування зерна із різними показниками якості. Крім того, змішування застосовується під час формування помельних партій зерна, що дозволяє отримати борошно із стабільними властивостями та раціонально використати сировину. Це змішування проводять на елеваторах або у підготовчих відділеннях борошномельних заводів (Борта та ін., 2020).

Результати досліджень із формування партій зерна із різними якісними показниками висвітлені в наукових працях (Stankevych et al., 2020; Меренкова & Лукин, 2016; Терешкен, 2006). Формування партій зерна за цільовим призначенням є складним технологічним процесом, що передбачає облік якості зерна на всіх етапах виробництва (Ревенко та ін., 2016). Формування партій зерна відбувається шляхом змішування потоків зерна у визначеному співвідношенні, щоб забезпечити необхідні усереднені показники якості зерна. Основним завданням процесу змішування зернових мас є отримання однорідних сумішей (Гучева, 2014), в яких зерно із різними якісними показниками рівномірно розподілене в усьому об'ємі партії. На борошномельних заводах для змішування

зерна використовуються гвинтові конвеєри, в які зерно із різними якісними показниками подається за допомогою дозаторів із силосів, або гомогенізатори, в які зерно спрямовується транспортером, на якому, у свою чергу, дозаторами у необхідному співвідношенні формується об'єднаний потік зерна різної якості (Урубков & Дудаєв, 2019).

Для змішування сипких матеріалів, до яких відноситься зерно сільськогосподарських культур, розроблені конструкції змішувачів періодичної та безперервної дії, зокрема, стрічкові, гвинтові, барабанні, гравітаційні, вібраційні тощо (Dudarev & Hunko, 2019; Ghanem et al., 2014; Ivanec et al., 2014; Moakher et al., 2000; Thakur et al., 2003).

На елеваторах, зернових терміналах та борошномельних заводах важливо забезпечити змішування великих обсягів зерна у неперервному потоці, відповідно, змішувачі зерна мають бути безперервної дії, вони не мають пошкоджувати зерно та витрати енергії на процес мають бути мінімальними.

Із відомих конструкцій змішувачів лише у гравітаційних немає витрат енергії на процес змішування. Оскільки гравітаційні змішувачі не містять активних робочих органів, відповідно, відсутні витрати на їх привід та пошкодження зерна внаслідок взаємодії робочих органів із зерною масою. Таким чином, для формування партій із зерна з різними якісними показниками перспективним є використання гравітаційних змішувачів безперервної дії.

Мета дослідження – дослідити можливість формування партій зерна шляхом змішування у гравітаційному змішувачі колонного типу запропонованої конструкції.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Дослідження можливості формування партій зерна шляхом змішування проводилися на гравітаційному змішувачі колонного типу (Дударєв, 2018), що містить секції однакової конструкції (рис. 1, а), які встановлені одна над одною. Кожна секція містить корпус, всередині якого встановлені дві перегородки (рис. 1, б). До перегородок секцій приєднані об'єднувачі та подільники потоку зернової маси. Під час переміщення секціями змішувача зверху вниз потоки зерна із різними якісними показниками неодноразово об'єднуються та

поділяються, внаслідок чого відбувається їх змішування (рис. 1, в). Під нижньою секцією встановлені чотири контейнери, в яких накопичується змішана зернова маса, що виходить із змішувача чотирма окремими потоками.

Матеріалом для дослідження слугувало зерно пшениці та жита, яке було пофарбоване у чотири кольори (рис. 2, а): зелений (позначено *A*); червоний (позначено *B*); синій (позначено *C*); жовтий (позначено *D*).

Фарбування зерна пшениці і жита у різні кольори дозволило зімітувати зерно із різними якісними показниками та розрізнити його

після змішування. Вологість зерна під час дослідження становила 12%. Зерно різних кольорів (якісних показників) змішувалося у заданому співвідношенні 1:1:1:1 (необхідний вміст зерна кожного кольору в суміші становив $c_{0A} = c_{0B} = c_{0C} = c_{0D} = 25\%$). Загальна маса порцій зерна різних кольорів, що завантажувалася у змішувач для дослідження, становила 300 г (зерно *A* – 75 г; зерно *B* – 75 г; зерно *C* – 75 г; зерно *D* – 75 г). Дослідження проводилося окремо із зерном пшениці та жита у змішувачі, що містив три, п'ять та сім секцій. Після змішування отримували суміш зерна у кожному контейнері (рис. 2, б).

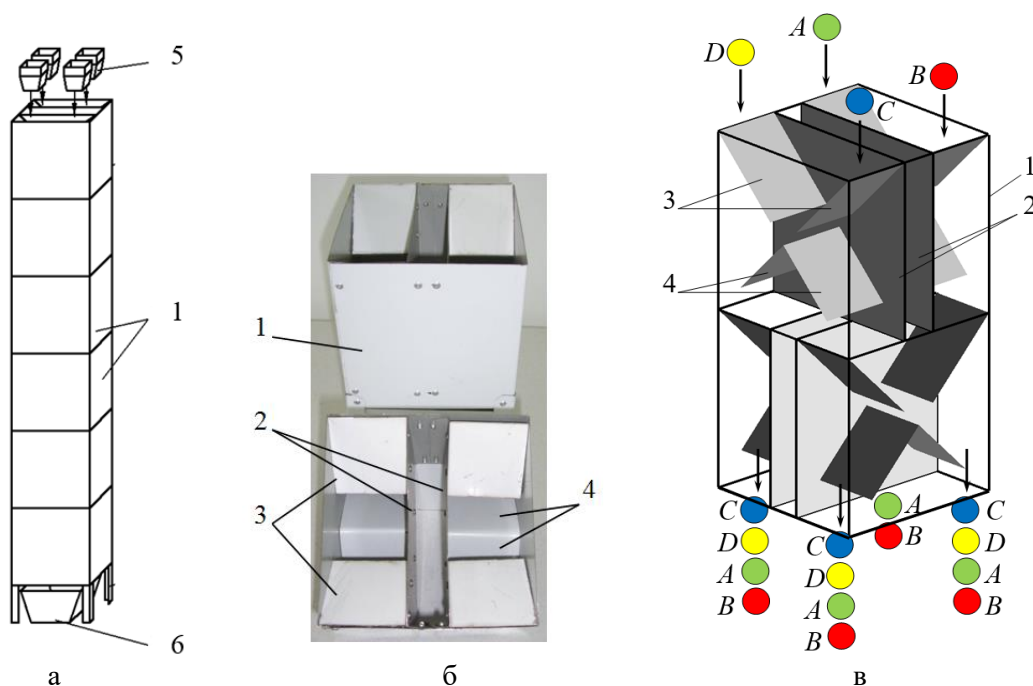


Рис. 1 – Схема гравітаційного змішувача колонного типу (а), його секції (б) та функціональна схема (на прикладі двох секцій) (в):

1 – корпус секції; 2 – вертикальні перегородки; 3 – об'єднувачі потоку; 4 – подільники потоку;
5 – дозатори зерна; 6 – контейнери

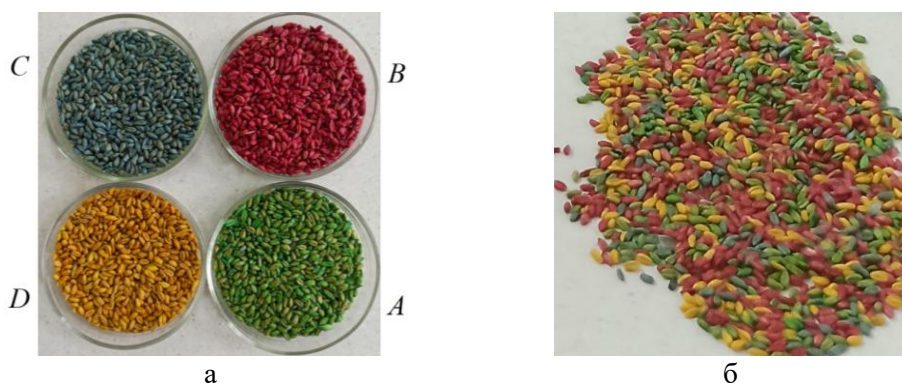


Рис. 2 – Підготовлене для дослідження зерно (а) та суміш зерна після змішування (б)

Зернову масу окремо із кожного контейнера розділяли за кольором зерна та визначали вміст c_i у відсотках (концентрацію) зерна кожного кольору:

$$c_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \cdot 100\%; \quad (1)$$

де c_i – вміст (концентрація) у контейнері зерна певного кольору (якості), %; m_i – маса зерна у контейнері певного кольору (m_A – маса зерна зеленого кольору (A); m_B – маса зерна червоного кольору (B); m_C – маса зерна синього кольору (C); m_D – маса зерна жовтого кольору (D)), г; n – кількість потоків зерна різного кольору (якості), що змішуються у змішувачі ($n = 4$).

