

Всеукраїнський конкурс на кращу студентську наукову роботу зі спеціальності 208 “Агроінженерія” 2019/2020 навчального року

Девіз: “Шнековий дозатор”

Тема роботи: “Обґрунтування конструктивних параметрів шнеково-пружинного туковисівного апарата ”

## АНОТАЦІЯ

наукової роботи під девізом «Шнековий дозатор»

Наукова робота: 32 сторінки, 22 рисунки, 3 таблиці, 36 джерел.

Дослідження, спрямовані на розробку технічних засобів для висіву туків, які забезпечать підвищення ефективності їх роботи мають народногосподарське значення і є актуальним науковим завданням.

Метою роботи є підвищення якості розподілення мінеральних добрив у рядку шляхом удосконалення технології роботи шнекового туковисівного апарата та обґрунтування його параметрів і режимів роботи.

Для досягнення поставленої мети було висунуто наукову гіпотезу, згідно з якою підвищення якості розподілення туків можна досягти шляхом дозування тукового потоку при введенні тарілчастого накопичувача.

Процес перевірки даної гіпотези передбачає вирішення наступних задач:

- дослідити причини створення пульсації потоку туків шнеком, які виводяться у лійку тукопровода;
- розробити методику та обладнання для якісної оцінки висіву туковисівним апаратом і в першу чергу для оцінки якості висіву у рядок;
- запропонувати конструктивні зміни для покращення рівномірності скиду шнековим дозатором туків у лійку тукопровода;
- провести дослідження з оцінкою якості показників розподілу туків у рядку.

*Туковисівний апарат, пульсація потоку, шнековий дозатор, тарілчастий накопичувач*

## Зміст

|   |    |
|---|----|
| Вступ.....  | 3  |
| 1. Стан питання, мета та задачі досліджень.....                         | 4  |
| 1.1. Вихідні вимоги до якості розподілу насіння по глибині.....         | 4  |
| 1.2. Шляхи удосконалення туковисівних апаратів .....                    | 7  |
| 2. Висновки, мета та задачі досліджень.....                             | 16 |
| 3. Теоретичні дослідження.....  | 17 |
| 3.1. Постановка задачі та основні передумови теоретичного аналізу.....  | 17 |
| 3.2. Оптимізація положення миттєвого центру обертання повідка сошника.. | 20 |
| 3.3. Висновки.....  | 23 |
| 4. Експериментальні дослідження.....                                    | 23 |
| 4.1. Програма і методика експериментальних досліджень.....              | 23 |
| 4.1.1. Вибір об'єкту досліджень.....                                    | 24 |
| 4.1.2. Програма досліджень, прилади та обладнання.....                  | 25 |
| 4.1.3. Опис експериментальної установки та принцип її роботи.....       | 26 |
| 4.1.4. Методика досліджень.....   | 27 |
| 4.2. Результати експериментальних досліджень.....                       | 28 |
| Висновки.....   | 31 |
| Список використаної літератури .....                                    | 33 |
| Додатки.....  | 37 |

## Вступ

Для забезпечення високих врожаїв просапних культур, все ширше застосовують локальне внесення мінеральних добрив підвищених норм одночасно із сівбою або окремо, а також використовують сухі й рідкі комплексні добрива при сівбі просапних культур. Все ширше застосовуватимуться раціональні способи поєднання операцій за один прохід посівного агрегату – передпосівний обробіток ґрунту, сівба насіння, внесення добрив і гербіцидів, коткування тощо.

Застосування мінеральних добрив в інтенсивних технологіях вирощування сільськогосподарських культур все гостріше стає питання підвищення їх ефективності. Це диктується як економічними міркуваннями, так і проблемами охорони навколишнього середовища від забруднення. Одна з ключових задач – збільшення коефіцієнта використання живильних речовин рослинами. У цьому плані роль технічних засобів полягає в тому, щоб точно донести добриво до рослини.

При збиранні врожаю вивозиться з полів безліч рослин, а разом з ними в ґрунті втрачається азот, фосфор, калій та інші елементи. І тільки невеличка частка їх повертається полю у вигляді гною і решток рослин (стерня, частки стебел та інше). Тому ці втрати необхідно відшкодувати, шляхом внесення добрив.

Усі добрива поділяють на мінеральні та органічні, а по стану їх речовини – на тверді та рідкі. Мінеральні добрива – продукт промислового походження. Їх виготовляють на хімічних заводах (азотні: аміачна, натрієва, кальцієва селітра, сульфати та ін.; фосфорні: суперфосфати, фосфоритне борошно, борошно з кісток та ін.; калійні: хлористий калій, калійна сіль, силвініт та ін.). Промислові добрива (туки) бувають у порошкоподібному або гранульованому вигляді з діаметром гранул 1...4 мм. Мінеральні добрива вносять у ґрунт в дозах 20...600 кг/га в залежності від способу внесення та потреби ґрунту. Органічні добрива – продукт місцевого виробництва, тобто

їх заготовляють безпосередньо в господарствах (гній, рідина гною, компости, зола) або добувають в розробках неподалік від господарства (торф, вапняні туфи та ін.).

Стан мінеральних добрив, а точніше їх фізико-механічні властивості в залежності від їх зберігання та транспортування мають ряд недоліків, особливо схильність їх до вологопоглинання. Зі зміною утримання вологи туками змінюється їх сипкість, тобто розсіюваність, що значно погіршує можливість їх використовувати різними висівними апаратами та вимагає встановлювати в туковисівні апарати додаткові деталі, які б покращували більш рівномірний висів туків. Для покращення якості туків застосовувалися різні накриття, щоб унеможливити доступ повітря, проте якість їх не покращувалася. З часом запропоновано було зберігання туків проводити в мішках, а також додатково зберігати в приміщеннях, що значно покращило якість туків і можливість проводити висів туків різними висівними апаратами.

Проте, при наявності високої якості туків нерівномірність їх висіву шнеково-пружинними висівними апаратами спостерігалася і надалі.

Таким чином, актуальною задачею є вирішення питання про покращення рівномірності висіву туків шнеково-пружинним висівним апаратом. Це зменшило б кількість висіву туків на погонний метр до мінімальної дози, яка необхідна для стартової схожості рослини.

Тому метою даної науково-дослідної роботи є модернізація шнеково-пружинного туковисівного апарату, з метою покращення рівномірності висіву туків.

## **1. Стан питання, мета та задачі досліджень**

### **1.1. Вихідні вимоги до рівномірності розподілу мінеральних добрив у рядку**

Застосування мінеральних добрив в інтенсивних технологіях обробітку сільськогосподарських культур все гостріше ставить питання підвищення їх

ефективності. Це диктується як економічними міркуваннями, так і проблемами охорони навколишнього середовища від забруднення. Одна з ключових задач – збільшення коефіцієнта використання живильних речовин рослинами. Це залежить, в першу чергу, від рівномірності внесення мінеральних добрив у ґрунт тому, що від нерівномірного внесення туків рослини одержують не однакове живлення, що суттєво впливає на урожайність. Наприклад, при внесенні 80 кг/га д. р. азотних добрив з нерівномірністю 40-60% недобір урожаю зерна озимої пшениці складає 4,5-5%, а з нерівномірністю 60-80% – 10-11% [21]. Або по даних, що наведені Овчинниковою Н.Г. і Глевацьким Б.А. [22] по залежностях внесення добрив (додаток А) свідчать, що навіть мінімально припустима нерівномірність в 10...15% викликає зниження врожайності і ефективності використання добрив [6]. Подібні результати досліджень отримують і інші країни. Так, дослідженнями, проведеними у США [36] встановлено, що зі збільшенням нерівномірності внесення добрив втрати врожайності сільськогосподарських культур зростають (таблиця 1.1). У цьому плані роль технічних засобів полягає в тому, щоб точно і своєчасно донести добриво до рослини.

Таблиця 1.1

Вплив нерівномірності розподілу добрив на врожайність оброблюваних культур

| Культура       | Урожайність, ц/га | Нерівномірність внесення добрив, % | Втрати |       |
|----------------|-------------------|------------------------------------|--------|-------|
|                |                   |                                    | %      | ц/га  |
| Озима пшениця  | 55                | 15                                 | 0,6    | 0,33  |
|                |                   | 30                                 | 2,3    | 1,27  |
|                |                   | 50                                 | 6,3    | 3,47  |
| Цукровий буряк | 490               | 15                                 | 0,9    | 4,41  |
|                |                   | 30                                 | 3,5    | 17,15 |
|                |                   | 50                                 | 10,5   | 51,45 |

Відзначимо, що при збиранні врожаю з полів вивозиться безліч рослин, а разом з ними в ґрунті втрачається азот, фосфор, калій та інші елементи. Так, при врожаї зерна пшениці 25...30 ц/га в ньому втримується в середньому не менш 90кг N, 30кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> та 60...75кг K<sub>2</sub>O [2] (або на 1ц урожаю

зерна виноситься 3,3кг азота, 1,0кг фосфора і 2,2кг калія [26, с.116-117]) і тільки незначна частка їх повертається полю у вигляді гною і залишок рослин (стерня, частки стебел та інше). Тому ці втрати необхідно відшкодувати шляхом грамотної системи внесення добрив, у тому числі і мінеральних.

Тому питання вивчення процесу висіву мінеральних добрив можна вважати актуальним.

Головним критерієм якості мінеральних добрив, як посівного матеріалу, що потребує рівномірного розподілу у борозні, є сипкість.

Сипкість будь-якого посівного матеріалу залежить переважно від форми часток, їх розмірів, властивостей поверхні та вологості, тобто від коефіцієнта внутрішнього тертя. Залежно від значення коефіцієнта внутрішнього тертя посівного матеріалу його поділяють на чотири групи сипкості: 1) посівний матеріал підвищеної сипкості, для якого коефіцієнт внутрішнього тертя  $f < 0,45$ ; 2) сипкий -  $f = 0,45 \dots 0,7$ ; 3) зниженої сипкості -  $f = 0,7 \dots 1,0$ ; 4) несипкий -  $f > 1,0$  [86].

Якщо ж звернутися до історичних етапів удосконалення якості мінеральних добрив, як посівного матеріалу, то спочатку якість мінеральних добрив була недостатньою для забезпечення рівномірного їх розподілу у борозні, тому що фосфорні добрива використовувалися у порошкоподібному стані, а селітри у кристалічному. Більш того, як правило, вони в такому стані доставлялися насипом до споживача. Тобто якість цих добрив, з точки зору сипкості, була низькою (зниженої сипкості та несипкі). У другій половині 20-го століття хімічна промисловість почала випускати затарений у мішки гранульований суперфосфат, а пізніше і до сьогодення випускає як гранульований суперфосфат, так і комплексні мінеральні добрива (нітрофоску, амофоску тощо) у гранульованому вигляді затарені в вологонепроникнені мішки. Мінеральні добрива перейшли у разряди підвищеної сипкості та сипкі.

Отже, з розвитком якості мінеральних добрив відбувалася і відповідна еволюція розвитку конструкцій висівних знарядь для них.

Більш того, прагнення вчених і практиків до підвищення якості використання мінеральних добрив привело до розробки і впровадження різних способів внесення мінеральних добрив (туків) у ґрунт [10, 12, 16, 20, 25]. Відзначимо, що в ґрунт добрива вносять до сівби (основне внесення), під час сівби (припосівне) і після сівби (підживлення) – різноманітними способами. Туковисівні апарати використовують в основному при припосівному способі та підживленні рослин, а саме:

- припосівним способом, коли одночасно висіваються мінеральні добрива і насіння у рядки. При цьому часто насіння (бульби) і добрива розділені невеликим прошарком ґрунту;

- підживлення рослин, коли мінеральні добрива під час вегетації рослин вносять в шар ґрунту де знаходиться їх коріння.

Для механізації такого внесення сухих мінеральних добрив в ґрунт використовують спеціальні дозатори, що були названі туковисівними апаратами, які встановлюють на комбінованих посівних, посадочних машинах та культиваторах-рослинопідживлювачах [3, 8, 9, 19, 23, 28, 29].

З вищезгаданого випливає два основних висновки:

- головною проблемою при використанні мінеральних добрив є їх стан. А при наявності високої якості туків всеж-таки спостерігається нерівномірність висіву їх шнеково-пружинними висівними апаратами.

- технічне рішення цієї задачі слід шукати через удосконалення внесення туків висівним апаратом. щоб зменшити кількість висіву туків на погонний метр до мінімальної дози, яка необхідна для стартової схожості рослини.

## **1.2. Шляхи удосконалення туковисівних апаратів**

Вивченням цих питань на різних етапах розвитку технології процесів роботи туковисівних апаратів займалися і займаються такі вчені як



В.В.Адамчук, В.І. Александров, І.Б. Баранов, П.М. Василенко, М.Л. Кругляков, С.І. Лісовенко, І.І. Моїсєєв, А.І. Мордухович, І.В. Павловський та ін.

Випробування і дослідження машин і апаратів для висіву різноманітних туків в процесі їх роботи, давали і дають можливість впливати на розвиток і удосконалення техніки внесення добрив. В результаті таких випробувань виявляються всілякі недоліки та переваги одного типу апаратів перед іншим, що дає можливість впроваджувати у виробництво найбільш прості та працездатні апарати. Останнім часом широкого поширення набули шнекові туковисівні апарати.

Питання використання шнекових механізмів, як елементів багатомодульних систем в комплексі технологічних процесів та систем машин для механізації різних галузей сільського господарства, розглянуті в роботах Ю.Б. Авансова, В.М. Булгакова, Б.М. Гевко, І.І. Евенка, П.М. Заїки, А.В. Литвиненка, М.К.Лінника, С.Г. Нагорняка, А.М.Панченка, Р.М. Рогатинського, Г.А. Хайліса та ін.

Проте, питання забезпечення необхідної якості дозування та розподілу мінеральних добрив у рядку залишилося за рамками вищезгаданих робіт, що і обумовило вибір напряму даних досліджень.

Проведений літературний огляд [3, 4, 5, 8, 15, 17, 18, 24, 30, 31, 32] показує, що у світі на протязі 19-го століття було створено різними фірмами велике різноманіття конструкцій туковисівних апаратів. На конструктивні особливості туковисівних апаратів впливали як види та якість мінеральних добрив, так способи внесення їх у ґрунт, а також намагання забезпечення якості і надійності роботи цих апаратів.

Тому для їх порівняння скористуємося класифікацією М.Л. Круглякова [13], яка поділяє апарати не за конструктивними особливостями, а за принципом технологічного процесу роботи (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Класифікація туковисівних апаратів за принципом технологічного процесу роботи

Наведемо приклади деяких конструкцій туковисівних апаратів, як представників визначених груп.

При розробці туковисівних апаратів, що працюють за принципом вільного витікання, туки розглядалися як матеріал, який має добру сипкість. Тому, проектуючи робочі органи цих апаратів, враховувалося добре витікання і просіваємість туків через спеціальні отвори і сита. До цієї групи апаратів можна віднести:

- клапанний туковисівний апарат (рис.1.2, *a*),
- апарати тарільчасто-скребачкового типу (апарат заводу "Чирчиксельмаш", апарат марки Т-2 болгарського виробництва, апарат сівалки "Milton" (Німеччина) та ін.).

Клапанний туковисівний апарат (рис. 1.2, *a*) призначений для висіву сухих гранульованих добрив. При обертанні кулачків 2, вони набігають на штовхачі, які, жорстко пов'язані з важелями конічних клапанів 4, періодично відкривають останні. При відкритті клапанів гранульовані добрива просіваються у воронки 5 і звідти по тукопроводам у сошники. Закриваються клапани автоматично, за допомогою поворотної пружини 3.

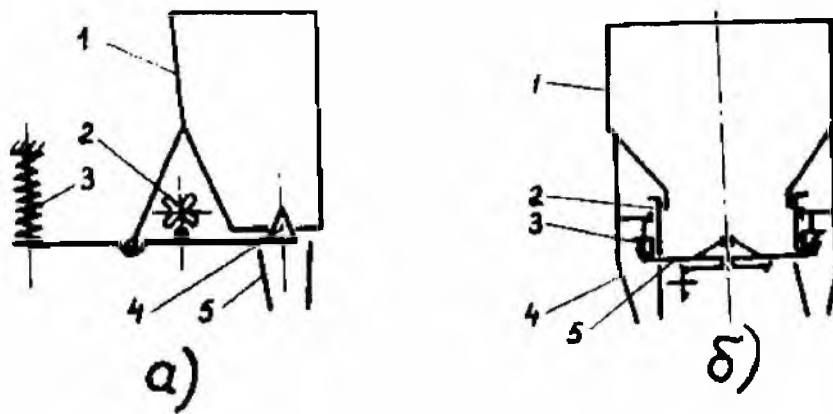


Рис. 1.2. Схеми апаратів: а) клапанний: 1 – бункер; 2 – кулачок; 3 – пружина; 4 – клапан; 5 – воронка; б) тарільчасто-скребачковий: 1 – бункер; 2 – циліндрова заслінка; 3 – скребачки; 4 – лійка; 5 – тарілка

Норма висіву регулюється подовженням або укороченням виступаючої частини штовхачів.

Принцип роботи тарільчасто-скребачкових туковисівних апаратів (рис.1.2, б) полягає у тому, що туки, висипаються з бункера через кільцеву щілину між тарілкою і нижнім краєм бункера, розміри якої регулюються заслінкою, при обертанні тарілки підводяться до нерухомих скребачків і, накопичуючись перед скребачками, пересипаються через край тарілки у лійки і тукопроводи.

До недоліків цих апаратів відносять те, що відбувається зменшення норми висіву у міру спорожнення бункера і пульсуюча подача при висіві малосипких добрив, унаслідок накопичення їх перед нерухомими скребачками і періодичного обсіпання зі скребачків.

Технологічний процес роботи у ротаційно-виштовхуючих туковисівних апаратів відбувається таким чином. У нижній частині бункера біля висівного вікна (рис. 1.3, б)) встановлюється ворушилка (лопатева, пальчаста, спіральна або ін., яка при своєму обертанні, виводить нижній шар туків із стану "спокою", створює нижньому шару туків деяку спрямованість і, тим самим, сприяє кращому витіканню туків з висівного вікна.

За своїм принципом дії ця група апаратів призначена для висіву тільки сухих, добре сипких і не здібних до збиття в грудки, туків. До цієї групи можна віднести туковисівні апарати сівалок: "Викторія" (Росія), "Rinker", "Claas" (Німеччина), "Kokshut" (США), пристосування для висіву гранульованих добрив Кличнікова (рис.1.3, в) та ін.

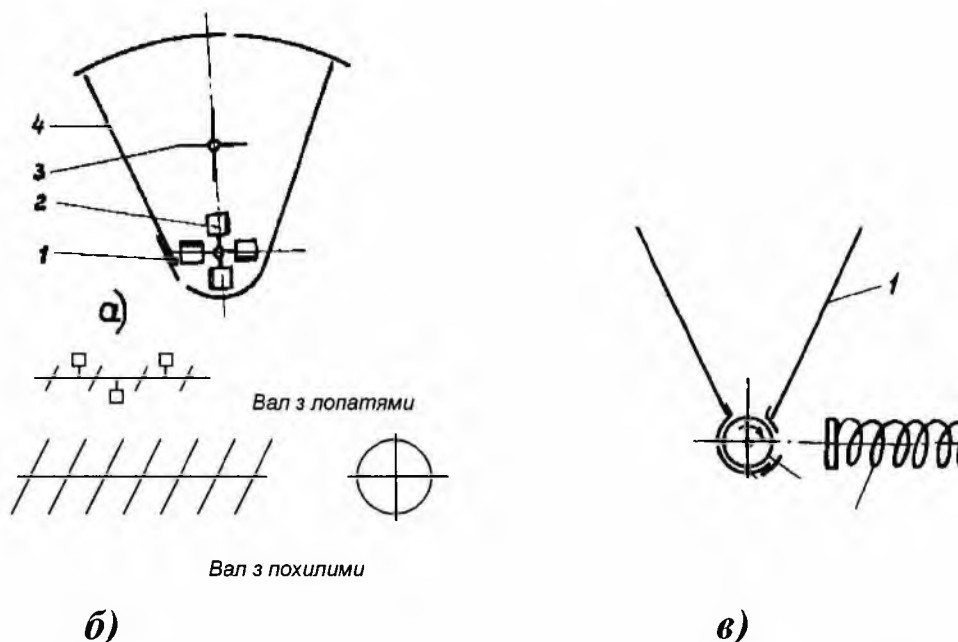


Рис. 1.3. Схема: а), б) апарата сівалки "Викторія": 1 – заслінка; 2 – висіваючий вал; 3 – ворушилка; 4 – бункер; в) пристосування до сівалок для висіву гранульованих добрив: 1 – бункер; 2 – спіраль; 3 – розподільча коробка

Перевага цих апаратів – простота конструкції і мала вага. Проте, основні недоліки їх – замащування висівного отвору, всієї нижньої частини бункера і залипання робочих органів при висіві добрив малосипких і схильних до переходу в пластичний стан (суперфосфат). Також недоліком апарата "Kokshut" є самовитік гранульованих добрив, у апараті "Викторія" (рис. 1.3) – значна зміна норм висіву при нахилах і великий невисіяний залишок добрив.

Туковисівні апарати, що працюють за принципом фрезерування, своїми робочими органами (планчастим барабаном, диском з крильчаткою та ін.)

знімають (фрезерують) верхній шар туків в бункері, дно якого в процесі роботи переміщається вгору разом з туками.

Даний вид апаратів придатний для висіву як сухих туків, так і туків підвищеної вологості.

Основними представниками цієї групи є туковисівні апарати типу "Schleera" (Німеччина) (рис. 1.4, а) і конструкції Слуцького (рис. 1.4, б). Проте, одним з недоліків цих апаратів є те, що під час роботи підіймається вся маса туків, що знаходиться в бункері і, тим самим, туки сильно ущільнюються за рахунок їх тертя по нерухомій стінці бункера, тому норма висіву і якість висіву цими апаратами змінюються, у міру спорожнення бункера. Одним з недоліків таких апаратів є також складність конструкції.

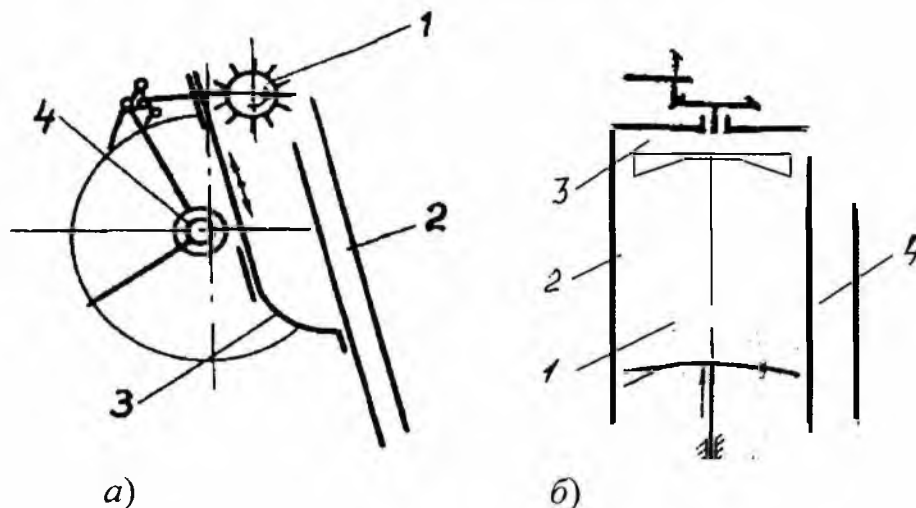


Рис. 1.4. Схема апарата: а) типу "Schleera": 1 – планчастий барабан; 2 – тукопровід; 3 – рухомий туковий ящик; 4 – механізм приводу; б) конструкції Слуцького: 1 – рухоме дно; 2 – бункер; 3 – диск з крильчаткою (16 лопатей); 4 – лійка

Принцип дії туковисівних апаратів вигрібаючої дії полягає у тому, що вони своїми робочими органами вигрібають нижній шар туків з бункера.

До цієї групи можна віднести апарати з такими робочими органами:

- штифтовим барабанчиком (рис. 1.5, а),

- диском з пальцями (зірочкою), який буває з прямолінійними пальцями (апарат "McCormick-Deering" (США) (рис. 1.5, б) та апарат тукової сівалки

"Imperial" (США) (рис. 1.5, в)) і з криволінійними пальцями (експериментальні апарати АТП-2 та АТЗ-2 (рис. 1.6, а, б)).

Туковисівні апарати "Westfalen PickaloВестфалія-Піккало" (США), сівалки "Hodega" (США), "Mc Cormick-Deering" (рис. 1.5, б) і "Imperial" (рис. 1.5, в) призначені для висіву сухих, сипких туків.

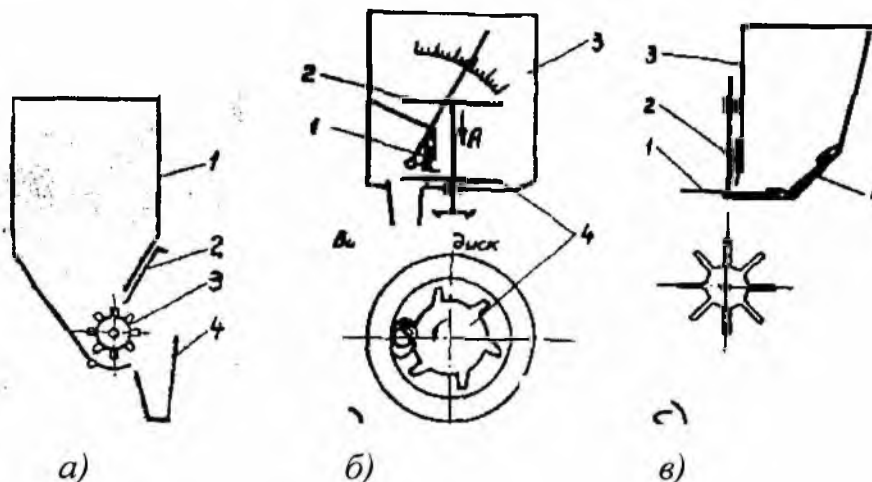


Рис. 1.5. Схема: а) котушкового штифтового апарата: 1 – бункер; 2 – заслінка; 3 – штифтовий барабан; 4 – лійка; б) зірчастого апарата: сівалки "Mc Cormick-Deering": 1 – заслінка; 2 – ворушилка; 3 – бункер; 4 – зірчастий диск; в) сівалки "Imperial": 1 – зірчастий диск; 2 – заслінка; 3 – бункер; 4 – ворушильний лист

Котушково-штифтовий апарат (рис. 1.5, а) призначений для висіву сухих гранульованих добрив. Цей апарат забезпечує досить високу рівномірність і стійкість висіву, і застосовується в основному на рядових зернотукових сівалках. Але на малих частотах обертання котушки рівномірність погіршується. Більш того, норма висіву цим апаратом регулюється ступінчасто, зміною передаточного числа у механізмі привода.

Апарати АТП-2 (рис. 1.6, а) та АТЗ-2 (рис. 1.6, б) призначені для висіву як сухих туків, так і підвищеної вологості. Хоча ці апарати своїми робочими органами (диск з криволінійними пальцями) і здатні висівати туки підвищеної вологості, проте вони мають суттєві недоліки, завдяки яким не здобули широкого поширення. Один з таких недоліків – значно збільшені

охоплюючі лійки для збирання туків у два тукопроводи, які вигрібаються пальцями диска крізь кільцеву щілину бункера.

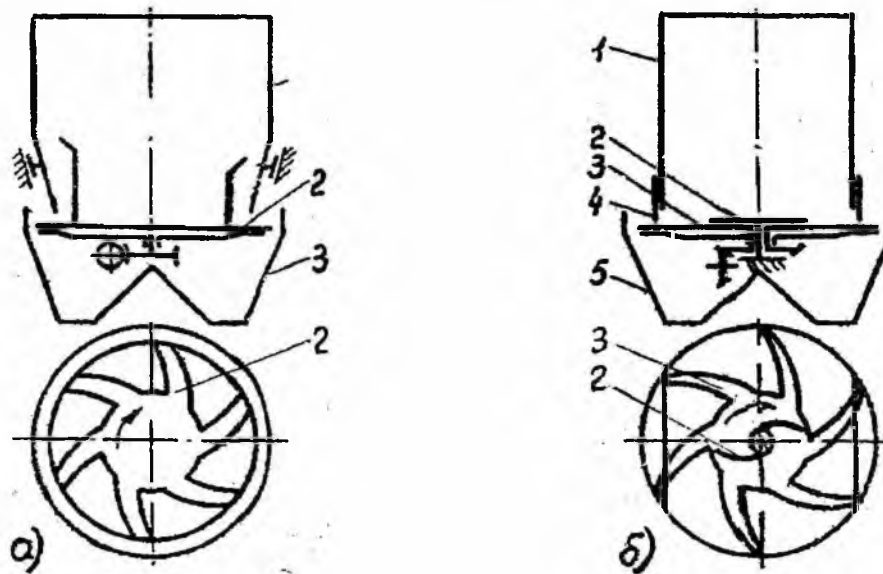


Рис. 1.6. Схема пальчастого апарата: а) АТП-2: 1 – бункер; 2 – пальчастий диск; 3 – лійка; б) АТЗ-2: 1 – бункер; 2 – відбивач; 3 – пальчастий диск; 4 – заслінка; 5 – лійка

До туковисівних апаратів, що працюють за принципом вільного винесення туків з бункера, відноситься найбільша кількість туковисівних апаратів, які знаходили широке застосування на комбінованих сівалках. Вони прості за конструкцією, зручні в обслуговуванні, мають малу вагу.

М.Л. Кругляков [14] на підставі широких досліджень туковисівних апаратів різних груп зробив такі висновки:

1. Тарільчасті туковисівні апарати придатні для висіву гранульованих туків.
2. Ротаційно-виштовхуючі апарати працюють значно гірше за апарати всіх інших груп.
3. Апарати фрезеруючої дії є перспективними, необхідно шукати нові схеми апаратів цієї групи.
4. Апарати вигрібаючої дії є більш універсальними в порівнянні з апаратами всіх інших груп.

Тому було рекомендовано ставити апарати вигрібаючої дії і на комбіновані сівалки.

За останні роки хімічною промисловістю було освоєне виробництво гранульованих добрив, які мають добру сипкість при вологості не вище за заводську. Це дозволило створювати простіші за конструкцією апарати для висіву цих туків.

У подальшому на закордонних сівалках з'явилися простіші по конструкції і з більшим об'ємом бункерів шнеково-пружинні апарати для висіву сухих гранульованих добрив, то і на вітчизняних почали використовувати такі апарати (рис. 1.7).

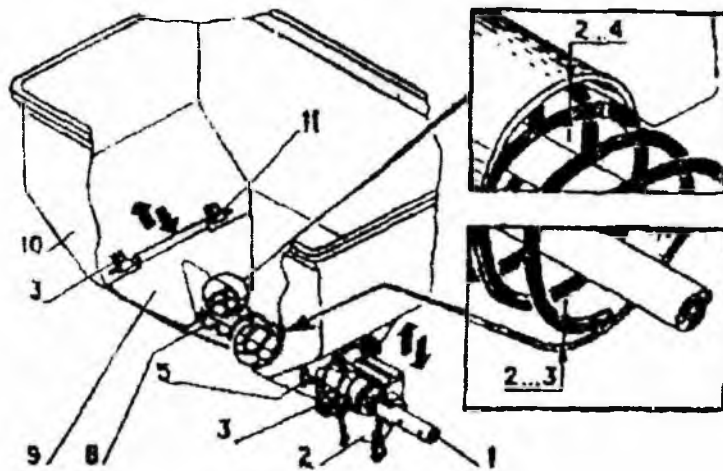


Рис. 1.7. Шнеково-пружинний туковисівний апарат АТП-2: 1 – вал; 2 – лійка; 3, 5 – болти; 8 – дровий шнек; 9 – козирок; 10 – бункер; 11 – шарнір

Технологічний процес такого апарата дуже простий. Оскільки до валу закріплено дві гілки дрового шнека, з правою та лівою навивкою, то при обертанні валу з дровими шнеками, туки дровою навивкою виводяться з бункера у різні боки (до лівих та правих лійок).

Основними недоліками таких апаратів є те, що норма висіву регулюється ступінчасто за рахунок зміни передаточного відношення у механізмі приводу та відбувається пульсуючий висів. Проте, ми прийшли до висновку, що саме удосконаленням шнеково-пружинного туковисівного апарата можна зменшити нерівномірність висіву туків. Більш того, такий



апарат дозволяє зменшити висоту установки їх на машині і дає резерви по збільшенню об'єма бункера.

Тому задача полягає у виборі та обґрунтуванні напрямку модернізації конструкції шнеково-пружинного туковисівного апарата, яка б поєднувала в собі простоту форми і виготовлення деталей для модернізації, була б надійна в експлуатації і підвищила якість висіву туків.

## **2. Висновки, мета та задачі досліджень**

Проведений аналіз результатів дослідження туковисівних апаратів визначив напрям пошуку оптимального рішення по забезпеченню якості дозуючої здатності апарата та рівномірного розподілення мінеральних добрив у борозні згідно з агротехнічними вимогами, а саме модернізації конструкції шнеково-пружинного туковисівного апарата, яка б поєднувала в собі простоту форми і виготовлення деталей для модернізації, була б надійна в експлуатації і підвищила якість висіву туків.

Метою роботи є підвищення якості розподілення мінеральних добрив у рядку шляхом удосконалення технології роботи шнекового туковисівного апарата та обґрунтування його параметрів і режимів роботи.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі досліджень:

- дослідити причини створення пульсації потоку туків шнеком, які виводяться у лійку тукопровода;
- розробити методику та обладнання для якісної оцінки висіву туковисівним апаратом і в першу чергу для оцінки якості висіву у рядок;
- запропонувати конструктивні зміни для покращення рівномірності скиду туків у лійку тукопровода;
- провести дослідження з оцінкою якості показників розподілу насіння у рядку.

### 3. Теоретичні дослідження

#### 3.1. Постановка задачі та основні передумови теоретичного аналізу

Оскільки в конструкції шнекового туковисівного апарата його головним елементом є горизонтальний шнек, що обертається, то виникає необхідність вивчення технологічного процесу роботи його у якості дозатора апарата.

Як відомо шнеки призначені для рівномірної подачі матеріала та спокійного руху його по жолобу. Шнеки бувають закриті та відкриті. Під час руху матеріала по шнеку він утримується від обертання разом з гвинтом шнека силою його ваги, силою тертя та відцентровими силами.

Існують швидкісні та тихохідні шнеки. До тихохідних відносять шнеки, у яких колова швидкість крайки гвинта не більше 0,8 м/с. Тому такі шнеки можуть мати зовнішній кожух у вигляді жолоба, який відкритий зверху, тобто у тихохідних шнеках можна застосовувати відкриті кожухи (рис. 3.1) [13, 33].

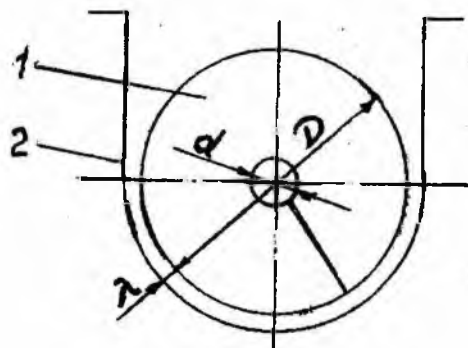


Рис. 3.1. Схема відкритого шнека: 1 – гвинт; 2 – кожух

Тихохідні шнеки використовують для переміщення матеріалу горизонтально, або під невеликим нахилом до горизонту (до  $20^{\circ}$ ).

Згідно літературних джерел, доведено, що радіальний зазор між крайкою гвинта шнека та кожухом, щоб запобігти подрібненню матеріалу, що переміщується, та зменшити потужність на привід гвинта шнека, має бути: для зерна  $\lambda=8\dots 10\text{мм}$ , для туків  $\lambda=5\dots 8\text{мм}$  [33].

Шнекові туковисівні апарати відносяться до тихохідних, тому що колова швидкість крайки гвинта апарата не перевищує 0,4м/с.

Крок шнеків пропонують вибирати із співвідношення  $S=(0,6...0,8)D$ . Для добре сипкого матеріалу крок  $S$  може бути менше за  $0,6D$  [33].

Як впливає з літературних джерел [7, 11, 13, 27, 34, 35], вченими зосереджувалася увага, в основному, на обґрунтування та розрахунки продуктивності шнеків і визначення потужності на привід гвинтів шнеків при різноманітних їх геометричних та кінематичних параметрів. Так, продуктивність горизонтального шнека за один оберт гвинта пропонують визначати по формулі:

$$q_u = \frac{\pi[(D + 2\lambda)^2 - d^2]}{4} S \cdot \varepsilon \cdot \gamma, \quad (3.1)$$

де  $\gamma$  – об’ємна вага матеріалу;

$D$  – зовній діаметр шнека;

$d$  – діаметр вала шнека;

$S$  – крок шнека;

$\lambda$  – радіальний зазор між кожухом шнека і крайкою гвинта шнека;

$\varepsilon$  – коефіцієнт заповнення матеріалом простору у кожуху між суміжними стрічками гвинта під час його обертання (наприклад, для зерна  $\varepsilon=0,25...0,48$  [13]).

Величину коефіцієнту заповнення  $\varepsilon$  пояснюють тим, що гвинт шнека, що обертається, розвертає матеріал (за рахунок сил тертя) у бік напрямку обертання гвинта (рис. 3.2) і переміщує його уздовж жолоба до розвантажувального патрубка.

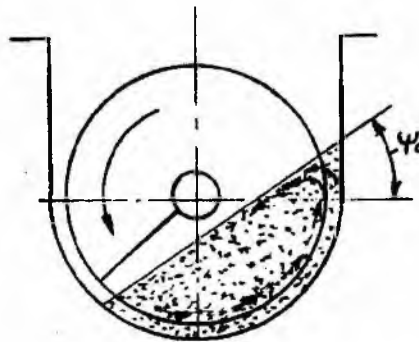


Рис. 3.2. Характер транспортування матеріалу шнеком

Причому, при збільшенні кута підймання матеріалу по жолобу, він обрушується і залишається похила поверхня матеріалу, який рухає перед собою стрічка гвинта. Вважають [13], що кут обрушення у тихохідних шнеках не перевищує кута природнього укосу  $\xi$  матеріалу:

$$\psi_0 \leq 0,7\xi, \quad (3.2)$$

де  $\xi$  – кут природнього укосу в спокої;

$\psi_0$  – кут обрушення матеріалу у русі при спокійному режимі роботи шнека.

Як впливає з літературних джерел [1, 11], при оцінці роботи шнеків, відзначали про рівномірність подачі матеріалу шнеками (рівна кількість матеріалу за один або декілька обертів шнека, чи за певний час його роботи), але недостатньо проаналізовано характер руху матеріалу у шнеку та зовсім не досліджувалося питання рівномірності скиду (виходу) матеріалу у розвантажувальний патрубок.

Тому, оскільки у шнекового туковисівного апарата (рис. 3.3) застосовується тихохідний відкритий шнек, об'єктом дослідження вибираємо технологічний процес роботи шнека як дозатора та розподільчого механізму посівного матеріалу у рядок.

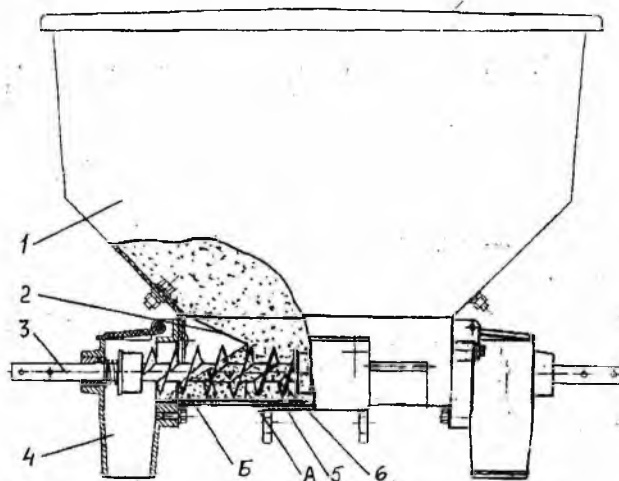


Рис. 3.3. Шнековий туковисівний апарат: 1 – бункер; 2 – козирок; 3 – вал; 4 – лійка; 5 – корпус; 6 – гвинт; А – дозуючий отвір; Б – зона транспортування туків гвинтом до лійки

Слід відзначити, що останні роки на вітчизняних просапних сівалках почали використовувати шнекові туковисівні апарати, в яких шнек використовується у вигляді навитої з дроту пружини. Такі апарати працюють за принципом вигрібання туків у висівні вікна витками шнеку або витками дроту, які зсовують шар туків, що лежить на днищі бункера до його краю і далі у лійки тукопроводів.

Основними технологічними параметрами шнекового туковисівного апарата з шнеком у вигляді навитої пружини (рис. 3.4) є діаметр  $d_u$  витків дроту, крок  $S$  витків, діаметр  $d_0$  дозуючого отвору, величина  $l$  відкритої частини шнека, довжина  $l_0$  транспортуючої частини шнека.

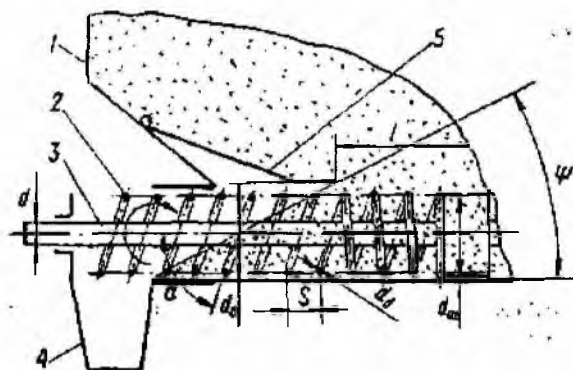


Рис. 3.4. Схема роботи шнеково-пружинного туковисівного апарата

АТП-2: 1 – бункер; 2 – шнек; 3 – вал; 4 – лійка; 5 – козирок

Діаметр витків дроту визначають за формулою [29]

$$d_u > d + 2d_d + 4d_r, \quad (3.3)$$

де  $d$  – діаметр валу шнека (вибирають конструктивно);

$d_d$  – діаметр дроту (вибирають конструктивно);

$d_r$  – максимальний діаметр гранули туку.

Мінімальний крок витків шнека  $S > d_d + 2d_r$ , щоб уникнути заклинювання гранул між дротинками.

Основна умова забезпечення стійкого осьового зміщення туків витками по днищу бункера:

$$\alpha_0 > \varphi, \quad (3.4)$$

в свою чергу

$$\alpha_0 = 90^\circ - \arctg(S / \pi d_u), \quad (3.5)$$

де  $\alpha_0$  – кут нахилу витка дроту до напрямку осьового руху;

$\varphi$  – кут тертя туків об поверхню дроту.

Довжина транспортуючої частини шнека

$$l_0 = S \cdot n_1 > d_0 / \operatorname{tg} \psi_n, \quad (3.6)$$

де  $n_1$  – необхідна кількість витків шнека в зони транспортування туків від дозуючого отвору до лійки;

$\psi_n$  – кут перекриття ( $\psi_n = \xi - \alpha_c$ );

$\xi$  – кут природного відкосу туків;

$\alpha_c$  – можливий максимальний боковий нахил сівалки.

Величину  $l$  вибирають з умов вільного витікання туків із бункера в приймальну зону шнека.

Форма та висота бункера шнекового туковисівного апарата взаємопов'язані, оскільки в основному тільки за рахунок розмірів площі торця бункера ( $a$  - ширини  $\times$   $h$  - висоти), можна знаходити необхідний його об'єм. При цьому довжина бункера, як це наведено вище, лімітується величиною міжряддя.

На основі наведеного вище аналізу руху туків гвинтом шнека можливо уявити і процес скиду його у лійку тукопроводу. Так, розглядаючи, наприклад, будь-які послідовні три положення стрічки гвинта біля крайки розвантажувального вікна кожуха над тукопроводом бачимо, що кількість скиду туків у розвантажувальне вікно за один оберт гвинта шнека різна. При відкритті проміжку між суміжними стрічками гвинта над розвантажувальним вікном, спочатку відбувається максимальний скид матеріалу, а в кінці руху цього проміжку відбувається скидання тільки активного шару (рис. 3.5: положення В), якщо є необхідний технологічний проміжок  $\lambda$  між крайкою гвинта шнека та кожухом (рис. 3.1).

При заміні суцільної стрічки гвинта на стрічку з дроту, для можливості висіву туків підвищеної вологості (наприклад, суміші суперфосфату з аміачною селітрою) без залипання стрічки гвинта, характер скиду матеріалу у розвантажувальне вікно залишається пульсуючим (рис. 3.6).

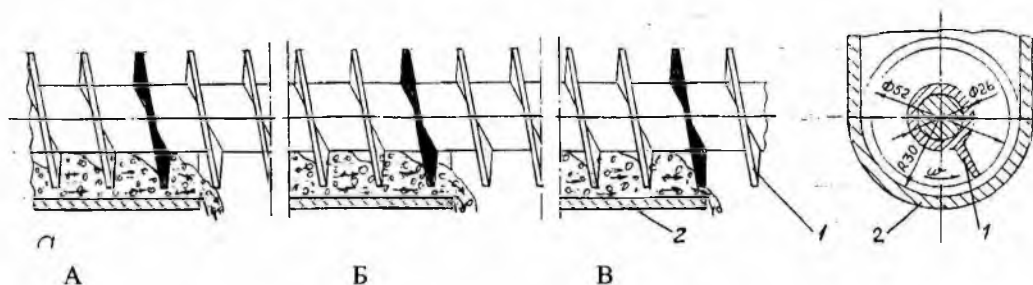


Рис. 3.5. Схема характеру скиду туків гвинтом шнека у лійку тукопроводу туковисівним апаратом фірми "John Deere": 1 – гвинт; 2 – кожух шнека

Можливо можна дещо зменшити пульсацію матеріалу, що скидається у розвантажувальне вікно, за рахунок зміни кроку гвинта та діаметра дроту стрічки гвинта при умові, що кут нахилу  $\alpha_p$  гвинта буде відповідати умові  $\alpha_p < 90^\circ - \varphi$ , а мінімальний крок гвинта шнека та внутрішній зазор між валом і дротом гвинта не повинен бути меншим двох максимальних діаметрів гранул, щоб уникнути їх заклинювання і порушення процесу вільного обтікання дроту матеріалом під час роботи апарата.

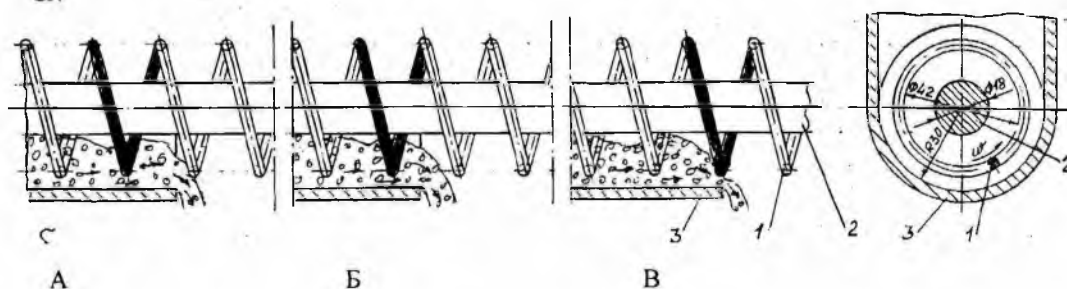


Рис. 3.6. Схема характеру скиду туків гвинтом шнека, стрічкою якої є дріт, у лійку тукопроводу туковисівним апаратом АТП-2 "Червоної зірки":

1 – стрічка гвинта з дроту; 2 – вал; 3 – кожух шнека

Як показує наведений аналіз роботи шнеків, уникнути пульсуючого характеру скиду туків у лійку тукопроводу, а значить і нерівномірного їх

розподілу уздовж борозни, за рахунок будови та геометричних параметрів гвинтів шнеків, не має можливості. Але при відповідному виборі кроку та діаметру дроту стрічки гвинта можна тільки дещо «згладити» цю пульсацію. Експериментальним шляхом необхідно визначити як все це вплине на якість розподілення туків у здовж рядка.

З наведеного огляду досліджень туковисівних апаратів випливає, що історичний розвиток конструкцій цих апаратів залежав від підвищення якості мінеральних добрив, способів внесення добрив у ґрунт, технічних і експлуатаційних вимог часу. Проте, в теорії і практиці до кінця не вирішено питання дозуючорозподільчих елементів апаратів.

### **3.3. Висновки**

В результаті проведених теоретичних досліджень параметрів шнекового туковисівного апарата можна зробити наступні висновки:

1. Незалежно від форми гвинтової стрічки шнека характер транспортування туків у кожуху є однаковим, сталим і безперервним, що гарантує хорошу дозуючу здатність апарата, тобто однакову кількість висіву туків за кожний оберт шнека.

2. Поскільки характер зсуву туків по кожуху стрічкою шнека є таким, що туки заповнюють міжстрічковий простір шнека нерівномірно, то скидатися вони будуть у розвантажувальне вікно нерівномірно за кожний оберт шнека.

3. Форма стрічки гвинта шнека і розміри міжстрічкового простору впливають на характер скиду туків у розвантажувальне вікно, а стрічка з дроту дає можливість дещо покращувати рівномірність скиду туків у розвантажувальне вікно.

## **4. Експериментальні дослідження**

### **4.1. Програма і методика експериментальних досліджень**

Для вирішення питань, намічених відповідно до цілей і задач досліджень розроблені програма і методика дослідження туковисівних апаратів.



У програму дослідження включено наступне основне питання: дослідження процесу роботи туковисівних апаратів - дослідження апарата АТП-2 при зміні параметрів спіралі (діаметр дроту, крок гвинта).

Метою дослідження туковисівних апаратів був пошук раціонального рішення по оцінці дозуючої здатності апарата та рівномірного розподілу мінеральних добрив у борозні згідно з агротехнічними вимогами.

#### 4.1.1. Вибір об'єкту досліджень

Об'єктом досліджень виступав нерівномірний висів добрив. Предметом були дослідницькі установки.

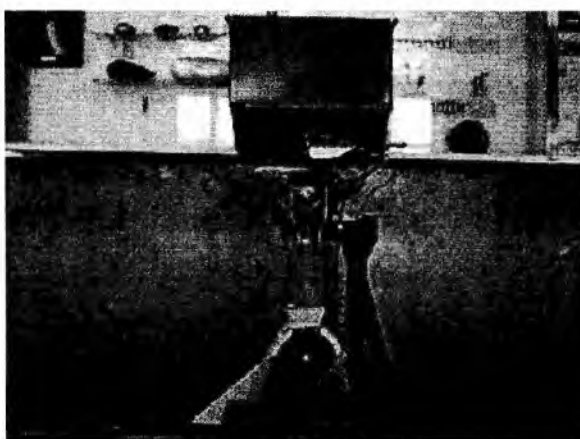


Рис. 4.1 Туковисівний апарат

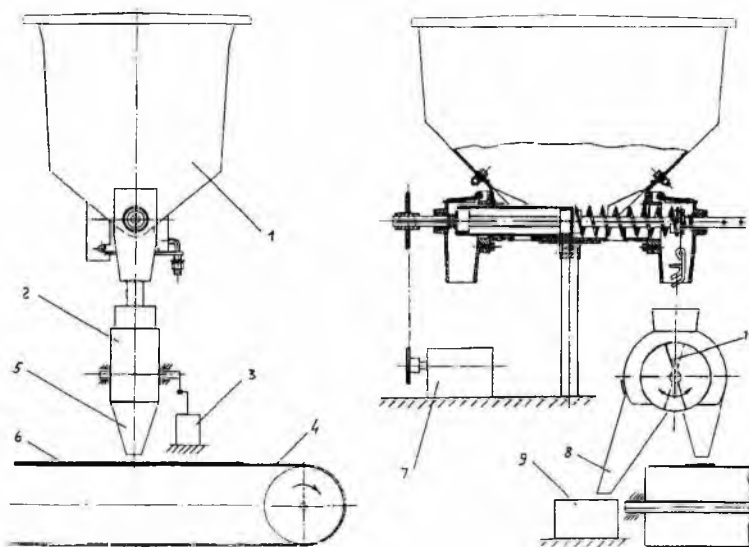


Рис. 4.2. Схема експериментальної установки для дослідження роботи висівних апаратів: 1 – туковисівний апарат; 2 – пробовідбірник; 3 – соленоїд; 4 – транспортер; 5 – лійка; 6 – стрічка (скоч); 7 – електродвигун; 8 – лійка; 9 – ємність; 10 – крилач

Було проведено досліди із змінами діаметра дроту шнеку. Шнеки з діаметру дроту 4 мм, та кроками 18, 24, 30, 40 мм.

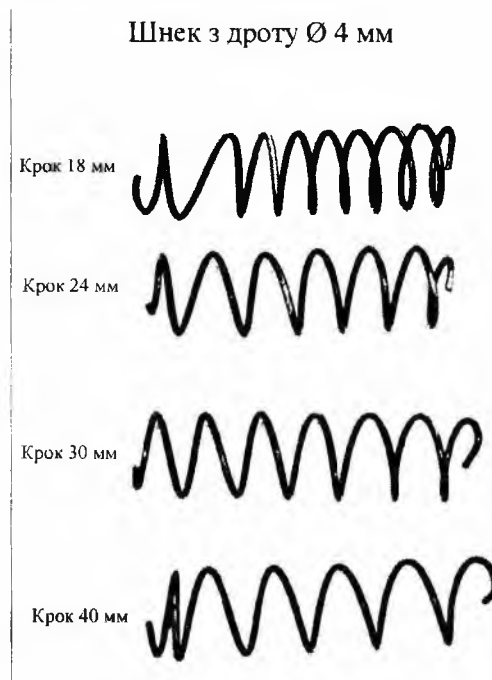


Рис. 4.3. Шнеки

Проведення досліджень по визначенню рівномірного розподілу туків в рядку здійснювалось за допомогою транспортера, на поверхні якого закріплюється скоч. Особливістю досліду є те, що за допомогою пробовідбірника на рухомий транспортер зі скочем висіваються туки за один оберт шнека. Висіяні туки прилипають до клейкої поверхні скоча. Після зупинки стрічки скоч з прилиплими туками знімається і розрізується по довжині на десятисантиметрові шматочки, які послідовно зважуються на електронних вагах з точністю 0,1 г. Досліди проводяться з трикратною повторністю з урахуванням впливу частоти обертання шнека та швидкості транспортера.

#### **4.1.2. Програма досліджень, прилади та обладнання**

Для вирішення питань, намічених відповідно до цілей і задач досліджень розроблені програма і методика дослідження туковисівних апаратів.

У програму дослідження включено наступне основне питання: дослідження процесу роботи туковисівних апаратів – дослідження апарата

АТП-2 при зміні параметрів спіралі (діаметр дроту, крок гвинта).

Метою дослідження туковисівних апаратів був пошук раціонального рішення по оцінці дозуючої здатності апарата та рівномірного розподілу мінеральних добрив у борозні згідно з агротехнічними вимогами.

#### 4.1.3. Опис експериментальної установки та принцип її роботи

Для проведення експериментальних досліджень, через відсутність стандартного устаткування, були розроблені оригінальні установки, що забезпечують високу точність отримання дослідних даних

Для проведення порівняльних випробувань апаратів та дослідження апарата АТП-2 планується створення лабораторної установки, схема якої представлена на рис. 4.4. Вона складається з туковисівного апарата, вал якого обертається від електродвигуна постійного струму за допомогою ланцюгової передачі, плити з електромагнітним пробовідбірником 1, транспортера 2 з липкою стрічкою (скотч).

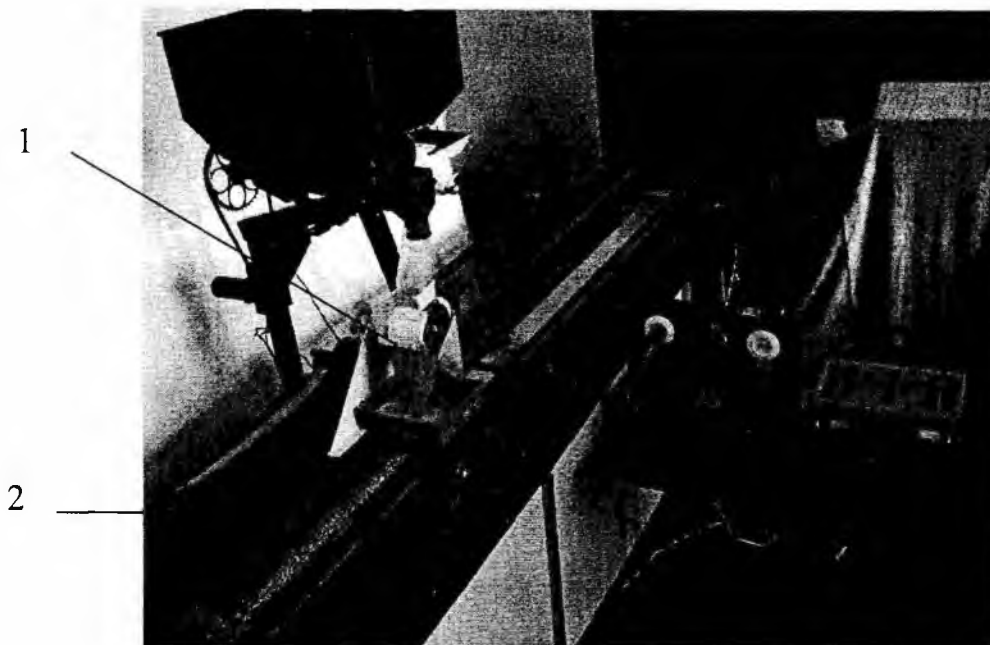


Рис. 4.4. Загальний вигляд експериментальної установки

Включення установки здійснюється на пульті керування, який забезпечує розгін і перехід робочих органів на встановлений режим роботи та живлення електромагніта пробовідбірника за термін встановленої

кількості обертів вала апарата. Основними елементами пульта керування є: крокопощувач, електромагнітне реле, перемикачі режиму роботи.

При визначенні дозуючої здатності та рівномірності розподілу туків в рядку на установці встановлена плита з електромагнітним пробовідбірником, що дозволяє отримувати точні проби з 5 зарахованих обертів вала при встановленому режимі роботи.

Висіяний матеріал із контрольних ємностей зважується на електронних вагах з точністю до 0,1 грама. Досліди проводяться з п'ятикратною повторністю.

Нерівномірність і нестійкість висіву туків апаратами визначається згідно нормативних документів.

За критерій нестійкості висіву приймається середнє значення відхилення, розраховане у відсотках, до середньоарифметичної ваги туків, що висіваються апаратом за один оберт шнека.

Проведення досліджень по визначенню рівномірного розподілу туків в рядку здійснюється за допомогою транспортера, на поверхні якого закріплюється скотч.

Особливістю досліду є те, що за допомогою пробовідбірника на рухомий транспортер зі скочем висіваються туки за один оберт шнека. Висіяні туки прилипають до клейкої поверхні скоча. Після зупинки стрічки скоч з прилиплими туками знімається і розрізується по довжині на десятисантиметрові шматочки, які послідовно зважуються на електронних вагах з точністю 0,1 г. Досліди проводяться з трикратною повторністю з урахуванням впливу частоти обертання шнека та швидкості транспортера.

#### **4.1.4. Методика досліджень**

Визначення рівномірної дозуючої здатності висівного апарата здійснюється за 5 повних оборотів вала, за допомогою електромагнітного пробовідбірника в п'ятикратній повторності кожного досліду. При цьому

встановлюється вплив на рівномірність висіву конструктивних та кінематичних параметрів апарата:

- діаметр дроту спіралі шнеку 4 мм;
- крок гвинта спіралі з вибраним діаметром;
- тарілчастий накопичувач різної форми (конусності);
- параметри проміжного дозатора.

Подальше завдання полягає в пошуку раціональної комбінації факторів, які суттєво впливають на рівномірність висіву туків по площині поля.

#### 4.2. Результати експериментальних досліджень

Було запропоновано сконструювати новий туковисівний апарат, який би усував такі недоліки попереднього зразка. Особливість якого полягає в тому, що для усунення пульсуючого висіву туків встановлені були на торцях шнеків на валу тарілчасті накопичувачі – скидачі, які накопичували дозу туків за один оберт шнеку і поступово та рівномірніше скидували їх у лійки тукопроводів.

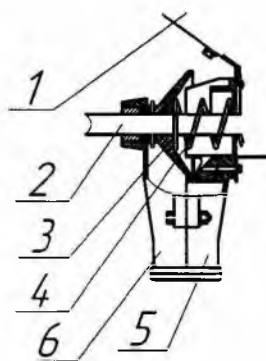


Рис. 4.5. Шнеково-пружинний висівний апарат: 1 – бункер; 2 – вал; 3 – тарілочка; 4 – дротовий шнек; 5 – торцева частина лійки; 6 – передня частина лійки

Використовуючи нову конструкцію шнеково – пружинного висівного апарата досягнемо покращення рівномірності внесення туків.

Було проведено досліди із змінами діаметра дроту шнеку. Шнека з діаметром дроту 4 мм та кроками 18, 24, 30, 40 мм.

Проведення досліджень по визначенню рівномірного розподілу туків в рядку здійснювалось за допомогою транспортера, на поверхні якого закріплюється скоч. Особливістю досліду є те, що за допомогою пробовідбірника на рухомий транспортер зі скочем висіваються туки за один оберт шнека. Висіяні туки прилипають до клейкої поверхні скоча. Після зупинки стрічки скоч з прилиплими туками знімається і розрізується по довжині на десятисантиметрові шматочки, які послідовно зважуються на електронних вагах з точністю 0,1 г. Досліди проводяться з трикратною повторністю з урахуванням впливу частоти обертання шнека та швидкості транспортера.

#### 4.2.1. Результати експериментальних досліджень шнека

За результатами досліджень приведених в таблиці 1 додатків та рис. 4.6 вибрано оптимальний варіант, а саме діаметр дроту 4 мм, крок гвинта 24 мм.

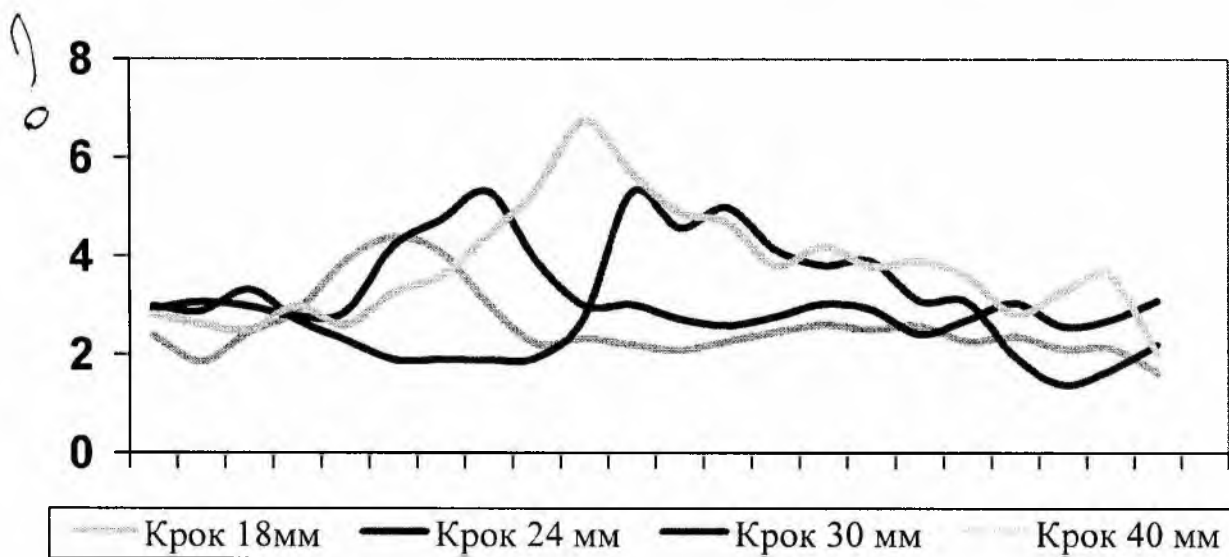


Рис. 4.6. Графік висіву туків на липку стрічку

Для доведення нерівномірності висіву було виготовлено дослідницьку установку, дія якої аналогічна до дії шнека. Для наглядності дії установки в ній було зроблено скляну стінку, рейку яка під час руху вказує на рух пружинно-шнекового апарата.

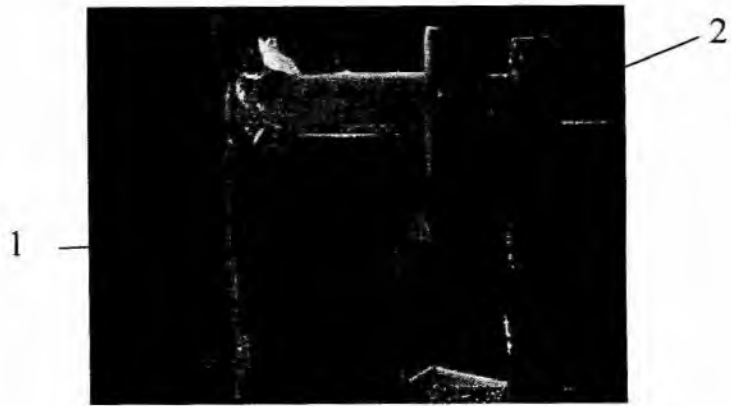


Рис. 4.7. Спрощена експериментальна установка: 1 – потік туків; 2 – тарілчастий накопичувач

З цього фото ми бачимо, що потік туків є однаковий. Це вказує на правильність прийнятого рішення в зміні конструкції.

Особливістю нововведення є утворення ніші для заповнення туками. Додаткові деталі це тарілочка та козирок. Робота нової установки полягає в тому, що тарілочка вичерпує туки з постійного об'єму. Тим самим вирівнює потік та зменшує пульсацію.

Для проведення дослідів на липкій стрічці було виготовлено деталі, що відповідають першому зразку та встановлено на головну установку (рис. 4.8).

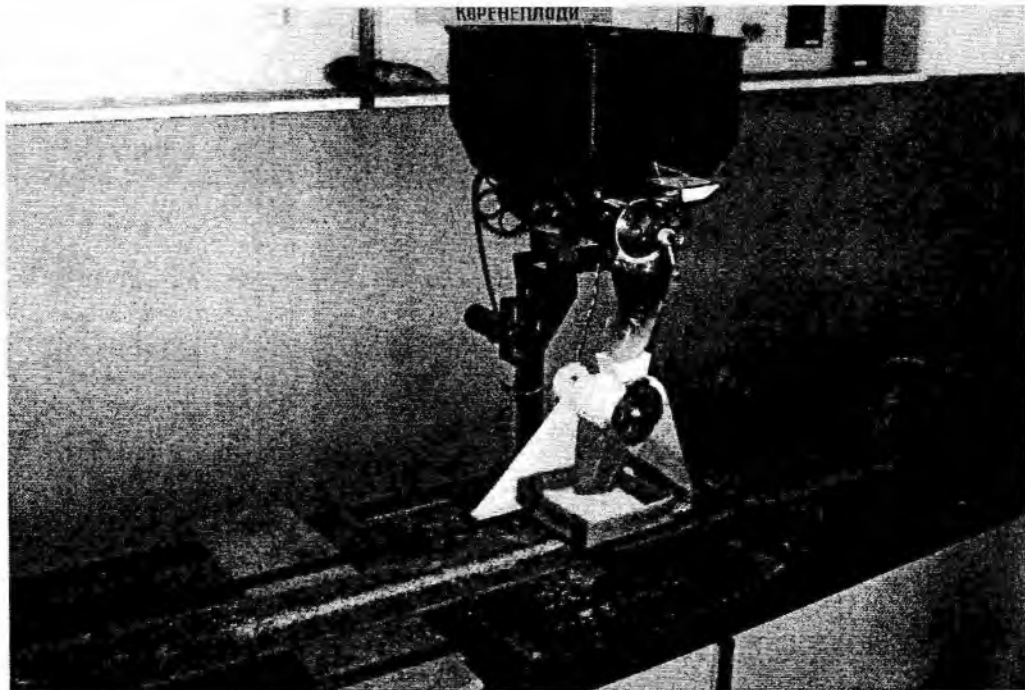


Рис. 4.8. Загальний вигляд експериментальної установки

Результати досліджень після виконання висіву на липкій стрічці на ділянці у 100 мм приведені у таблиці 2 додатків

Приведемо порівняльний графік (рис. 4.9) до проведених змін та після

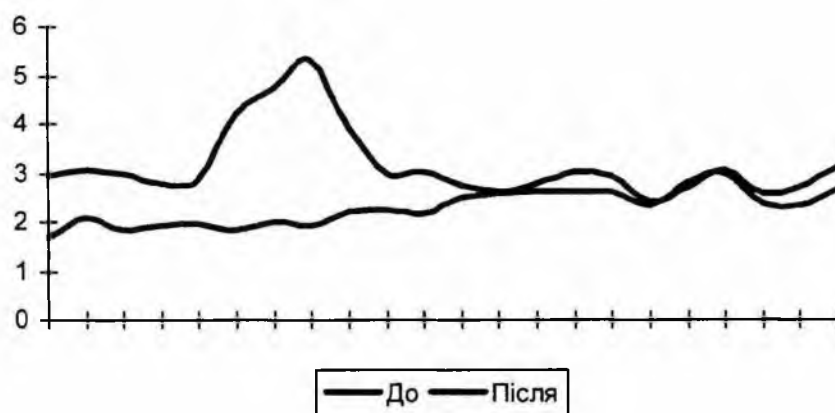


Рис. 4.9. Порівняльний графік висіву туків

З діаграми видно, що пульсація зменшилась на дуже велику кількість. З цього можна зробити висновок, що ідея вірна й має право на життя та встановлення у виробництво цієї модернізації. Вона виправдала надії та дала очікуваний результат.

### Висновки

1. Гранульовані мінеральні добрива (туки) складаються з дуже нерівномірних по розмірах гранул. Великі гранули у шість разів більші за найдрібніші, що входять до складу суміші туків, яка висівається туковисівними апаратами.

2. Завдяки розробленими нами нових методики та лабораторно-стендового устаткування для дослідження туковисівних апаратів, вдалося більш об'єктивно зробити оцінювання якості роботи туковисівних апаратів.

3. При висіву туків будь-яким шнековим туковисівним апаратом, розподіл їх уздовж рядка вкрай нерівномірний (коефіцієнт варіації не менше 40%, при вагових замірюваннях з ділянок у 20мм) з характерним максимальним "піковим" скидом їх за один оберт шнека на відповідну ділянку висіяного рядка.



4. Оцінка якості роботи туковисівних апаратів по дозуючій здатності (нестійкості висіву) їх, згідно існуючим агрономогам, вкрай необ'єктивна. В усіх шнекових туковисівних апаратах, що були нами перевірені нестійкість висіву не перевищувала межі по агрономогам (8%) і у той же час усі вони розподіляють туки уздовж рядка вкрай нерівномірно.

5. При заміні суцільного шнеку на пружину з дроту діаметром 4мм та кроком пружини від 18мм до 40мм характер порційності скиду туків у рядок залишився.

6. Запропонований нами новий пружинно-дисковий туковисівний апарат з дисковими дозаторами розподіляє туки уздовж рядка значно краще ніж будь-який шнековий туковисівний апарат. При висіву гранульованого суперфосфату коефіцієнт варіації складає усього 15%, при висіву гранульованої нітроаммофоски  $V=21\%$ .

### Список використаної літератури

1. Адамчук В.В. Обоснование процесса работы и параметров шнековых распределительно-вытекающих систем для внесения минеральных удобрений: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 "Механизация сельскохозяйственного производства" / В.В. Адамчук. – Глеваха, 1985.–17 с.
2. Аникст Д.М. Удобрение яровой пшеницы / Д.М. Аникст. – М.: Россельхозиздат, 1986. –142 с.
3. Баранов И.Б. Разбросные туковые сеялки / И.Б. Баранов; под ред. М.Х. Пигулевского. – М.: изд-во ВАСХНИЛ, 1936. – 164 с.
4. Верховский В.М. Механизация внесения удобрений: (обзор зарубежной литературы) / В.М. Верховский, В.П. Поляченко. – М.: Колос, 1965. – 188 с.
5. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини / Д.Г. Войтюк, Г.Р. Гаврилюк. – К.: Урожай, 1994. – 446 с.
6. Вплив нерівномірності висіву мінеральних добрив на врожайність сільськогосподарських культур / В.І. Пастухов, В.С. Шерстюк, Г.В. Фесенко, Ю.В. Сівцов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2008. – С. 195–199.
7. Гевко Б.М. Винтовые падающие механизмы сельскохозяйственных машин / Б.М. Гевко, Р.М. Рогатынский. – Львов: Выща шк. изд-во при Львов. ун-те, 1989. – 175 с.
8. Гончаренко Ф.Т. О туковысевающем аппарате Шлера / Ф.Т. Гончаренко // Сельскохозяйственная машина. – 1935. – №10. – С. 14–15.
9. Гончаренко Ф.Т. Система машин для внесения удобрений в почву / Ф.Т. Гончаренко // