**Штуць А.А.**

К.Т.Н. СТ. викладач

Григоренко Н.В.

аспірант

Колісник М. А.

асистент

Григоренко О.В.

студент

**Вінницький національний
аграрний університет****Shtuts A.**

Ph.D., Senior Lecturer

Hryhorenko N.

postgraduate

Kolisnyk M.

assistant

Hryhorenko O.

Student

**Vinnitsia National Agrarian
University****УДК 631.362****DOI: 10.37128/2306-8744-2024-3-12****АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ
ТРАНСПОРТУВАННЯ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ
ПРОДУКЦІЇ СПІРАЛЬНО-
ГВИНТОВИМИ ТРАНСПОРТЕРАМИ**

Стаття присвячена аналізу сучасних методів транспортування сільськогосподарської продукції за допомогою спірально-гвинтових транспортерів. Сільське господарство України та світу потребує ефективних технічних засобів, які здатні комплексно забезпечувати транспортування, завантаження, вивантаження, зберігання та обробку різних типів продукції, включаючи сипкі, рідкі та напіврідкі матеріали. У дослідженні зазначено, що наявні засоби не повністю задовольняють вимоги до продуктивності та універсальності, оскільки вони є метало- та енергоємними і не завжди відповідають умовам складних виробничих завдань.

Особлива увага в роботі приділена перспективним конструкціям безстержневих спірально-гвинтових транспортерів, які мають підвищену компактність, енергоефективність та можливість транспортувати матеріали з різними фізико-хімічними властивостями. Запропоновані дослідження базуються на експериментальних методах та моделюванні процесу транспортування, що дозволяє оцінити параметри і режим роботи транспортерів у різних умовах. Крім того, надано аналітичні вирази для визначення продуктивності та розрахунку оптимальних параметрів, які покращують точність планування і знижують витрати.

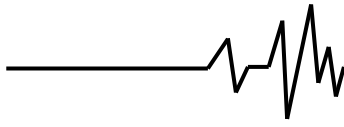
Результати досліджень демонструють можливість створення ресурсозберігаючих технологій для транспортування сільськогосподарських матеріалів, що забезпечує підвищену ефективність у виробничих процесах. Запропоновані нововведення мають велике значення для аграрної галузі, оскільки сприяють розвитку сучасної матеріально-технічної бази та підвищенню конкурентоспроможності сільськогосподарської продукції.

Ключові слова: аналіз, спірально-гвинтовий транспортер, транспортування сільськогосподарської продукції, безстержневий транспортер, сипкі матеріали, рідкі матеріали, енергоефективність, механізація, ресурсозберігаючі технології, аграрна галузь, аналіз, дослідження, продуктивність

Вступ. Сучасний рівень механізації у виробництві сільськогосподарської продукції, а також ключові напрями її розвитку відображають необхідність у вдосконаленні технічних засобів. Технічне обладнання та автоматизація процесів є основою технологій виробництва кінцевої продукції в аграрному секторі. Втім, на сьогодні через низький рівень механізації та недосконалі технології важко забезпечити випуск

високоякісної, екологічно чистої та конкурентоспроможної продукції [1,2,3].

До кінця ХХ століття сільське господарство України характеризувалося низькими показниками продуктивності праці, суттєво зменшилися обсяги виробництва так і відчувався брак кваліфікованих кадрів для виготовлення конкурентоспроможної продукції. Матеріально-технічна база була недостатньою та



потребувала суттєвого оновлення [1,2,3].

На сучасному етапі розвитку сільського господарства країни стратегічним завданням є модернізація машинно-технологічної бази галузі. Технології виробництва продукції та обладнання, необхідне для їх реалізації, визначають рівень продуктивності праці. Основою цих змін має стати впровадження нових ефективних технологій, адаптованих до різних виробничих зон. Важливу роль у цьому відіграють, як і великі сільськогосподарські виробники, так і малі, які можуть забезпечити основні обсяги продукції. У Стратегії представлена модель розвитку інженерно-технологічної сфери та прискореного розширеного відтворення сільського господарства, що складається з шести базових блоків:

1. Формування машинно-технологічної бази сільського господарства, відповідної стратегічним цілям агропромислової політики, проектування і введення у виробництво високоефективних технологій, що реалізують генетичний потенціал рослин і тварин; оснащення цих технологій технікою нового покоління при належній підготовці кадрів.

2. Створення високопродуктивної, надійної техніки нового покоління і формування відповідного парку машин.

3. Формування та освоєння стимулюючої інвестиційної політики.

4. Освоєння виробництвом високоефективних систем використання техніки.

5. Формування стимулюючої технічної інфраструктури, різноманітного сервісу аграрних товаровиробників.

6. Модернізація національного машинобудівного комплексу, інтегрування його в міжнародну систему сільгоспмашинобудування.

В новому парку машин одно операційні агрегати повинні бути замінені багатофункціональними, універсально-комбінованими, блочно-модульної побудови, здатними адаптуватися до змін умов роботи шляхом швидкої зміни робочих органів [5].

В період наступних років ставиться завдання створення інтелектуальної техніки на базі якісно нового рівня автоматизації, в тому числі багатоопераційних моноблоків.

Особливий розділ Стратегії - ефективне використання техніки. Висока капіталомісткість машинобудування (МШ) вимагає раціонального, інтенсивного машино-використання. Головний показник, що характеризує рівень ефективності використання машин, - прибуток, одержуваний при виробництві з допомогою використання техніки.

Тому для сільського господарства ресурсозберігаюча стратегія використання машин є основою забезпечення конкурентоспроможності галузі [5,6].

Мета та завдання дослідження.

Мета роботи полягає в підвищенні ефективності транспортування сипких і рідких сільськогосподарських матеріалів за допомогою безстержневих спірально-гвинтових транспортерів. Для цього передбачається розробка нових технологій і технічних засобів, а також обґрунтування їх параметрів і режимів роботи, що дозволить оптимізувати процеси переміщення матеріалів у складних виробничих умовах, знизити енерго- та металоємність обладнання та забезпечити ресурсозберігаючий підхід у сільськогосподарському виробництві.

Постановка проблеми.

Проблема механізації процесів виробництва сільськогосподарської продукції в Україні залишається актуальною через низький рівень автоматизації, високу енерго- та металоємність технічних засобів і недостатню універсальність існуючих технологій. Сучасне обладнання часто не відповідає вимогам комплексної механізації всіх етапів виробництва та переробки продукції рослинництва і тваринництва. Це обмежує можливість випуску високоякісної, екологічно чистої та конкурентоспроможної продукції, що є основною вимогою на сучасному агропромисловому ринку.

Іншою значною проблемою є зношеність матеріально-технічної бази, що суттєво знижує ефективність агровиробництва. Складність конструкцій, недоліки в технічному обслуговуванні та відсутність нових технологій обмежують можливості розвитку галузі. Вирішення цієї проблеми потребує впровадження ресурсозберігаючих, менш енергоємних і більш універсальних технічних засобів, здатних забезпечити ефективне переміщення сипких і рідких матеріалів, адаптованих до сучасних вимог.

У перспективі система раціонального використання технічних засобів повинна вирішувати такі завдання:

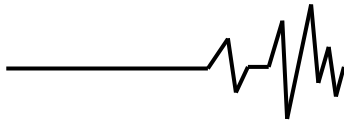
Ресурсне завдання: оптимізація складу машинного парку [2,3,7], реставрація, та удосконалення обладнання яке є на малих господарствах.

Технологічне завдання: вибір оптимальних ресурсозберігаючих технологій, забезпечення якісної підготовки агрегатів до роботи, збільшення періоду експлуатації машин за допомогою грамотного чергування культур у сівозміні та застосування широкозахватних агрегатів.

Технічне завдання: створення ефективної системи підтримки машин у робочому стані [8].

Організаційне завдання: мотивація людського фактора у триєдності "людина - технологія - машина".

Останнім часом в аграрній сфері відбулися значні зміни: великі господарства



поступаються місцем меншим фермерським підприємствам, розвиваються ринкові відносини між виробниками, що супроводжується позитивними змінами у технологічних процесах і структурі технічних засобів механізації [3].

Транспортуючі машини широко застосовуються в аграрному секторі для переміщення різноманітних вантажів. Їхні основні переваги — безперервний потік вантажів і висока продуктивність. Вони забезпечують основні вантажні потоки у вигляді транспортних машин загального призначення (стрічкові, скребокві, ковшові, гвинтові, пневматичні транспортери) і спеціалізовані машини (зернонавантажувачі, навантажувачі ґною, кормороздавачі тощо).

Машини для безперервного транспортування класифікуються за типом вантажу, конструкцією, принципом дії, напрямком переміщення, приводом у рух вантажу, призначенням та схемою установки. Для підвищення ефективності транспортуючих машин в умовах різноманіття вантажів і сезонного характеру вантажно-розвантажувальних робіт в аграрному секторі спостерігається тенденція до універсалізації техніки [9].

Особливості аграрного виробництва обумовлюють різні методи та прийоми транспортування продукції. Класифікація підійомно-транспортних машин зазвичай відображає специфіку умов виробництва, але загальні принципи і завдання дозволяють згрупувати ці машини за основними характеристиками:

за характером переміщення вантажу - на машини періодичної (крани, ковшові навантажувачі та ін.) і безперервної дії (транспортери, шнеки і т.п.);

за призначенням - загального (крани, транспортери, автотранспортні машини) та спеціального призначення (стогомети, зернонавантажувачі та ін.); вбудовані в складні машини, наприклад, транспортери в комбайнах, елеватори в зерноочисних пунктах, та ін.;

за способом установки - стаціонарні, (кран-балка в ремонтній майстерні, скреперних і скіпової установки на тваринницькій фермі та ін.); пересувні (транспортери на зернотоку, підійомники і пневмо-установки та ін.); самохідні, монтовані на трактори і автомобілі або мають власне шасі, автономні [9].

За основу класифікації стаціонарних транспортерів покладений тип робочого органу і вид матеріалу, що транспортується [10,11].

Враховуючи умови застосування машин безперервного транспорту в сільськогосподарському виробництві їх можливо класифікувати: по-перше, по приводу в рух вантажу, по-друге, за призначенням, далі - як перевантажувальні пристрої і допоміжні пристрої.

Також машини безперервного транспорту можливо класифікувати за наступними критеріями: за принципом дії (основний критерій), областях застосування, конструктивною ознакою, видом вантажу і призначенням.

У стаціонарних транспортерах переміщується транспортується матеріал, в мобільних транспортується пристроях переміщується робочий орган. Класифікація стаціонарних безперервних транспортерів представлена схемою (Рис. 1.1).

Основними і найбільш перспективними стаціонарними транспортерами є трубопровідні. У рідинних і пневматичних трубопровідних транспортерів в якості робочого органу можуть бути різного типу насоси, а у механічних - шнеки, спіральні гвинти та ланцюги. Шнеки і спіральні гвинти - обертового типу, а ланцюга - поступального руху [9,10].

Рідинні та пневматичні транспортери особливо ефективні при транспортуванні на великі відстані рідких, або газоподібних речовин.

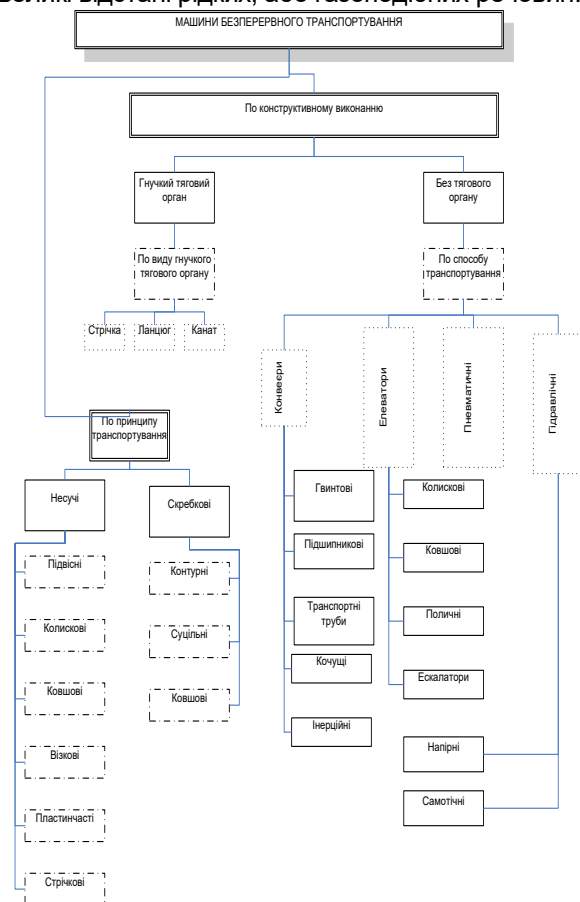
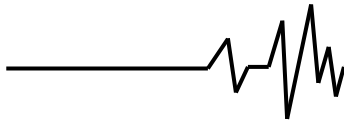


Рис. 1.1. Класифікація машин безперервного транспортування

Ключові технічні аспекти вибору стаціонарних транспортерів зображені на рисунку 1.2. Механічні трубопровідні транспортери застосовуються для переміщення твердих, сипучих, напіврідких і рідких матеріалів. Завдяки великому різноманіттю



транспортуючих пристроїв для виконання однієї й тієї ж технологічної операції можна обирати різні типи машин. Основні критерії вибору засобів механізації включають відповідність комплексу технічних вимог, економічну ефективність використання обладнання, а також забезпечення надійності, безперебійної роботи та безпеки праці [13].

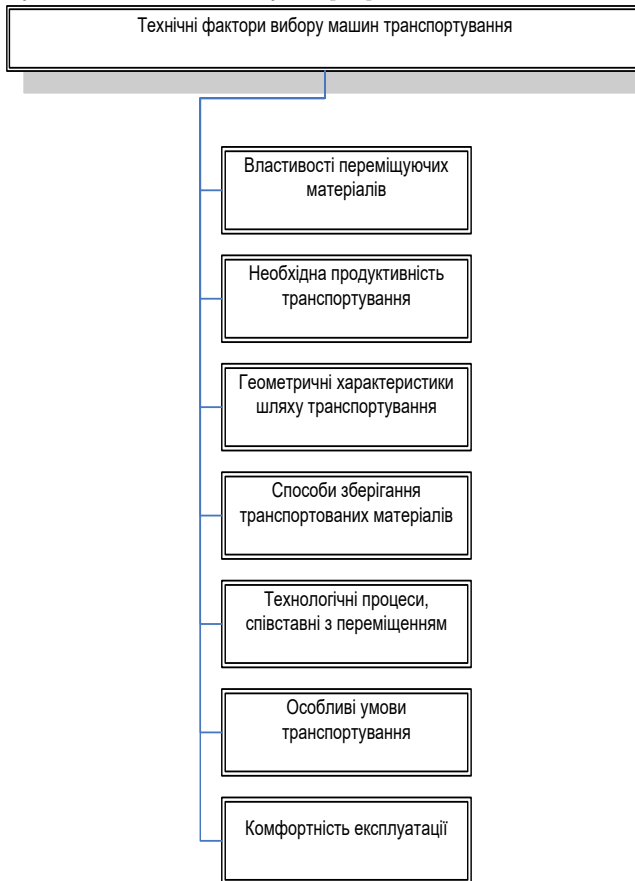


Рис. 1.2. Технічні фактори вибору машин

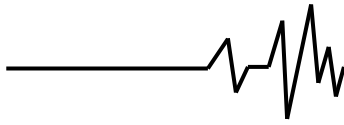
Шнеки є одними з найбільш поширених транспортуючих пристроїв у сільськогосподарському виробництві. Класифікація шнекових механізмів може базуватися на різних принципах і характеристиках, зокрема на основі специфічних технологічних завдань. Такий підхід до класифікації, рекомендований у [18], представлений на рисунку 1.3. Одним із типів шнекових транспортерів є спірально-гвинтові транспортери [4,5]. Вони відрізняються різноманітністю конструкційних варіантів, а в деяких випадках спіральний гвинт також виконує функцію робочого органу для обробки матеріалу.



Рис. 1.3. Класифікація шнекових машин за технологічними задачами

Вибір найбільш підходящого типу транспортуючих машин для конкретних технологічних процесів є складною техніко-економічною задачею, що враховує багато факторів [3]. Серед механічних трубопровідних транспортерів перспективними є спірально-гвинтові моделі, які здатні транспортувати як сипучі, так і напіврідкі та рідкі матеріали у різних напрямках. Ланцюгові транспортери показують найкращу ефективність для вертикального переміщення, тоді як шнекові оптимальні для горизонтального транспортування. Спірально-гвинтові транспортери можуть працювати як на низьких, так і на високих швидкостях, що робить їх універсальними для різноманітних умов [19].

У всіх видах транспортерів - механічних, рідинних, пневматичних - основний принцип роботи є однаковим, проте вони відрізняються



конструктивними особливостями, що впливають на їх застосування та ефективність. Транспортери, які працюють на високих швидкостях, зазвичай демонструють найкращі техніко-економічні показники, що робить їх вигідними для багатьох виробничих процесів [9]. Зважаючи на це, дослідження та вдосконалення конструкцій транспортерів, оснащених безстержневими та спірално-гвинтовими робочими органами, набувають особливої актуальності. Подібні розробки сприяють підвищенню продуктивності та розширенню можливостей транспортування різних матеріалів, від сипучих до рідких, у різних напрямках.

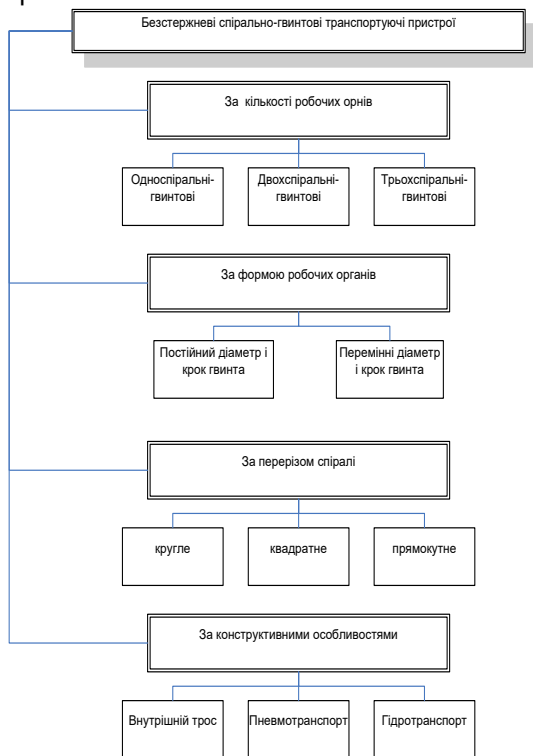


Рис. 1.4. Класифікація безстержневих спірално-гвинтових транспортуючих пристроїв

Спірално-гвинтові робочі органи транспортерів, окрім основної функції переміщення матеріалу, можуть виконувати й інші технологічні операції, що підвищують їхню ефективність у різних виробничих процесах. Серед таких функцій - дозування, розподіл, нагрівання, змішування, обробка та навіть електризація матеріалу, що робить їх універсальними для багатьох галузей промисловості [9, 10].

Спірално-гвинтовий транспортер надає ряд суттєвих переваг, таких як висока гнучкість у роботі та відсутність необхідності в передавальних механізмах між двигуном і робочим органом. Його компактність і універсальність дозволяють з легкістю інтегрувати в системи, не потребуючи значних просторових ресурсів. Завдяки

конструкції, що виключає ударні навантаження, спірално-гвинтові транспортери мають високу надійність. Виготовлення робочого елемента, спіралного гвинта, є простим, що спрощує як виробництво, так і монтаж трубопроводів.

Цей тип транспортерів також характеризується низькою металомісткістю, що робить їх економічно вигідними. Важливим аспектом є можливість реверсного переміщення матеріалу, а також різні джерела енергії для приводу - електричне, гідравлічне, механічне чи від опорних коліс сільськогосподарських машин. Спірално-гвинтовий робочий орган може використовуватися як на стаціонарних, так і на мобільних агрегатах, що підвищує їхню функціональність і адаптивність до різних умов експлуатації [8].

Гвинтовий транспортер складається із завантажувального пристрою 1 (рисунк 1,5), транспортуючої частини 2, гвинта, кожуха і розвантажувального приладу 3. В залежності від виду вантажу та призначення гвинт буває: суцільний (рисунк 1.6, а); стрічковий (рисунк 1.6, б) - для транспортування великих кускових і злипаючих вантажів; його використовують для перемішування вантажів; лопатевої (рисунк 1.6, в) - для сильно злипаючих вантажів і активного перемішування їх; спіралний (рисунк 1.6, г) - для криволінійного переміщення в гнучких шлангах.

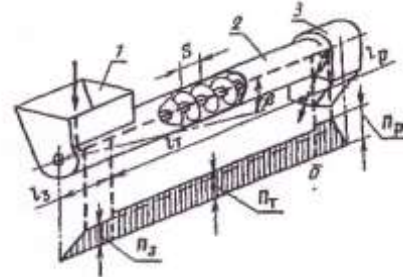
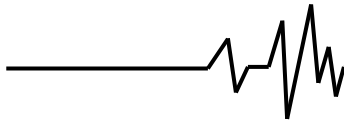


Рис. 1.5. Графічне зображення навантаження гвинтового транспортера
1 - завантажувальний пристрій;
2 - транспортуюча частина,
3 - розвантажувальний пристрій

Гвинти можна класифікувати за напрямком навивки на ліві та праві, а також на одно- і багатозахідні. Вантаж у шнеках переміщається завдяки осьовій силі гвинта, що діє на нього. При цьому вантаж утримується в позиції під дією сил тяжіння та тертя між ним і кожухом [10].

При вертикальному транспортуванні вантажу відбувається переміщення завдяки різниці в кутових швидкостях між вантажем і гвинтом. Вантаж, який обертається під впливом відцентрових сил, підлягає гальмуванню силами тертя об кожух.

Серед недоліків шнекових транспортерів можна виділити підвищену енергоємність, що може призводити до значних витрат, а також ризик стирання і дроблення перевезеного вантажу



(зокрема, для зерна цей показник може сягати до 2%). Крім того, виявляється знос поверхонь кожуха і гвинта, що потребує регулярного обслуговування та заміни деталей для підтримки їх ефективності.

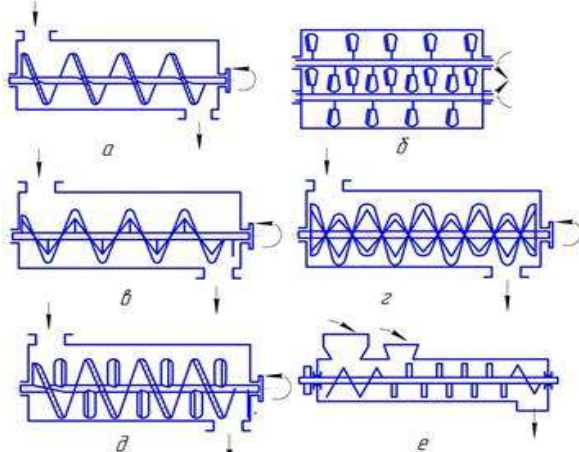


Рис. 1.6. Конструкції гвинтів
а - шнековий (гвинтовий); б - лопатевий; в - стрічковий односпіральный; г - стрічковий двохспіральный; д, е - комбінований.

Виклад основного матеріалу.

Матеріал переміщується в гвинтовому транспортері волочинням незалежно від фізико-механічних властивостей, стану та параметрів шнека. Однак траєкторії руху частинки вантажу різні залежно від частоти обертання гвинта.

Прийнято [4]. розрізняти шнеки тихохідні і швидкохідних. У тихохідних шнеках (рисунок 1.7, а) при $\omega < \omega_k$ (дійсна кутова швидкість менше критичної), коли $(\omega^2 R/g) < 1$, частинка А здійснює коливальні рухи на змінному радіусі з одночасним осьовим переміщенням. Їх застосовують для в'язких і зв'язкових вантажів: запарена картопля, силос, гній-сипець і т.д.

У швидкохідному шнеку (рисунок 1,7 б), при $\omega < \omega_k$ і $((\omega^2 R/g) < 1$, матеріал розташовується під дією відцентрових сил концентрично по поверхні кожуха, а частка А описує гвинтову спіраль з кроком $s_M < s$ кроку гвинта.

У дійсності з причин неоднорідності часток вантажу, перемішування вантажу і нерівномірності завантаження траєкторія складніше. Швидкохідні шнеки застосовують при вертикальному і других напрямках транспортування сипучих і рідких вантажів: зерно, рідкий гній, кормові суміші.

Для нормальної роботи шнека при його проектуванні необхідно забезпечити співвідношення можливих продуктивності: завантажувального - Π_3 , транспортуючого - Π_T і розвантажувального- Π_P вузлів.

При $\Pi_3 < \Pi_T < \Pi_P$ продуктивність шнека $\Pi = \Pi_3$, в разі $\Pi_3 > \Pi_T > \Pi_P$ буде зайве стирання і дроблення вантажу і навіть забиття транспортера.

На продуктивність шнека істотний вплив робить схема процесу роботи і конструкція вузлів[19].

Так, із збільшенням частоти обертання гвинта створюється гальмівна дія на вантаж і продуктивності Π_3 , і Π_P знижуються, а продуктивність Π_T гвинта зростає. Тому в швидкохідних шнеках для поліпшення завантаження ставлять спеціальні живильники.

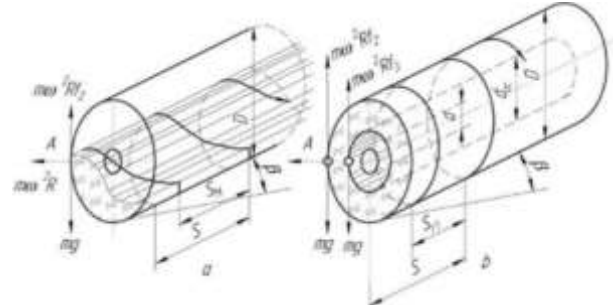


Рис. 1.7. Схеми транспортерів:
а -тихохідного, б - швидкохідного

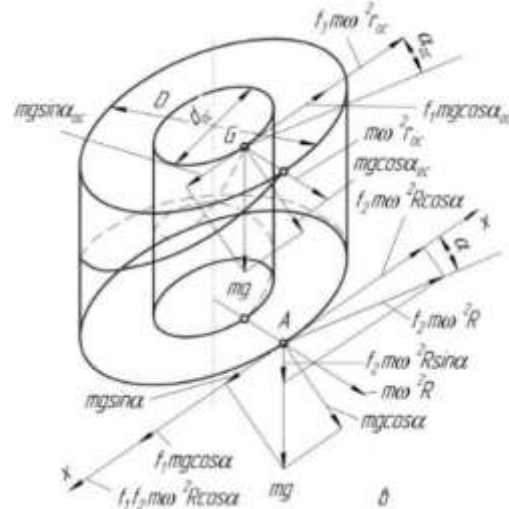
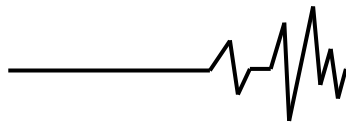


Рис. 1.8. Схема вертикального транспортера

Принцип дії шнекових транспортерів включає два основних типи завантаження: гравітаційне та примусове. Залежно від кінематики потоку вантажу, самоплинне завантаження та розвантаження поділяються на кілька категорій:

1. Осьове - рух вантажу відбувається вздовж осі гвинта.
2. Кутове - вантаж подається під кутом.
3. Кругове - досягається за рахунок розширення завантажувальної камери або занурення гвинта в матеріал, що транспортується.

Для кращого розуміння та оцінки ефективності різних форм бункерів завантажувальних пристроїв можна побачити у таблиці 1, що містить порівняльну характеристику цих форм. Ця таблиця дозволяє оцінити, яка конфігурація найкраще підходить для конкретних технологічних задач.



Таблиця 1. Порівняльна оцінка форми бункера завантажувального пристрою

Показник	Форма завантажувального бункера				
Коефіцієнт продуктивності					
	0,62	0,73	0,78	0,94	1,00

Для покращення забору вантажу та зниження початкових опорів шнеків застосовують конструкції з поступово наростаючим кроком. Найбільшу продуктивність при розвантаженні забезпечують осьові та кругові схеми. У випадку кутових конструкцій розвантажувальних пристроїв продуктивність зменшується на 6-12%, а потужність може зростати на 50% і більше в порівнянні з осьовими схемами.

Продуктивність вертикальних шнеків становить приблизно 30-40% від продуктивності горизонтальних. Використання кругової камери завантаження може підвищити продуктивність на 6-23%, а застосування живильників - в 1,7-3 рази.

Транспортуєча частина шнека складається з гвинта та жолоба, при цьому в горизонтальних шнеках жолоб може бути відкритим, тоді як у круто похилих і вертикальних шнеках використовують трубчасту конструкцію. У відкритих жолобах шнек може бути повністю занурений з пасивним шаром над ним, якщо коефіцієнт наповнення перевищує одиницю. Довжина транспортування шнеків може досягати 60 м, а висота - до 20 м.

Основні параметри шнека. Конструктивні: D - діаметр, s - крок гвинта, співвідношення між ними $\Psi = s/D$ діаметр валу - d ; кінематичні: частота обертання - n кутова швидкість - ω ; експлуатаційні: ко-фіцієнт продуктивності k_n і коефіцієнт тертя - f із збільшенням якого продуктивність знижується. Зазвичай $\Psi = 0,6 \dots 1,25$. Вибір більших і менших значень Ψ веде до зниження продуктивності. Діаметр гвинта коливається в межах 50 ... 600 мм. В залежності від роду вантажу коефіцієнт продуктивності для вертикальних шнеків знижується в 2 ... 3 рази, частота обертання гвинта змінюється в межах 5 ... 1300 xv^{-1} .

Основи теорії та розрахунку. При русі матеріальної частинки у шнеку на неї діють: сила тяжіння маси mg ; сила тертя об гвинт $f_1 mg$, захоплення її під обертанням, тиск суміжних частинок $kf_1 mg$ (тут k - коефіцієнт пропорційності); відцентрова сила $m\omega^2 r$, притискає її до кожуха, сила тертя об кожух $f_2 m\omega^2 r$, що гальмує обертання частинок разом з гвинтом; сили внутрішнього тертя частинок [7]. Сумарний вплив цих сил призводить до прослизання частинки по гвинтовій поверхні

($\omega_M < \omega$) і осьовому зміщенню її, т. тобто до транспортування [10].

Працездатність вертикального шнека забезпечується при $\omega > \omega_k$ (кутова швидкість гвинта більше критичної). Критичні кутові швидкості (див. рисунок 1.8) для точок А і Б визначаються з рівнянь рівноваги сил в проекції на осі x-x:

$$mg \sin \alpha + f_1 mg \cos \alpha + f_1 f_2 m \omega^2 R \sin \alpha - f_2 m \omega^2 R \cos \alpha = 0$$

$$mg \sin \alpha_{oc} + f_1 mg \cos \alpha_{oc} + f_3 m \omega^2 r_{oc} = 0$$

Де $f_1 f_2 f_3$ - відповідно коефіцієнти тертя вантажу об гвинт, кожух і вантаж; $r_{oc} = 0,5 d_{oc}$; з і α_{oc} - відповідно радіус, діаметр і кут осипання, при яких транспортування неможливо.

Після перетворення відповідно для зовнішньої точки А (рисунок 1.8) і внутрішньої Б отримаємо;

$$\omega_{kA} = \sqrt{\frac{2g \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1)}{D f_2}}$$

$$\omega_{kB} = \sqrt{\frac{2g \sin(\alpha_{oc} - \varphi_1)}{d_{oc} f_3 \cos \varphi_1}} \quad (2)$$

Для горизонтального шнека (див. рисунок 1.6, б) критичні кутові швидкості для зовнішньої точки А і внутрішньої Б будуть:

$$\omega_{kA} = \sqrt{\frac{2g}{D f_2}} \quad ; \quad \omega_{kB} = \sqrt{\frac{2g}{d_{oc} f_3}} \quad (3)$$

Робоча частота обертання гвинта швидкохідних шнеків зазвичай у кілька разів більше критичної: $n > n_k = 30 \omega_k / \pi$. Для тихохідних $-n < A / \sqrt{D}$. де $A = 65 \dots 50$ - для легких вантажів (зерно, січка, гній-сипець) і А в 50 ... 30 для важких (вугілля, сіль, коренеплоди, мінеральні добрива) [8].

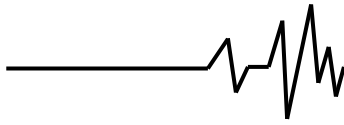
Осьова швидкість транспортування матеріалу v_s (рисунок 1.9, а) залежить від окружної швидкості v і теоретичної осьової швидкості v_{ST} , при якій точка А перемішуючи без обертання. З урахуванням співвідношень

$$v = \frac{\pi D n}{60}; \quad v_{ST} = vtg\alpha; \quad v_{ST} = Sn/60 \quad \text{і на}$$

підставі графіка швидкостей: $vs = k_v$,

$$v_{ST} = \frac{k_v S n}{60}, \text{ де}$$

$$k_v = \frac{\cos \alpha \cos(\alpha + \varphi_1)}{\cos \varphi_1} = \frac{v - v_M}{v} = 1 - \frac{n_M}{n}$$



сипучих вантажів, у комбайнах та інших сільськогосподарських машинах [3].

Системою машин для комплексної механізації сільськогосподарського виробництва передбачено створення легких пересувних, переносних і стаціонарних транспортерів для складів та елеваторів.

Зокрема, використовуються переносні і пересувні транспортери (рисунк 1.10 ...1.12).

На рис. 1.10 зернонавантажувач має висоту переміщення вантажу до 2,5 м, діаметр шнека в різних моделях $D = 88 \dots 110$ мм; $n = 550$ xv^{-1} ; $N_d = 0,6 \dots 1,0$ кВт; $Q = 4 \dots 10$ т / г.

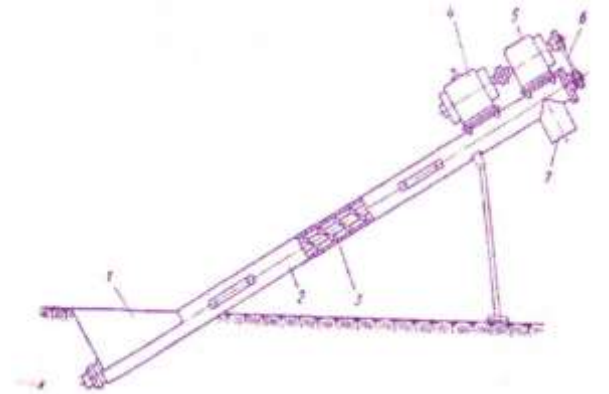


Рис. 1.10. Переносний похилий гвинтовий транспортер: 1-завантажувальний ківш; 2 кожух; 3 - шнек, 4 - електродвигун, 5-редуктор; 6 - ланцюгова передача, 7 - розвантажувальний патрубок.

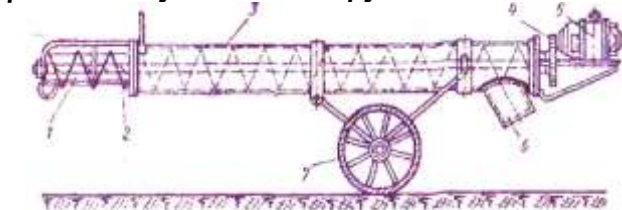


Рис. 1.11. Пересувний гвинтовий транспортер: 1-завантажувальна частина, 2 - гвинт, 3 - кожух, 4 - передача, 5 - електродвигун, 6 - розвантажувальний патрубок, 7 - двокілісний хід

Спеціальні навантажувачі з гвинтовими транспортерами на шасі вантажних автомобілів широко використовуються для завантаження зерна в сівалки або автомобілі. У таких навантажувачах, як показано на рисунку 1.12, комбінуються похилий та горизонтальний гвинти, що дозволяє ефективно переміщати матеріали.

Бункер, виготовлений із листової сталі та куточків, закріплюється на рамі автомобіля. Це забезпечує можливість швидкої заміни бункера на вантажний кузов після закінчення посівних робіт, що підвищує універсальність використання автомобіля в сільськогосподарському виробництві.



Рис. 1.12. Гвинтовий навантажувач

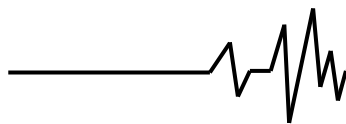
Зерно із бункера 1 похилим транспортером 2 подається в горизонтальний транспортер 3. На кінці останнього встановлений брезентовий рукав 4, по якому зерно зсипається [6].

Застосовуються самохідні зернонавантажувачі на гусеничному ході, в яких скребокві забірні органи замінені на більш надійні шнекові (правий і лівий). Вони приєднуються з обох боків до нижнього валу дволанцюгового скребоквого транспортера, який забирає зерно як з насипу перед собою, так і підгрибає шнеками, і подає його на відвальний стрічковий транспортер. Діаметр шнеків 300 мм, крок 215 мм. Є конструкції, де забірні шнеки поєднуються з ковшового норією, а відвальний транспортер зберігається стрічковий. У цьому випадку передбачена самохідна колісна візок, на якій змонтовані всі механізми навантажувача. Він забезпечує надійну роботу при навантаженні початками кукурудзи і зерна.

У механізації вантажно-розвантажувальних робіт при транспортуванні сільськогосподарських вантажів гвинтові транспортери використовуються як у вигляді пересувних похилих конструкцій, так і в формі переносних вертикальних шнеків. Наприклад, у навісному зернонавантажувачі, пристосованому для колісних тракторів (як показано на рисунку 1.13), гвинтові елементи з правими і лівими спіралями подають зерно до скребоквого транспортера.

Для згрібання зерна до шнекового живильника в цьому пристрої застосовується плужний механізм. Привід усіх механізмів здійснюється від приводного валу трактора через ланцюгові передачі. В результаті, продуктивність такого навантажувача може досягати 100 тон на годину, що робить його ефективним засобом для роботи в аграрному секторі.

Пересувні гвинтові транспортери (рисунк 1.14) застосовуються для навантажувальних робіт з зерном. Робочий орган має довжину 10 м, наводиться від електродвигуна потужністю 7 кВт, $n = 1400$ xv^{-1} через клиноремінну і ланцюгову



передачі. Рама транспортера встановлена на чотирьох колесах. Висота транспортування - від 2,6 м до 7,2 м. Продуктивність при нахилі 13 ... 25 ° до 80 т / ч.

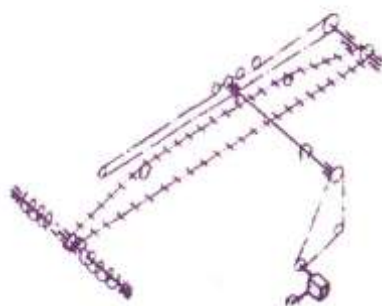


Рис. 1.13. Схема навісного зерновантажувача



Рис. 1.14. Шнековий екструдер E-1500 (ПАТ «ЧеркасиЕлеваторМаш»)

Позначення на рисунку 1.14: 1 - приймальний бункер; 2 - електродвигун, 3 - підйомний пристрій, 4 - кожух. Шнек складається з чотирьох секцій довжиною 2,5 м. довжину можна скоротити до 7,5 м, видаливши верхню секцію. Кут нахилу шнека змінюється ручною лебідкою з від $\delta = 10^\circ$ до $\delta = 45^\circ$. Діаметр шнека 230 мм, крок 250 мм, $n = 480$ хв.

У варіанті самохідного гвинтового транспортера-зерновантажувача шнек збирається з трьох секцій: нижній з приймальним бункером; середньої з випускним патрубком. Кут нахилу осі шнека до горизонту змінюється в межах $\delta = 18 \dots 60^\circ$ залежно від умов експлуатації та застосування. При роботі в ланцюжку транспортерів $\delta = 18^\circ$; при вантаженні зерна в автомобілі $\delta = 25 \dots 45^\circ$, при вантаженні в залізничні вагони через люки в кришці - $43 \dots 45^\circ$, при подачі зерна на верхній транспортер зерноскладу - 60° .

Вали гвинтів шнекового транспортера встановлені на підшипниках кочення, що забезпечує їхню стійкість і зменшує тертя. Секції шнека з'єднуються через зубчасті муфти, які дозволяють легке перенесення і обслуговування секцій, що спрощує процес збору та монтажу транспортерів.

Гвинтовий транспортер має опору на задні колеса, а передні колеса підтримуються через підйомну стрілу, що шарнірно з'єднана з кожухом. Це забезпечує зручність при регулюванні кута нахилу шнека. Транспортер приводиться в рух електродвигуном, що передає обертальний момент через черв'ячний редуктор на проміжний вал, а далі через муфту і ланцюгову передачу на ведуче колесо.

Для ручного підйому та опускання шнека в конструкції передбачено спеціальний механізм, що забезпечує гнучкість у використанні. Горизонтальні та похилі гвинтові транспортери інтегровані в пересувний бункер зі шнековим живильником, призначеним для прийому зерна, що вивантажується з автомобілів, і перенаправлення його на стрічковий транспортер. Ця конструкція забезпечує високу продуктивність і ефективність в аграрних процесах.

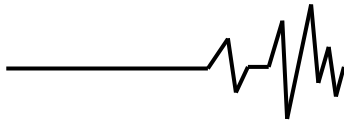
Параметри гвинтів: діаметр 250мм. крок 250 мм, $n = 300$ хв. потужність 7 кВт, Q до 80 т / год, кут нахилу до горизонту осі розвантажувального шнека $\delta = 25^\circ$. Вали з'єднуються шарнірною муфтою. Привід виконаний від електродвигуна через клиноремінну і ціпну передачі.



Рис. 1.15 Кормозмішувачі шнекові: а - Agilo V-MIX (компанія BvL); б - КСП-9 (ТДВ «Брацлав»); в - СПП-2500 (ТОВ «Технолог»)

Одношнековий кормозмішувач Agilo V-MIX (рис. 1.15.а) найменший серед модельного ряду V-MIX компанії BvL. Поставляється в двох варіантах з ємністю бункера 3.5 і 5 м³. Незважаючи на маленькі розміри цей змішувач кормів за своїми характеристиками відповідає повноцінним кормозмішувачам і в той же час дуже маневреним і підходить для будь-якого тваринницького приміщення. Також компанією BvL виготовляються двохшнекові змішувачі кормів V-MIX Plus обсягом від 13 до 30 м³ та трьохшнекові кормозмішувачі V-MIX Plus 3S об'ємом від 25 до 40 м³.

Досвід експлуатації свідчить про те, що гвинтові транспортери є більш надійними пристроями в порівнянні з стрічковими в комбайнах. Вони не схильні до впливу вологи, що забезпечує їхню довговічність, а також у них відсутні обертові валки, на які часто намотується рослинність, що може викликати проблеми в експлуатації.



Для шнеків, що використовуються в комбайнах, існують чіткі експлуатаційні та технічні вимоги. Кожухи повинні бути надійно закріплені на рамі, при цьому щілини та зазори в місцях з'єднання не повинні перевищувати 1 мм. Дозволені перекося кожухів не мають перевищувати 5 мм, осьове зміщення валів - 2 мм, а биття спіралі гвинта - 3 мм. Важливо також, щоб гвинти були правильно збалансовані, щоб уникнути вібрацій і підвищеного зносу.

Ці вимоги підтверджують важливість точності в конструкції та монтажу гвинтових транспортерів для забезпечення їхньої ефективності та тривалої служби в аграрних умовах [7].

Шнеки можна застосовувати для транспортування рідких вантажів. На рисунку 1.16 показаний шнек НШ-50, навішується на трактор для вигрузки рідкого гною. Продуктивністю до 50 т / год при $n=1000 \dots 1400 \text{ хв}^{-1}$.

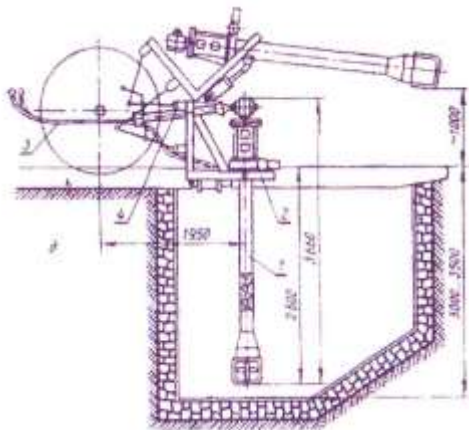


Рис. 1.16. Навісний шнековий транспортер для рідкого гною: 1-шнек, 2-рама, 3-гідросистема, 4-передаточний механізм від трактора

Бункер - суцільнометалевий, герметичний, конічної форми. На дні бункера змонтований поздовжній шнек, а вище - лопатева обертова мішалка [8]. (рисунк 1.17). Привід шнека здійснюється від ВВП фактора через конічний редуктор, що забезпечує 170 хв^{-1} .



Рис. 1.17. Змішувачі з горизонтальним розміщенням стрічкового шнека: а - з одним шнеком; б - з двома різнонаправленими шнеками.

Змішувальний шнек, що приймає корм від поздовжнього шнека і вивантажує його в годівницю, шарнірно з'єднаний з рамою і за допомогою

гідралічного циліндра може бути встановлений в горизонтальне положення при завантаженні годівниць висотою до 500 мм [2,3,4].

Безстержневі спіральні-гвинтові, гнучкі транспортери широко застосовують при розвантаженні залізничних вагонів, на перевантаженні зерна і для протравлення зерна та змішування кормів (рисунк 1.19).

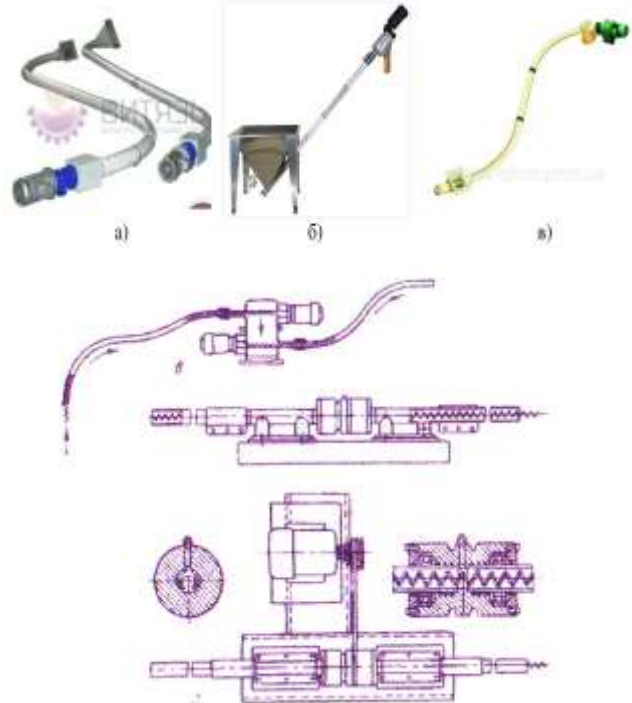


Рис. 1.19. Безстержневі спіральні-гвинтові гнучкі транспортери: а - ТОВ «Машинобудівний завод «Вітязь»; б - ТОВ «Завод промислового обладнання «Прогрес»; в - ТОВ «Технік»

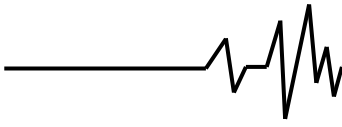
Гвинтові транспортери використовуються в агрегатах для сушіння трав та кормів. За кордоном шнеки використовують у вигляді універсальних транспортерів довжиною 3 ... 16 м. з приводом від електромотора або двигуна внутрішнього згоряння продуктивністю 2 ... 40 т/г [2].

Висновки

У результаті аналізу сучасних методів транспортування сільськогосподарської продукції з використанням спіральні-гвинтових транспортерів сформульовано кілька ключових висновків, які вказують на важливість подальшого вдосконалення технологій та обладнання в цій галузі:

Неповна механізація: На даний час існуючі технічні засоби, що використовуються для транспортування, завантаження, вивантаження та зберігання продукції, недостатньо забезпечують комплексну механізацію всіх технологічних процесів у виробництві та переробці сільськогосподарської продукції. Це свідчить про необхідність модернізації і впровадження нових рішень у цій сфері.

Конструктивні недоліки: Різноманітність конструкцій наявних технічних засобів часто



призводить до їх метало- та енергоємності. В умовах обмежених ресурсів важливо розробити більш універсальні та економічні рішення.

Альтернативні рішення: Зростає використання пружинно-транспортуючих робочих органів в Україні та за кордоном вказує на ефективність нових технологій, які здатні забезпечити транспортування сипких та рідин з високою щільністю і в'язкістю. Це відкриває нові можливості для оптимізації технологічних процесів.

Недостатня теоретична база: Незважаючи на широке використання шнеків у промисловості, теорія їх роботи, особливо для безстержневих спірально-гвинтових транспортерів, ще недостатньо розроблена. Це створює перешкоди для більш ефективного використання даних пристроїв.

Складність процесів: Процес переміщення сипких матеріалів в кожусі є складним механічним процесом, що вимагає детального вивчення та експериментальних досліджень. Це підкреслює необхідність проведення більш глибоких досліджень для отримання адекватних моделей, що відображають реальні умови.

Перспективи безстержневих транспортерів: Простота приводу бесстержневого спірально-гвинтового робочого органа та відсутність проміжних механізмів дозволяє створити компактніші та менш металомісткі конструкції. Це, у свою чергу, сприяє зниженню витрат на виробництво та експлуатацію.

Виходячи з наведених висновків, метою роботи є підвищення ефективності переміщення сипких і рідких сільськогосподарських матеріалів шляхом розробки нових технологій і технічних засобів, які враховують виявлені недоліки та використовують сучасні досягнення в цій галузі.

Завдання дослідження. З урахуванням поставленої мети сформульовано кілька завдань:

Аналіз і класифікація наявних технологій та засобів механізації з метою виявлення напрямків для вдосконалення процесів транспортування.

Розробка нових автоматизованих та ресурсозберігаючих технологій з урахуванням безнапірних і напірних варіантів переміщення.

Моделювання характеристик транспортування сипких і рідких матеріалів за допомогою спірально-гвинтових робочих органів.

Визначення залежності продуктивності механізаційних засобів від конструктивних і режимних параметрів.

Обґрунтування переваг використання нових способів переміщення сільськогосподарських матеріалів.

Проведення експериментальних досліджень для перевірки аналітичних виразів і оптимальних параметрів.

Оцінка економічної ефективності нових технологій транспортування.

Ці завдання сприятимуть реалізації мети дослідження та дозволить внести суттєвий вклад у

розвиток ефективних методів транспортування сільськогосподарської продукції.

Список використаних джерел

1. Стаднік М.І., Видмиш А.А., Штуць А.А., Колісник М.А. Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика: навч. посіб. Вінницький національний аграрний університет. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ». 2020. 332 с.

2. Аулін В. В., Гриньків А. В., Лисенко С. В. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки. *Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві*. Харків. 2015. Випуск 158. С. 252-262.

3. Адамчук В., Ратушний В., Онищенко В. Універсальний агрегат до самохідного шасі. *Техніка АПК*. 1998. № 2. С. 22.

4. Аулін В. В., Каліч В. М., Гриньків А. В., Голуб Д. В. Прогнозування залишкового ресурсу агрегатів та систем транспортних засобів сільськогосподарського виробництва за їх технічним станом. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник*. Кіровоград : КНТУ. 2015. Випуск 45, ч. 2. С. 28-36.

5. Васильків В. В., Гевко І. Б. Технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових заготовок з листового прокату. *Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»): «Наукові нотатки» ЛДТУ*. 2004. Вип. 14. С. 12-18.

6. Вертикальний гвинтовий змішувач-транспортер: пат. 63392 Україна : В65G 33/00 / І.Б. Гевко. - № у 201102469; заяв. 02.03.11; опубл. 10.10.11, Бюл. № 19. - 3 с.

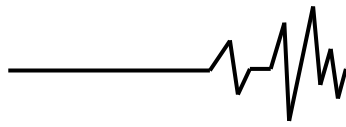
7. Гвинтовий пересувний змішувач : пат. 99284 Україна : В65G 33/00, В65G 33/08 / В. З. Гудь, Ю. М. Тарасюк, Т. Д. Навроцька. - № у201413737; заяв. 22.12.14; опубл. 25.05.15, Бюл. № 10/2015. - 5 с.

8. Гевко Б. М., Вивюрка Н. Є. Конструктивно-технологічні схеми сепараційних робочих органів бурякозбиральних машин. *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. 2000. Т. 5. № 3. С. 28-33.

9. Гевко Б. М., Луців І. В., Гевко І. Б., Комар Р. В., Дубиняк Т. С. Пружно-запобіжні муфти: конструкції, розрахунок, дослідження : монографія. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2019. 200 с.

10. Гевко І. Б. Структурний синтез імпульсних запобіжних муфт і шнеків методом морфологічного аналізу. *Вісник ТНТУ*. 2012. № 3 (67). С. 121-134.

11. Лисогор В.М., Штуць А.А., Бородянець Я.Г., Колісник М.А., Задача оптимізації багатостадійних технологічних процесів з людинно-машинним управлінням в АПК. *Технічні науки:*



Збірник наукових праць. ВНАУ. 2014. № 1 (84). С. 125-130.

12. Возняк О.М., Видмиш А.А., Штуць А.А. Дослідження графоаналітичного методу визначення стандартних W-параметрів чотириполюсника. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2019. №4 (107). С. 67-78.

13. Возняк О. М., Штуць А.А. Розрахунок нестандартних W-параметрів чотириполюсника на біполярному транзисторі. *Техніка, енергетика, транспорт*. 2020. № 2 (109). С. 122-128.

14. Возняк О. М., Штуць А.А., Замрій М.А. Розробка мікропроцесорного контролера для вимірювання лінійного переміщення рухомих органів виконавчих механізмів вібраційних машин. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 2 (101). С. 71-84.

15. Возняк О. М., Штуць А.А., Наавгуст О.П. Аналіз комплексної моделі моніторингу параметрів якості електроенергетики. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 4 (115). С. 148-159.

16. Возняк О.М., Штуць А.А., Тихонов В. К. Дослідження моделі галузі електроенергетики та методики виконання вимірювань якості електроенергії. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 1 (116). С. 150-163.

17. Возняк О.М., Штуць А.А., Булига А.І. Дослідження роботи електромеханічної системи автономної фотоелектричної насосної станції. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2023. № 2 (121). С. 139-148.

18. Паньків М. Р. Експериментальні дослідження сепарації вороху коренеплодів кулачково-вальцьовим очисником. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 2002. Випуск 49. С. 253-262.

19. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Іванишин В. В. Про розробку і створення в Україні сільськогосподарських машин сучасного рівня. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: технічні науки*. 2012. Вип. 11. Т. 2 (66). С. 8-14.

References

1. Stadnik M.I., Vydmysh A.A., Shtuts A.A., Kolisnyk M.A. Intelligent systems in electric power. Theory and practice: education. manual Vinnytsia National Agrarian University. Vinnytsia: "TVORY" LLC. 2020. 332 p. [in Ukrainian].

2. Aulin V. V., Hrynkiv A. V., Lysenko S. IN. A theoretical-physical approach to diagnostic information about the technical condition of mobile agricultural machinery units. Herald of KhNTUSG named after Peter Vasylenko. *Resource-saving technologies, materials and equipment in repair production*. Kharkiv. 2015. Issue 158. P. 252-262. [in Ukrainian].

3. Adamchuk V., Ratushnyi V., Onishchenko V. Universal unit for self-propelled chassis. *Agricultural machinery*. 1998. No. 2. P. 22. [in Ukrainian].

4. Aulin V. V., Kalich V. M., Hrynkiv A. V., Holub D. IN. Forecasting the residual resource of units and systems of vehicles of agricultural production according to their technical condition. *Design, production and operation of agricultural machines: national interdepartmental scientific and technical collection*. Kirovohrad: KNTU. 2015. Issue 45, part. 2. S. 28-36. [in Ukrainian].

5. Vasylyk V. V., Gevko I. B. Technological and constructive features of the production of screw blanks from rolled sheet. *Interuniversity collection (in the direction of "Engineering Mechanics"): "Scientific notes" of LDTU*. 2004. Vol. 14. S. 12-18. [in Ukrainian].

6. Vertical screw conveyor mixer: pat. 63392 Ukraine: B65G 33/00 / I. B. Howl. - No. u 201102469; statement 02.03.11; published 10.10.11, Bull. No. 19. - 3 p. [in Ukrainian].

7. Screw mobile mixer: pat. 99284 Ukraine: B65G 33/00, B65G 33/08 / V. WITH. Gud, Yu. M. Tarasyuk, T. D. Navrotska - No. u201413737; statement 22.12.14; published 25.05.15, Bul. No. 10/2015. - 5 s. [in Ukrainian].

8. Gevko B. M., Vyvurka N. THERE ARE. Structural and technological schemes of separation working bodies of beet harvesting machines. *Bulletin of the Ternopil State Technical University*. 2000. Vol. 5. No. 3. S. 28-33. [in Ukrainian].

9. Gevko B. M., Lutsiv I. V., Gevko I. B., Komar R. V., Dubynyak T. WITH. Spring-safety couplings: designs, calculation, research: monograph. Ternopil: FOP Palyanytsia V. A., 2019. 200 p. [in Ukrainian].

10. Hevko I. B. Structural synthesis of impulse safety couplings and screws by the method of morphological analysis. *Bulletin of TNTU*. 2012. No. 3 (67). WITH. 121-134. [in Ukrainian].

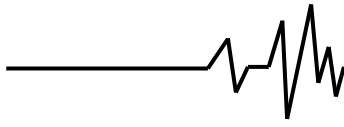
11. Lysogor V.M., Shtuts A.A., Borodyanets Y.G., Kolisnyk M.A., The problem of optimization of multi-stage technological processes with man-machine control in agriculture. *Technical sciences: Collection of scientific papers*. VNAU. 2014. No. 1 (84). WITH. 125-130. [in Ukrainian].

12. Wozniak O.M., Vydmysh A.A., Shtuts A.A. Study of the grapho-analytical method of determining the standard W-parameters of a quadrupole. *Technology, energy, transport, agricultural industry*. 2019. No. 4 (107). WITH. 67-78. [in Ukrainian].

13. Wozniak O. M., Shtuts A.A. Calculation of non-standard W-parameters of a quadrupole on a bipolar transistor. *Technology, energy, transport*. 2020. No. 2 (109). WITH. 122-128. [in Ukrainian].

14. Wozniak O. M., Shtuts A.A., Zamrii M.A. Development of a microprocessor controller for measuring the linear movement of the moving bodies of the executive mechanisms of vibrating machines. *Vibrations in engineering and technology*. 2020. No. 2 (101). WITH. 71-84. [in Ukrainian].

15. Wozniak O. M., Shtuts A.A., Naavugust O.P. Analysis of a comprehensive model of monitoring of power quality parameters. *Technology, energy, transport, agricultural industry*. 2021. No. 4 (115).



WITH. 148-159. [in Ukrainian].

16. Wozniak O.M., Stuts A.A., Tikhonov IN. K. Study of the model of the electric power industry and methods of performing measurements of the quality of electric power. *Technology, energy, transport, agricultural industry*. 2022. No. 1 (116). WITH. 150-163. [in Ukrainian].

17. Wozniak O.M., Stuts A.A., Bulyga A.I. Study of the operation of the electromechanical system of an autonomous photovoltaic pumping station. *Technology, energy, transport, agricultural industry*. 2023. No. 2 (121). WITH. 139-148. [in Ukrainian].

18. Pankiv M. R. Experimental studies of the separation of a pile of root crops with a cam-roller cleaner. *Scientific Bulletin of the National Agrarian University*. 2002. Issue 49. P. 253-262. [in Ukrainian].

19. Adamchuk V. V., Bulgakov V. M., Ivanyshyn V. IN. About the development and creation of modern agricultural machines in Ukraine. *Collection of scientific works of the Vinnytsia National Agrarian University. Series: technical sciences*. 2012. Issue 11. T. 2 (66). WITH. 8-14. [in Ukrainian].

ANALYSIS OF MODERN METHODS OF TRANSPORTATION OF AGRICULTURAL PRODUCTS BY SPIRAL-SCREW TRANSPORTERS

The article is devoted to the analysis of modern methods of transporting agricultural products using spiral-screw conveyors. The agriculture of Ukraine and the world needs effective technical means capable of comprehensively providing transportation, loading, unloading, storage and processing of various types of

products, including bulk, liquid and semi-liquid materials. The research indicates that the existing means do not fully satisfy the requirements for productivity and versatility, as they are metal- and energy-intensive and do not always meet the conditions of complex production tasks.

Special attention in the work is paid to promising designs of rodless spiral-screw conveyors, which have increased compactness, energy efficiency, and the ability to transport materials with different physical and chemical properties. The proposed research is based on experimental methods and modeling of the transportation process, which allows to evaluate the parameters and mode of operation of conveyors in different conditions. In addition, analytical expressions are provided for determining performance and calculating optimal parameters that improve planning accuracy and reduce costs.

Research results demonstrate the possibility of creating resource-saving technologies for transporting agricultural materials, which ensures increased efficiency in production processes. The proposed innovations are of great importance for the agricultural industry, as they contribute to the development of a modern material and technical base and increase the competitiveness of agricultural products.

Key words: analysis, spiral screw conveyor, transportation of agricultural products, rodless conveyor, bulk materials, liquid materials, energy efficiency, mechanization, resource-saving technologies, agricultural industry, research, productivity.

Відомості про авторів

Штуць Андрій Анатолійович - к.т.н. старший викладач кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: shtuts1989@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4242-2100>).

Григоренко Назар Вікторович - аспірант першого року навчання спеціальності «Галузеве машинобудування» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: 34grigorenko34@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-0694-5740>).

Колісник Микола Анатолійович - асистент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: kolisnik30@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5502-6556>).

Григоренко Олександр Вікторович - бакалавр четвертого року навчання зі спеціальності «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Вінницького національного аграрного. вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email olexgrvi@gmail.com.

Andrii Shtuts - Doctor of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnitsa National Agrarian University (3, Soniachna st., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: shtuts1989@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4242-2100>).

Nazar Hryhorenko -, postgraduate of the specialty "Industrial Mechanical Engineering" Vinnitsa National Agrarian University (3, Soniachna st., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: 34grigorenko34@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-0694-5740>).

Kolisnyk Mykola - Assistant Professor, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnitsa National Agrarian University (3, Solnechna str., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: kolisnik30@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5502-6556>).

Hryhorenko Olexandr - Student of the fourth year of study in the specialty «141 Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics» of Vinnytsia National Agrarian University (3 Soniachna Str., Vinnytsia, 21008, Ukraine, email: olexgrvi@gmail.com).