Окремо для суміші з кожного контейнера розраховували індекс, що характеризує відхилення вмісту зерна певного кольору (якості) від необхідного його вмісту у суміші (необхідний вміст визначається заданим співвідношенням між зерном певного кольору (якості)):

$$\Delta_i = \frac{|c_i - c_{0i}|}{c_{0i}} \cdot 100\%; \quad (2)$$

де Δ_i – індекс, що характеризує відхилення вмісту c_i зерна певного кольору (якості) від необхідного його вмісту у суміші c_{0i} , %; c_{0i} – необхідний вміст зерна певного кольору (якості) у зерновій суміші із окремого контейнера ($c_{0A} = c_{0B} = c_{0C} = c_{0D} = 25\%$), %.

Рекомендовано, щоб значення індексу Δ_i не перевищувало 20%.

За значеннями вмісту c_i для зерна кожного кольору окремо розраховували коефіцієнт неоднорідності суміші, що отримана шляхом об'єднання сумішей із чотирьох контейнерів:

$$V_c = \frac{100}{\bar{c}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}; \quad (3)$$

де V_c – коефіцієнт неоднорідності суміші за зерном певного кольору (якості), %; \bar{c} – середнє значення вмісту зерна певного кольору в об'єднаній суміші із чотирьох контейнерів, %; n – кількість відібраних проб зерна певного кольору (рівна кількості контейнерів, $n = 4$).

Якість змішування суміші залежно від значення коефіцієнту неоднорідності суміші поділяється: $V_c < 5\%$ – відмінна; $5\% \leq V_c < 10\%$ – хороша; $10\% \leq V_c \leq 20\%$ – задовільна.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Результати визначення вмісту c_i зерна кожного кольору у зернових сумішах із кожного контейнера залежно від кількості секцій гравітаційного змішувача, через які пройшли потоки зерна, представлені для суміші зерна пшениці на **рис. 3**, а для суміші зерна жита – на **рис. 4**.

Аналіз результатів змішування зерна пшениці чотирьох кольорів у трьох секціях змішувача показав, що такої кількості секцій не достатньо для одержання якісної зернової суміші із рівномірним розподілом зерна різних кольорів (якості) за її об'ємом. У контейнерах вміст зерна пшениці різних кольорів коливався в таких межах: від $c_B = 14,2\%$ (зерно червоного кольору (B) в контейнері 2) до $c_B = 39,5\%$ (зерно червоного кольору (B) в контейнері 1)) (**рис. 3, а**). Відповідно, це зумовило значні відхилення вмісту зерна пшениці усіх кольорів (якості) у суміші від необхідного його вмісту ($c_{0i} = 25\%$) у ній. Для цього випадку значення індексу Δ_i знаходилося в межах 2,8–58,0% (**таблиця 1**). Рекомендоване відхилення вмісту ($\Delta_i \leq 20\%$) зерна певного кольору від заданого значення дотримане лише для зерна зеленого кольору (A) у контейнері 1 ($\Delta_A = 2,8\%$) та у контейнері 2 ($\Delta_A = 4,4\%$), червоного кольору (B) у контейнері 4 ($\Delta_B = 8,4\%$) та жовтого кольору (D) у контейнері 2 ($\Delta_D = 18,8\%$). Таким чином, для отримання якісної суміші зерна пшениці недостатньо проходження потоків зерна через три секції змішувача.

У випадку змішування пшениці чотирьох кольорів у п'яти секціях змішувача (**рис. 3, б**) також мало місце значне коливання вмісту зерна різних кольорів у сумішах з контейнерів (у межах $c_i = 18,3$ –34,8%). Це спричинило відхилення вмісту зерна пшениці від необхідного його вмісту у межах від $\Delta_C = 4,8\%$ (зерно синього кольору (C) в контейнері 1) до $\Delta_C = 39,2\%$ (зерно синього кольору (C) в контейнері 3) (**таблиця 1**). У цьому випадку значення індексу Δ_i також перевищували рекомендоване значення, тому для змішування зерна пшениці недостатньо п'яти секцій гравітаційного змішувача.

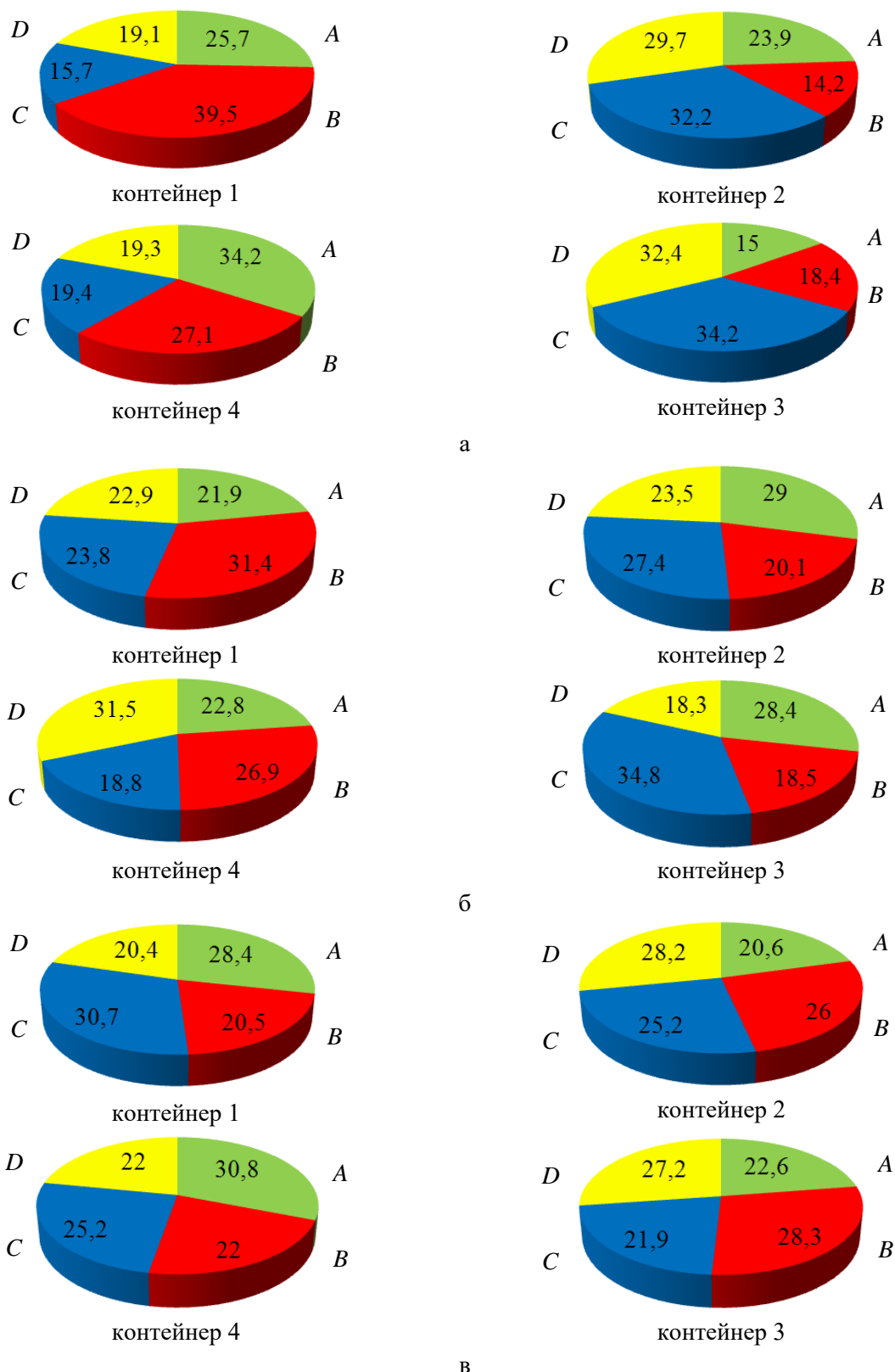


Рис. 3 – Вміст c_i (%) зерна пшениці різних кольорів (якості) у контейнерах змішувача після проходження:

а – трьох секцій; б – п'яти секцій; в – семи секцій

■ – зерно пшениці А; ■ – зерно пшениці В; ■ – зерно пшениці С; ■ – зерно пшениці D

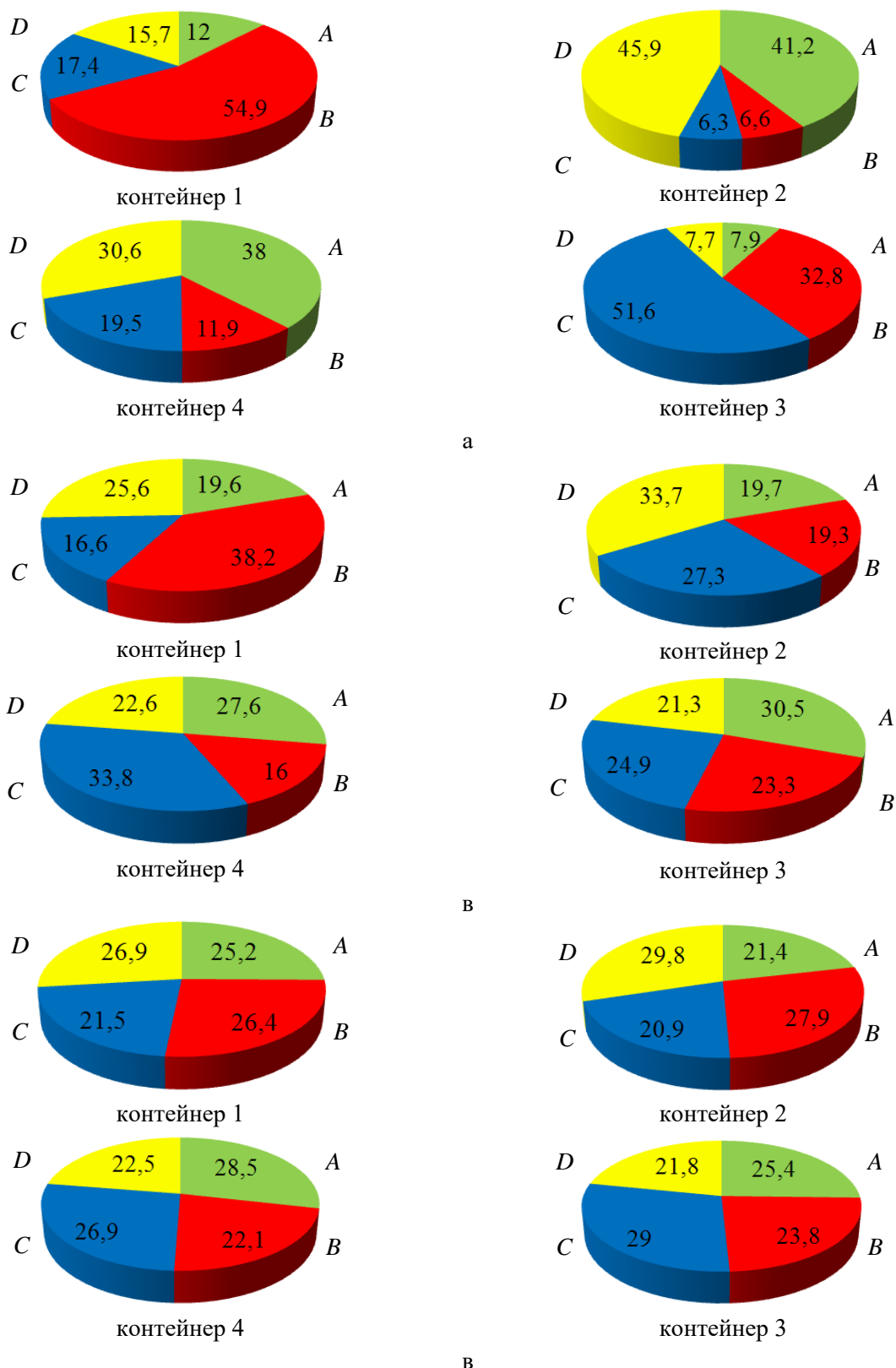


Рис. 4 – Вміст c_i (%) зерна жита різних кольорів (якості) у контейнерах змішувача після проходження:

а – трьох секцій; б – п'яти секцій; в – семи секцій

■ – зерно жита А; ■ – зерно жита В; ■ – зерно жита С; ■ – зерно жита D

Таблиця 1 – Результати розрахунку індексу Δ_i (%) для зерна пшениці певного кольору (якості) у кожному контейнері

Контейнер	Колір (якість) зерна пшениці			
	Зелений (A)	Червоний (B)	Синій (C)	Жовтий (D)
1	2	3	4	5
Суміш, що отримана після проходження зерном трьох секцій змішувача				
Контейнер 1	2,8	58,0	37,2	23,6
Контейнер 2	4,4	43,2	28,8	18,8
Контейнер 3	40,0	26,4	36,8	29,6
Контейнер 4	36,8	8,4	22,4	22,8
Суміш, що отримана після проходження зерном п'яти секцій змішувача				
Контейнер 1	12,4	25,6	4,8	8,4
Контейнер 2	16,0	19,6	9,6	6,0
Контейнер 3	13,6	26,0	39,2	26,8
Контейнер 4	8,8	7,6	24,8	26,0
Суміш, що отримана після проходження зерном семи секцій змішувача				
Контейнер 1	13,6	18,0	22,8	18,4
Контейнер 2	17,6	4,0	0,8	12,8
Контейнер 3	9,6	13,2	12,4	8,8
Контейнер 4	23,2	12,0	0,8	12,0

У випадку змішування пшениці чотирьох кольорів у семи секціях змішувача (**рис. 3, в**) вміст зерна різних кольорів у сумішах з контейнерів знаходився в межах від $c_D = 20,4\%$ (зерно жовтого кольору (D) в контейнері 1) до $c_A = 30,8\%$ (зерно зеленого кольору (A) в контейнері 4). У цьому випадку значення індексу Δ_i перевищувало рекомендоване значення лише у контейнері 4 для зерна зеленого кольору (A) – $\Delta_A = 23,2\%$ та у контейнері 1 для зерна синього кольору (C) – $\Delta_C = 22,8\%$.

Результати розрахунку коефіцієнтів неоднорідності суміші V_c (%) зерна пшениці з усіх контейнерів представлені у **таблиці 2**. Їх аналіз показує, що значення коефіцієнта неоднорідності суміші зерна пшениці, яку отримали шляхом об'єднання сумішей із чотирьох контейнерів, залежно від кольору (якості) зерна, за яким визначався коефіцієнт, знаходилося в межах (**таблиця 2**):

- для суміші після змішування у трьох секціях змішувача – від $V_c = 27,6\%$ (для зерна жовтого кольору (D)) до $V_c = 45,1\%$ (для зерна червоного кольору (B));

- для суміші після змішування у п'яти секціях змішувача – від $V_c = 14,5\%$ (для зерна

зеленого кольору (A)) до $V_c = 25,7\%$ (для зерна синього кольору (C));

- для суміші після змішування у семи секціях змішувача – від $V_c = 14,2\%$ (для зерна синього кольору (C)) до $V_c = 18,7\%$ (для зерна зеленого кольору (A)).

З огляду на отримані результати, семи секцій гравітаційного змішувача колонного типу цілком достатньо для змішування зерна пшениці із задовільною якістю, оскільки у цьому випадку $V_c < 20\%$.

Проаналізуємо результати змішування зерна жита чотирьох кольорів у трьох, п'яти та семи секціях запропонованого гравітаційного змішувача колонного типу.

У випадку змішування зерна жита у трьох секціях змішувача вміст зерна різних кольорів (якості) в контейнерах коливався від $c_C = 6,3\%$ (зерно синього кольору (C) в контейнері 2) до $c_B = 54,9\%$ (зерно червоного кольору (B) в контейнері 1) (**рис. 4, а**). Це зумовило відхилення вмісту зерна жита усіх кольорів (якості) у суміші від необхідного його вмісту ($c_{0i} = 25\%$) у ній. Тому значення індексу Δ_i знаходилося в межах від $\Delta_C = 22,0\%$ (для зерна жита синього кольору (C) у контейнері 4) до $\Delta_B = 119,6\%$ (для зерна червоного кольору (B)

у контейнері 1) (таблиця 3). Рекомендоване відхилення вмісту ($\Delta_i \leq 20\%$) зерна певного кольору від заданого значення не було дотримане у жодному контейнері для зерна жита усіх кольорів. Тому проходження потоків зерна через три секції змішувача не забезпечує необхідну якість зернової суміші.

У випадку змішування жита чотирьох кольорів у п'яти секціях змішувача (рис. 4, б) вміст зерна різних кольорів (якості) в контейнерах перебував у межах від $c_B = 16,0\%$

(зерно червоного кольору (B) в контейнері 4) до $c_B = 38,2\%$ (зерно червоного кольору (B) в контейнері 1). Відхилення вмісту зерна жита від необхідного його вмісту знаходилося у межах від $\Delta_C = 0,4\%$ (зерно синього кольору (C) в контейнері 3) до $\Delta_B = 52,8\%$ (зерно червоного кольору (B) в контейнері 1) (таблиця 3). Значення індексу Δ_i у цьому випадку значно перевищувало рекомендоване значення, тому для змішування зерна жита недостатньо п'яти секцій змішувача.

Таблиця 2 – Результати розрахунку коефіцієнта неоднорідності суміші V_c (%) з усіх контейнерів за зерном певного кольору (якості)

Культура	Колір (якість) зерна			
	Зелений (A)	Червоний (B)	Синій (C)	Жовтий (D)
1	2	3	4	5
Суміш, що отримана після проходження зерном трьох секцій змішувача				
Пшениця	31,9	45,1	36,2	27,6
Жито	69,6	82,9	82,2	67,6
Суміш, що отримана після проходження зерном п'яти секцій змішувача				
Пшениця	14,5	24,8	25,7	22,8
Жито	22,8	40,5	27,7	21,6
Суміш, що отримана після проходження зерном семи секцій змішувача				
Пшениця	18,7	14,8	14,2	15,7
Жито	11,7	10,4	16,3	14,9

Таблиця 3 – Результати розрахунку індексу Δ_i (%) для зерна жита певного кольору (якості) у кожному контейнері

Контейнер	Колір (якість) зерна жита			
	Зелений (A)	Червоний (B)	Синій (C)	Жовтий (D)
1	2	3	4	5
Суміш, що отримана після проходження зерном трьох секцій змішувача				
Контейнер 1	52,0	119,6	30,4	37,2
Контейнер 2	64,8	73,6	74,8	83,6
Контейнер 3	68,4	31,2	106,4	69,2
Контейнер 4	52,0	52,4	22,0	22,4
Суміш, що отримана після проходження зерном п'яти секцій змішувача				
Контейнер 1	21,6	52,8	33,6	2,4
Контейнер 2	21,2	22,8	9,2	34,8
Контейнер 3	22,0	6,8	0,4	14,8
Контейнер 4	10,4	36,0	35,2	9,6
Суміш, що отримана після проходження зерном семи секцій змішувача				
Контейнер 1	0,8	5,6	14,0	7,6
Контейнер 2	14,4	11,6	16,4	19,2
Контейнер 3	1,6	4,8	16,0	12,8
Контейнер 4	14,0	11,6	7,6	10,0

У випадку змішування зерна жита чотирьох кольорів у семи секціях змішувача (рис. 4, в) вміст зерна різних кольорів у сумішах з контейнерів знаходився в межах від $c_C = 20,9\%$ (зерно синього кольору (С) в контейнері 2) до $c_D = 29,8\%$ (зерно жовтого кольору (D) в контейнері 2). Значення індексу Δ_i не перевищувало рекомендоване значення у жодному контейнері, а найбільше значення індексу становило $\Delta_D = 19,2\%$ (зерно жовтого кольору (D) в контейнері 2) (таблиця 3).

Розраховані коефіцієнти неоднорідності суміші V_c (%) зерна жита з усіх контейнерів представлені у таблиці 2. Їх аналіз показує, що значення коефіцієнта неоднорідності суміші зерна жита, яку отримали шляхом об'єднання сумішей із чотирьох контейнерів, залежно від кольору (якості) зерна, за яким визначався коефіцієнт, знаходилося в межах (таблиця 2):

- для суміші після змішування у трьох секціях змішувача – від $V_c = 67,6\%$ (для зерна жовтого кольору (D)) до $V_c = 82,9\%$ (для зерна червоного кольору (B));

- для суміші після змішування у п'яти секціях змішувача – від $V_c = 21,6\%$ (для зерна жовтого кольору (D)) до $V_c = 40,5\%$ (для зерна червоного кольору (B));

- для суміші після змішування у семи секціях змішувача – від $V_c = 10,4\%$ (для зерна червоного кольору (B)) до $V_c = 16,3\%$ (для зерна синього кольору (C)).

Таким чином, при змішуванні зерна жита у семи секціях змішувача можна отримати зернову суміш задовільної якості, оскільки у цьому випадку $V_c < 20\%$.

ВИСНОВКИ

За результатами експериментальних досліджень змішування зерна пшениці та жита чотирьох кольорів, що імітують зерно із різними якісними показниками, в однаковому співвідношенні у гравітаційному змішувачі колонного типу встановлено, що задовільну якість зернової суміші можна отримати під час змішування зернових потоків у семи секціях змішувача. У цьому випадку індекс Δ_i перевищував рекомендоване значення лише в одному контейнері для зерна пшениці зеленого кольору (A) – $\Delta_A = 23,2\%$ та в одному контейнері для зерна пшениці синього кольору (C) – $\Delta_C = 22,8\%$, а для зерна жита індекс Δ_i не перевищував рекомендоване значення у жодному контейнері. Разом із тим, значення

коефіцієнта неоднорідності суміші зерна для випадку змішування у семи секціях не перевищувало $V_c = 18,7\%$ (для суміші зерна пшениці) та $V_c = 16,3\%$ (для суміші зерна жита), що свідчить щодо задовільної якості зернової суміші.

З огляду на отримані результати дослідження, рекомендується проводити формування партій зерна (пшениці, жита та інших сільськогосподарських культур) із сировини з різними якісними показниками шляхом змішування у змішувачі колонного типу. До переваг такого змішування можна віднести: задовільну якість зернової суміші без енерговитрат безпосередньо на змішування; реалізація безперервного змішування у великих обсягах і, відповідно, можливість встановлення запропонованого гравітаційного змішувача у технологічних лініях елеваторів та зернових терміналів; відсутність факторів (активних робочих органів), які б могли зумовити пошкодження зерна. Основними перевагами змішувача колонного типу є компактність та зручність в обслуговуванні.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Dudarev, I., & Hunko, Yu. (2019). Determining the advantages of the gravitational mixer of granular and bulk materials. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, 2(13), 5-13. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i13.82>
- Ghanem, A., Lemeland, T., Della Valle, D., & Peerhossaini, H. (2014). Static mixers: mechanisms, applications, and characterization methods – a review. *Chemical Engineering Research and Design*, 92(2), 205-228. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2013.07.013>
- Ivanec, V. N., Borodulin, D. M., Popov, A. M., & Tikhonov, V. V. (2014). Design of drum type apparatus for processing of bulk materials. *Procedia Chemistry*, 10, 391-399. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.10.066>
- Moakher, M., Shinbrot, T., & Muzzio, F. J. (2000). Experimentally validated computations of flow, mixing and segregation of non-cohesive grains in 3D tumbling blenders. *Powder Technology*, 109(1-3), 58-71. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(99\)00227-2](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(99)00227-2)
- Ryndin, A. A., Streljuhina, A. N., & Sorokina, Y. A. (2021). Approaches to improving the grain quality control system at elevators. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 83(3), 61-67. (in Russ.) <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-3-61-67>
- Stankevych, G., Borta, A., & Penaki, A. (2020). Improving the quality of export consignments of

- class 4 wheat intended to be used as food. *Food Science and Technology*, 14(2). <https://doi.org/10.15673/fst.v14i2.1724>
- Thakur, R. K., Vial, C. H., Nigam, K. D. P., Nauman, E. B., & Djelveh, G. (2003). Static mixers in the process industries – a review. *Chemical Engineering Research and Design*, 81(7), 787-826. <https://doi.org/10.1205/026387603322302968>
- Борта, А. В., Яковенко, А. І., & Артюшенко, П. М. (2020). Формування помольної партії при змішуванні пшениці різних класів (*Formation of a grinding batch when mixing wheat of different classes*). *Хранение и переработка зерна. Научно-практический портал*. Отримано 27.02.2020 з <https://hipzmag.com/tehnologii/formuvannya-pomolnoyi-partiyi-pri-zmishuvanni-pshenitsi-riznih-klasiv/>
- Гучева, Н. В. (2014). Экспериментальные исследования процесса смешивания сыпучих зерновых материалов (*Experimental studies of the mixing process of bulk grain materials*). *Вестник ДГТУ*, 14/3(78), 172-177. <https://doi.org/10.12737/5696>
- Дударев, І. М. (2018). Патент України 127950 (*Patent UA 127950*). Київ: Міністерство економічного розвитку і торгівлі України.
- Меренкова, С. П., & Лукин, А. А. (2016). Рациональные принципы формирования оптимальных технологических свойств муки пшеничной хлебопекарной (*Rational principles of formation of optimum technological properties of the flour baking*). *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, 2, 20-25.
- Ревенко, А. А., Бошканяну, Х. О., Станкевич, Г. М., & Борта, А.В. (2016). Формування партій зерна пшениці підвищеної якості (*Formation of batches of high quality wheat grain*). В *Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді. Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів* (С. 245). Харків: ХДУХТ.
- Терешкин, Е. (2006). Скрытые резервы формирования помольных партий (*Hidden reserves for the formation of grinding parties*). *Хлебопродукты*, 10, 44-45.
- Урубков, С. А., & Дудаев, В. Г. (2019). Производство гомогенных помольных партий и смесей зерна мягкой пшеницы на элеваторах и мукомольных заводах (*Production of homogeneous grinding batches and mixtures of soft wheat grain in elevators and flour mills*). *Хранение и переработка зерна. Научно-практический портал*. Отримано 15.05.2019 з <https://hipzmag.com/tehnologii/pererabotka/proizvodstvo-gomogen-nyh-pomolnyh-partij-i-smesej-zerna-myagkoj-pshenitsy-na-elevatorah-i-mukomolnyh-zavodah/>
- Шпак, В. М. (2021). Удосконалення технології приймально-відпускних операцій та зберігання зерна на зернових терміналах (*Improving the technology of acceptance and release operations and storage of grain at grain terminals*) [Дисертація канд. техн. наук]. Одеська національна академія харчових технологій, Одеса.

AUTOMATION OF EVALUATION OF BAST RAW MATERIALS FROM LINSEED

T. Holovenko^{1*}, O. Nalobina², O. Shovkomud¹, A. Herasymchuk¹, V. Kozel³¹Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine²National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine³Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES



СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

Ukraine has a strong potential for the development of enterprises producing a wide range of products from flax raw materials, in particular from linseed. Production of competitive products from bast raw materials requires the introduction of modern technologies and quality control of products at each stage of technology. The development of CQSoilseed Flax, CQRoilseed Flax and CQSRoilseed Flax software, which is designed to automatically determine the quality of linseed straw and linseed retted straw, is based on author's methodology for quality control of product from linseed stalks. Evaluation of bast raw materials in accordance with the proposed comprehensive quality control systems is a time-consuming process. Software have been developed to simplify the procedure for determining the number of linseed straw and linseed retted straw. Automation can significantly speed up the process of determining the quality of bast raw materials. In Ukraine, linseed is used only for seed processing. Innovative biological drugs, food additives and oil are obtained from the flax seeds, but the linseed stems are almost not processed. Disposal of waste after linseed harvesting, namely linseed stalks, is currently carried out in two directions: burning in the fields, which is prohibited by Ukrainian law and for which penalties are provided, and the use of raw materials as bedding for animals. At the same time, in the world, this crop is used as an additional source of bast raw materials for the production of textile, technical and cellulose-containing materials, twisted and sanitary products, as well as a reinforcing component in the manufacture of composite materials and energy sources. In the context of the textile raw material crisis in Ukraine, the use of fibre raw materials from linseed, which is suitable for a wide range of industrial products, is a promising opportunity to support domestic producers of various textile industries. Also linseed raw materials will help to meet the needs of the textile industry in certified raw materials.

Key words:

evaluation of bast raw materials,
quality control of bast raw materials,
bast raw material evaluation software,
linseed straw,
linseed retted straw

Article history:

Received 08.11.2021

Accepted 10.12.2021

***Corresponding author:**

t.holovenko@lutsk-ntu.com.ua

DOI: 10.36910/acm.vi47.657

To cite this article:

Holovenko, T., Nalobina, O., Shovkomud, O., Herasymchuk, A., & Kozel, V. (2021). Automation of evaluation of bast raw materials from linseed. *Agricultural Machines*, 47, 124-132. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.657>

УДК 677.11.021

АВТОМАТИЗАЦІЯ ОЦІНЮВАННЯ ЛУБ'ЯНОЇ СИРОВИНИ З ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО

Т.М. Головенко^{1*}, О.О. Налобіна², О.В. Шовкомуд¹, О.П. Герасимчук¹, В.М. Козел³¹Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна²Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна³Херсонський національний технічний університет, м. Херсон, Україна

AGRICULTURAL MACHINES

**АМ
СМ**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Створення програмного забезпечення CQSoilseed Flax, CQRoilseed Flax та CQSRoilseed Flax, що призначене для автоматизованого визначення загального рівня якості соломи та трести льону олійного, базувалося на розробленій авторській методології контролю якості продукції зі стебел льону олійного. Оцінювання луб'яної сировини відповідно до запропонованих комплексних систем контролю якості є трудомістким процесом. Для спрощення процедури визначення номера соломи та трести льону олійного розроблено комп'ютерні програми. Автоматизація дозволяє істотно прискорити процес визначення якості сировини. Актуальність розробки полягає в тому, що льон олійний в Україні використовується лише з метою перероблення насіння для одержання інноваційних біопрепаратів, харчових добавок та олії, а стебла майже не переробляються. Утилізація відходів після збирання насіння, а саме – стебел льону олійного, на сьогодні здійснюється у двох напрямках: спалювання на полях, що заборонено законодавством України і за що передбачені штрафні санкції, та використання сировини як підстилки для тварин. Разом із тим, ця культура у світі використовується як додаткове джерело луб'яної сировини для виробництва текстильних, технічних та целюлозовмісних матеріалів, кручених і санітарно-гігієнічних виробів, а також як армувальна складова під час виготовлення композиційних матеріалів і палива. В умовах сировинної кризи в Україні використання лубоволокнистої сировини з льону олійного, яка придатна для виготовлення широкого спектру промислової продукції, – це перспективна можливість підтримання вітчизняних виробників різних підгалузей легкої промисловості, що дозволяє задовольнити їхні потреби у сертифікованій сировині.

Ключові слова:

оцінювання луб'яної сировини,
контроль якості луб'яної
сировини,
програмне забезпечення для
оцінювання луб'яної сировини,
солома льону олійного,
треста льону олійного

Історія публікації:

Отримано 08.11.2021

Затверджено 10.12.2021

*Автор для листування:

t.holovenko@lutsk-ntu.com.ua

DOI: 10.36910/acm.vi47.657

Цитувати цю статтю:

Головенко, Т. М., Налобіна, О. О., Шовкомуд, О. В., Герасимчук, О. П., & Козел, В. М. (2021). Автоматизація оцінювання луб'яної сировини з льону олійного. *Сільськогосподарські машини*, 47, 124-132. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.657>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

За останні десятиліття, на жаль, вітчизняна легка промисловість з багатьох причин втратила свої позиції, зокрема, через знищення сировинної бази. На сьогодні ринок виробництва льону є нестабільним у світі (*Saskatchewan Flax Development Commission, 2020*), але, разом із тим, виробники текстильної продукції надають перевагу натуральній екологічній сировині, особливо з льону та технічних конопель, продукція на основі яких високо цінується споживачами і, відповідно, користується попитом.

Україна має потужний потенціал для розвитку підприємств із виготовлення широкого асортименту виробів з лляної сировини, зокрема з льону олійного (*Державна служба статистики України, 2021*). У світі перспективним вважається використання льону олійного в різних галузях промисловості, зокрема, для виготовлення кручених і санітарно-гігієнічних виробів, целюлозовмісних, текстильних та технічних матеріалів, а також як армувальної складової у виробництві різних композиційних матеріалів (*Thompson et al., 2019*). Виробництво нової конкурентоспроможної продукції із луб'яної сировини потребує впровадження сучасних технологічних процесів, наявності виробничих потужностей, а також контролю якості виробів на кожному етапі технологічного циклу промислового перероблення.

З метою створення цільових технічних регламентів для контролю якості луб'яної сировини з льону олійного, що до цього часу

були відсутні як в Україні, так і закордоном, було розроблено методику її номерного оцінювання. Для розроблення цієї методики була проведена низка ґрунтовних теоретично-експериментальних досліджень номенклатури технологічних характеристик соломи, трести та волокна льону олійного із визначенням граничних значень якісних показників, що прогнозують доцільність первинного та вторинного оброблення сировини. Після цього проведено технологічне оцінювання соломи і трести льону олійного як промислової луб'яної сировини, встановлено її показники якості з використанням методів кваліметрії (*Holovenko et al., 2019*) та на основі методів системного кластерного аналізу (*Головенко та ін., 2020a*) і математичної статистики визначено вплив показників якості на формування номеру сировини (*Головенко та ін., 2021*).

Результати науково-дослідних робіт та математично-статистичне оброблення даних, що одержані теоретично-експериментальним шляхом, дозволили встановити основоположні фізико-механічні характеристики соломи та трести льону олійного (**таблиця 1**), які визначають рівень якості луб'яної сировини, тобто її номер.

Значення виходу лубу зі стебел, виходу волокна з трести, засміченості та показника кольору волокна, одержаного з трести, можуть коливатися в певних межах (**таблиця 1**). Тому для сумування показників якості соломи та трести з однаковою розмірністю за допомогою диференційного методу кваліметрії проведено перерахунок відсоткових значень показників у балові (**таблиця 2** та **таблиця 3**).

Таблиця 1 – Якісні показники з граничними значеннями для визначення номера соломи і трести льону олійного

Якісні показники	Граничні значення
Вихід лубу зі стебел, %	11,0–40,0
Засміченість, %	5,0–20,0
Група кольору соломи	I, II, III
Вихід волокна, %	11,0–40,0
Засміченість, %	5,0–20,0
Група кольору волокна (показник кольору волокна)	I, II, III, IV (1,0–4,0)
Відокремлюваність, од. (ступінь вилежаності трести; інтенсивність відбитого світлового потоку, люкс)	від 4,1 і більше (вилежана; менше 23) від 3,1 до 4,0 (недолежана; 23–27) від 3,0 і менше (солома; більше 27)

Таблиця 2 – Визначення балових значень якісних показників соломи льону олійного

Вихід лубу зі стебел				Засміченість	
%	бали	%	бали	%	бали
11	27,5	26	65,0	5	100,0
12	30,0	27	67,5	6	83,3
13	32,5	28	70,0	7	71,4
14	35,0	29	72,5	8	62,5
15	37,5	30	75,0	9	55,5
16	40,0	31	77,5	10	50,0
17	42,5	32	80,0	11	45,4
18	45,0	33	82,5	12	41,7
19	47,5	34	85,0	13	38,5
20	50,0	35	87,5	14	35,7
21	52,5	36	90,0	15	33,3
22	55,0	37	92,5	16	31,3
23	57,5	38	95,0	17	29,4
24	60,0	39	97,5	18	27,7
25	62,5	40	100,0	19	26,3
				20	25,0

Таблиця 3 – Визначення балових значень якісних показників трести льону олійного

Вихід волокна з трести				Засміченість		Показник кольору волокна			
%	бали	%	бали	%	бали	розра- хунковий	бали	розра- хунковий	бали
11	27,5	26	65,0	5	100,0	1,0	25,0	2,6	65,0
12	30,0	27	67,5	6	83,3	1,1	27,5	2,7	67,5
13	32,5	28	70,0	7	71,4	1,2	30,0	2,8	70,0
14	35,0	29	72,5	8	62,5	1,3	32,5	2,9	72,5
15	37,5	30	75,0	9	55,5	1,4	35,0	3,0	75,0
16	40,0	31	77,5	10	50,0	1,5	37,5	3,1	77,5
17	42,5	32	80,0	11	45,4	1,6	40,0	3,2	80,0
18	45,0	33	82,5	12	41,7	1,7	42,5	3,3	82,5
19	47,5	34	85,0	13	38,5	1,8	45,0	3,4	85,0
20	50,0	35	87,5	14	35,7	1,9	47,5	3,5	87,5
21	52,5	36	90,0	15	33,3	2,0	50,0	3,6	90,0
22	55,0	37	92,5	16	31,3	2,1	52,5	3,7	92,5
23	57,5	38	95,0	17	29,4	2,2	55,0	3,8	95,0
24	60,0	39	97,5	18	27,7	2,5	62,5	3,9	97,5
25	62,5	40	100,0	19	26,3	2,3	57,5	4,0	100,0
				20	25,0	2,4	60,0		

У баловій розмірності отримані дані використовуються для подальшого розрахунку номера досліджуваної сировини. Розподіл цих балових значень показників соломи та трести на номери, що характеризують їхній рівень

якості, тобто сортність, було здійснено із використанням методу кластерного аналізу (Головенко, 2020b). У подальшому отримано залежності номера сировини від значень показників (таблиця 4).

Таблиця 4 – Визначення номера соломи та трести льону олійного

Номер соломи	Показник якості соломи певної групи за кольором у балах			Номер трести	Ступінь вилежаності трести (відокремлюваність, од.)		
	I група	II група	III група		вилежана (4,1 і більше)	недолежана (від 3,1 до 4,0)	солома (3,0 і менше)
5	200–132	-	-	5	300–217	-	-
4	131–98	200–110	-	4	216–168	300–190	-
3	97–79	109–82	200–90	3	167–134	189–142	300–165
2	78–64	81–65	89–66	2	133–104	141–109	164–116
1	63–53	64–53	65–53	1	103–78	108–78	115–78

Номер соломи та трести льону олійного є комплексним показником якості сировини (таблиця 4), що визначається: для соломи льону олійного – за обчисленими баловими значеннями виходу лубу зі стебел льону, засміченості та групи кольору соломи; для трести – за виходом волокна, засміченістю, групою кольору волокна і відокремлюваністю (ступінь вилежаності). Кожному числовому значенню, що характеризує якість соломи та трести льону олійного за їх технологічними властивостями, відповідає показник якості в балах. Що більше балове значення, яке характеризує якість луб'яної сировини, то вищий її номер.

Розроблена для соломи і трести льону олійного методика номерного оцінювання конкретизує і узагальнює сукупність основних технологічних показників якості, прогнозує доцільність та режими первинного і вторинного оброблення сировини, а також функціональне призначення готової продукції. Сертифікація продукції зі стебел льону олійного є стратегічно важливим аспектом розвитку українських виробництв в умовах їхньої повної імпортозалежності. На основі вітчизняної натуральної сировини можна виготовляти конкурентоспроможні товари широкого асортименту, що відповідають вимогам споживачів і будуть успішно реалізовані як на українському, так і на міжнародному ринках.

Ураховуючи вищезазначене, новітня методика визначення номера соломи і номера трести льону олійного має актуальне народногосподарське значення для України. Разом із тим, виконання усієї процедури методики є трудомістким процесом і потребує витрат часу на математичні обчислення.

Визначення показників якості лляної сировини проводиться шляхом інструментального оцінювання згідно удосконалених методик, що чітко описані у затверджених нормативних документах (Головенко, 2020b).

Після проведеного визначення показників їх граничні значення перераховуються у бали та визначається номер сировини. З огляду на вказане, актуальним є спрощення процедури математичного обчислення номеру шляхом автоматизації процесів, що значно прискорять процеси стандартизації соломи та трести льону олійного на промислових об'єктах.

Мета дослідження – розробити комп'ютерні програми, що дозволяють автоматизувати оцінювання соломи та трести льону олійного.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для розроблення комп'ютерних програм використовувалося середовище Microsoft Visual Studio 2010, оскільки у середовищі реалізовано відображення помилок під час розроблення програми, що дозволяє їх помітити до початку компіляції. Це середовище містить компілятор C# для платформи NET Framework 4, який, у свою чергу, містить систему підтримки Windows Presentation Foundation (WPF). Мова C# є сучасною мовою програмування та має зручний набір функцій для створення графічного інтерфейсу за допомогою мови програмування XAML.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Завданням розроблених комп'ютерних програм є оброблення і інтерпретація числових

даних. У випадку, що розглядається, ці дані одержують в результаті інструментального оцінювання соломи чи трести льону олійного під час їх надходження на промислове виробництво. Для вирішення поставлених завдань було розроблено алгоритми розрахунку номера соломи та номера трести льону олійного (рис. 1 та рис. 2).

Процес автоматизованого визначення номера сировини складається з трьох етапів:

- введення у програму числового масиву якісних показників досліджуваної луб'яної сировини;
- оброблення даних (переведення фактичних (числових) значень властивостей луб'яної сировини у бали);
- аналізування даних (сумування балів);
- узагальнення результату оцінювання досліджуваної луб'яної сировини (виведення номера сировини).

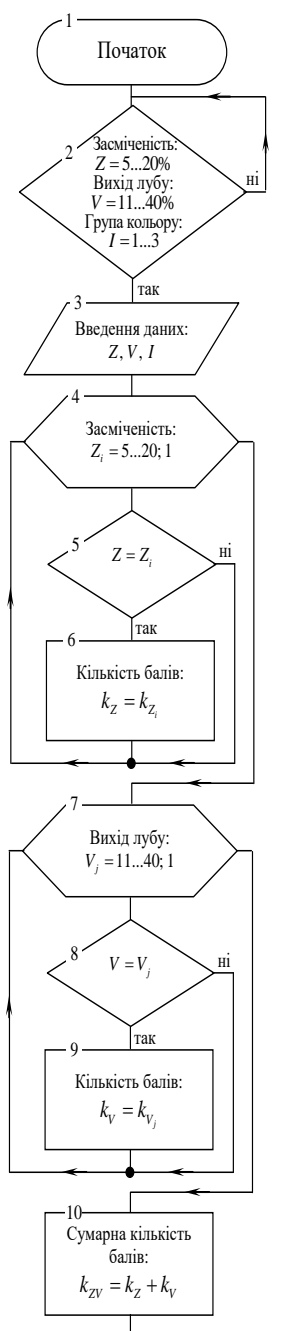


Рис. 1 – Алгоритм визначення номера соломи льону олійного

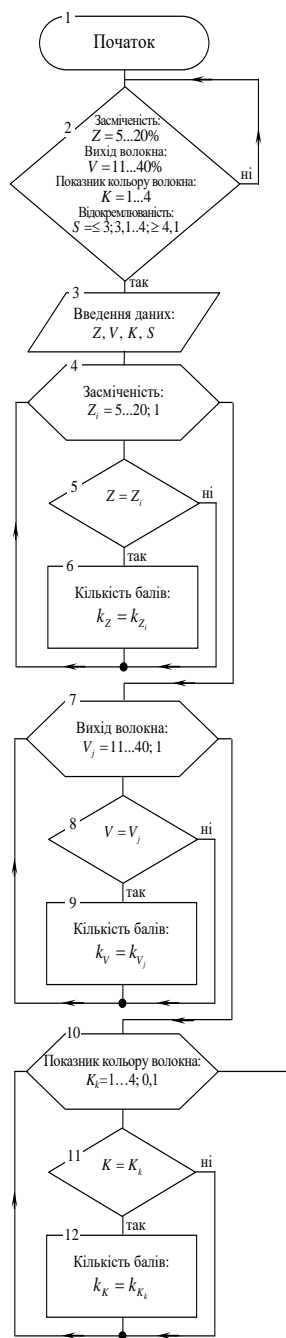
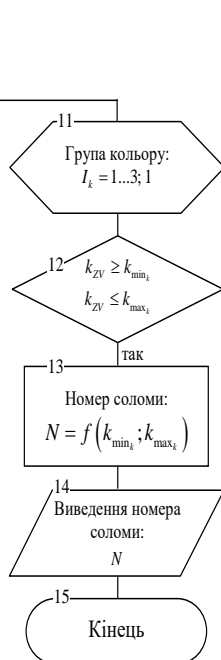


Рис. 2 – Алгоритм визначення номера трести льону олійного

Відповідно до цих алгоритмів розроблене програмне забезпечення: CQSoilseed Flax – для визначення номера соломи льону олійного; CQRoilseed Flax – для визначення номера трести льону олійного; CQSRoilseed Flax – для визначення номера соломи і трести льону олійного (рис. 3–5). Програма створена у зручному стандартному інтерактивному графічному інтерфейсі, що полегшує її освоєння, вона може використовуватися споживачами будь-якого рівня комп’ютерної грамотності. Ця програма розрахована лише на одного користувача та не передбачає одночасної роботи декількох.

Програма складається з одного файлу і для роботи вимагає встановлення операційної системи типу MS Windows XP SP 3 і вище, а також наявності програмного середовища NET Framework 4. Розроблена програма не потребує додаткового встановлення на комп’ютері специфічних апаратних засобів та працює тільки в інтерактивному режимі, очікуючи вибору дії і введення необхідних даних. Через те, що програма не є вимогливою до параметрів системи, вона зможе працювати на комп’ютері з процесором починаючи з Intel Celeron із налаштованою операційною системою MS Windows XP SP3 і вище.

Перед початком роботи з розробленою програмою обирається ресурс (тип сировини) для визначення номера соломи (рис. 3) або

номера трести (рис. 4). Після вибору ресурсу вказуються параметри (вхідні дані), за якими виконується обчислення. Для усіх вхідних даних є таблиці, в яких представлено необхідні характеристики та їхні значення, одержані інструментальним методом. Вхідні дані задаються через випадний список, що полегшує роботу з програмою. Залежно від ресурсу відображаються відповідні випадні списки, в яких обираються параметри ресурсу (рис. 3, б та рис. 4, б).

Для визначення номеру соломи відображаються випадні списки із масивом даних: засміченість соломи, вихід лубу, група кольору соломи. Для визначення номера трести відображаються випадні списки із масивом даних: засміченість трести, вихід волокна, показник кольору волокна та відокремлюваність (вилежаність). Під час вибору параметра (показник якості) у випадному списку виконується обчислення балів, що відображається у відповідному полі. Після визначення балів за певними параметрами, здійснюється розрахунок суми балів за всіма показниками якості досліджуваної сировини. На основі отриманої суми балів визначається номер соломи або трести льону олійного і отриманий результат відображається у відповідному полі (на рис. 3 та на рис. 4 – значення обведені червоним маркером).

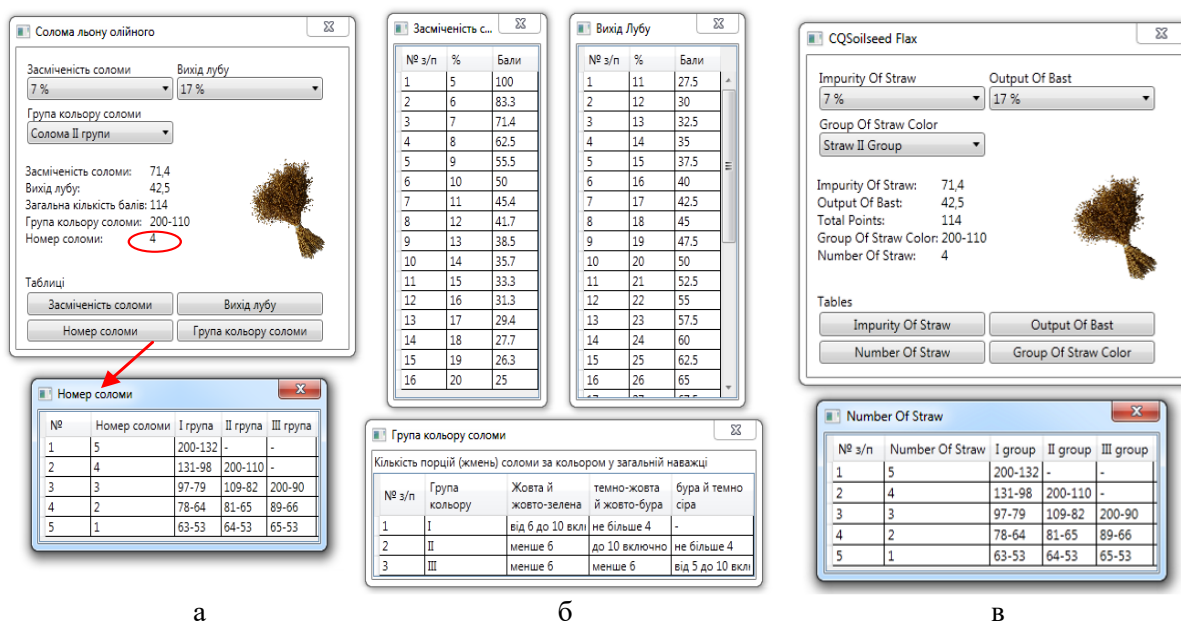


Рис. 3 – Інтерфейс комп’ютерних програм CQSoilseed Flax для визначення номера соломи льону олійного згідно із розробленими технічними умовами:

а – інтерфейс в україномовній версії; б – випадні списки; в – інтерфейс в англomовній версії

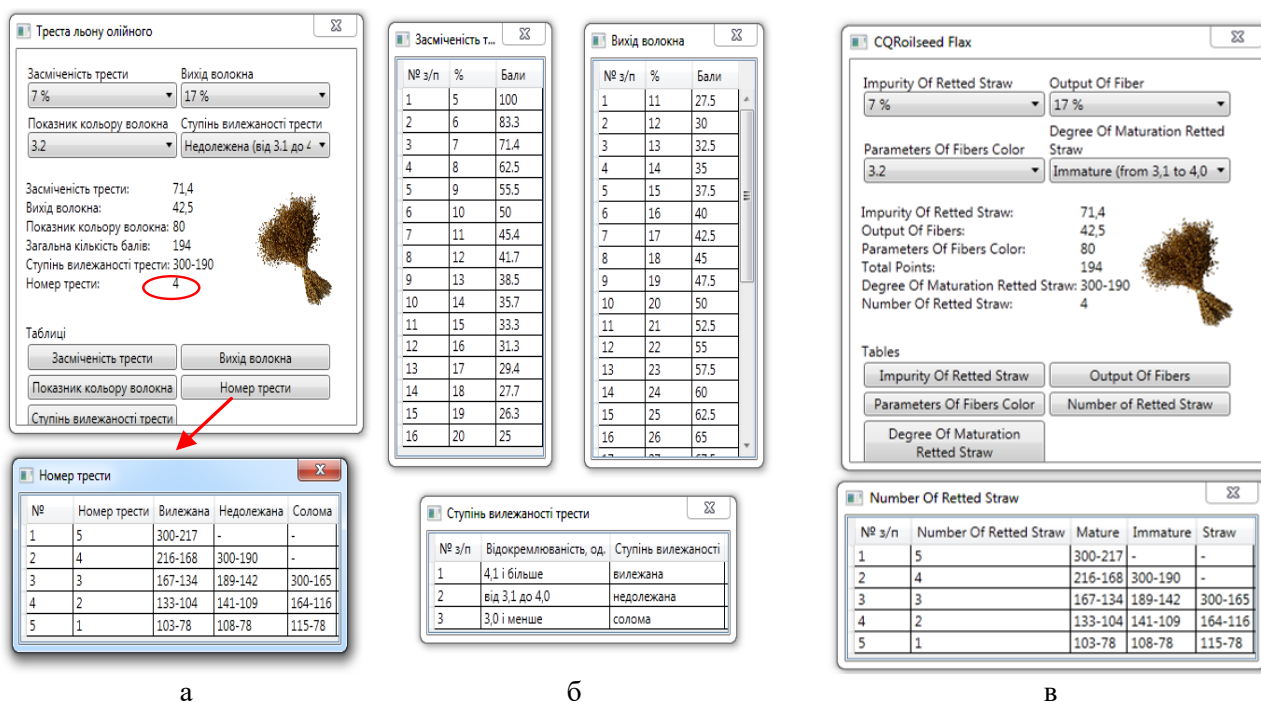


Рис. 4 – Інтерфейс комп'ютерних програм CQRoilseed Flax для визначення номера трести льону олійного згідно із розробленими технічними умовами:

а – інтерфейс в україномовній версії; б – випадні списки; в – інтерфейс в англomовній версії

Після завантаження програмного продукту CQRoilseed Flax для визначення номера соломи і трести льону олійного відображається головне вікно програми (рис. 5). Вікно має дві вкладки для вибору типу сировини, для якої буде проводитися оцінювання якості. Процедура розрахунку номера сировини аналогічна до програм CQSoilseed Flax та CQRoilseed Flax.

Програмні продукти CQSoilseed Flax, CQRoilseed Flax та CQRoilseed Flax створено в україномовній та англomовній версіях (рис. 3–5) для використання вітчизняними і закордонними споживачами (представниками промислового комплексу із перероблення соломи або трести льону олійного). Ці програмні продукти завдяки простоті використання не вимагають додаткового вивчення програмного забезпечення. На об'єднаний програмний продукт CQRoilseed Flax було одержано авторське свідоцтво «Комп'ютерна програма для оцінки якості соломи та трести льону олійного «CQRoilseed Flax» (Іванчук та ін., 2019).

ВИСНОВКИ

Економічну ефективність та стабільність розвитку легкої промисловості в Україні

можна забезпечити лише за умови розширення вітчизняної сировинної бази та застосування інноваційного технічного устаткування. На сьогодні одним із найважливіших завдань легкої промисловості є підвищення якості виготовленої продукції, її довговічності, надійності та покращення естетичних властивостей. Тому промислові підприємства галузі повинні постійно удосконалювати виробництво продукції народного споживання, розширювати асортимент і покращувати якість продукції. Додержання цих вимог є запорукою успіху виробництв та створення іміджу надійних партнерів на внутрішньому і зовнішньому ринках.

Практичне впровадження результатів проведених наукових досліджень сприятиме як відновленню діяльності, так і створенню в Україні нових льонопереробних комплексів. Текстильні, целюлозно-паперові та інші підприємства зможуть використовувати вітчизняні, щорічно відновлювані, сировинні ресурси для виробництва своєї продукції. Використання запропонованих програмних продуктів дозволить сільськогосподарським виробникам підвищити свої прибутки від вирощування льону олійного за рахунок реалізації соломи та трести.

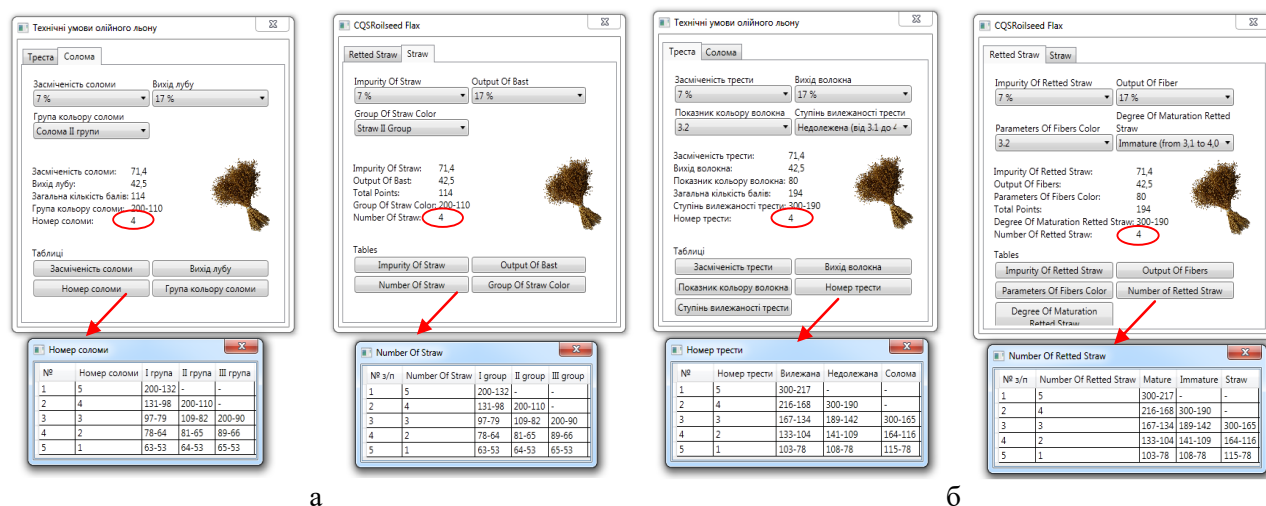


Рис. 5 – Інтерфейс об'єднаних комп'ютерних програм CQSRoilseed Flax: а – інтерфейс для соломи; б – інтерфейс для трести

Забезпечення промисловців стандартами на сировину з льону олійного дозволить значно покращити процеси виробництва інноваційної продукції, починаючи з перероблення соломи й трести, одержання волокон різного функціонального призначення і завершуючи виготовленням готових виробів.

Відповідно до науково-обґрунтованої та експериментально підтвердженої новітньої системи контролю якості соломи та трести льону олійного, що покладена в основу створення технічних регламентів оцінювання якості сировини, розроблено методологію номерного оцінювання луб'яної сировини.

Номерне оцінювання луб'яної сировини має велике значення для промислового виробництва як в Україні, так і в світі. Для автоматизації процесу оцінювання соломи та трести льону олійного розроблені комп'ютерні програми CQSoilseed Flax, CQRoilseed Flax та CQSRoilseed Flax. Комп'ютерні програми дозволяють прискорити процеси оцінювання луб'яної сировини шляхом автоматизованого оброблення числових даних, які одержують за результатами інструментального визначення показників якості соломи чи трести.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Saskatchewan Flax Development Commission. (2020). *Flax Market Report – September*. Retrieved October 5, 2021, from <https://www.saskflax.com/>
- Thompson, S., Solutions, S., Groenewegen, J., & Spearin, D. (2019). Investigating value added potential of flaxseed and straw [final report project], *SaskFlax*, 23, 175.

Державна служба статистики України. (2021).

Виробництво культур технічних (Production of technical crops). Retrieved September 18, 2021, from <https://www.ukrstat.gov.ua/>

Holovenko, T., Yanyuk, T., Boyko, G., Dyagilev, A., & Shovkomud, A. (2019). Promising methods and systems of quality control of innovative bast raw material. *Science and innovation: academic and research journal NAS Ukraine*, 15(3), 91-104.

Налобіна, О. О., Головенко, Т. М., Голотюк, М. В., Ружанські, П., & Шовкомуд, О. В. (2020а). Наукове обґрунтування розподілу показників якості соломи та трести льону олійного на класи сортності (*Scientific substantiation for distribution of quality indices of oilseed flax straw and retted straw on grade classes*). *Сільськогосподарські машини*, 44, 102-122.

Головенко, Т. М., Налобіна, О. О., Герасимчук, О. П., Ткачук, О. Л., & Шовкомуд, О. В. (2021). Математичний аналіз якісних показників луб'яної сировини із льону олійного (*Mathematical analysis of quality indicators for bast raw material from oilseed flax*). *Сільськогосподарські машини*, 46, 7-20. <https://doi.org/10.36910/acm.vi46.498>

Головенко, Т., Пуць, В., & Шовкомуд, О. (2020b). Комплекс нормативних документів для контролю якості луб'яної сировини із льону олійного (*A set of normative documents for quality control of bast raw materials from flax oil*). В *II Всеукраїнська конференція молодих вчених «Молодь і наука. Практика інноваційного пошуку»*. Дніпро, Україна (С. 337-339). Дніпро: Національна металургійна академія України.

Іванчук, О. В., Головенко, Т. М., & Козел, В. М. (2019). Авторське свідоцтво України 84077. Київ: ДП «Український інститут інтелектуальної власності».

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 47

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 29.12.2021 р., формат 60×84/8.
Ум. друк. арк. 15,58. 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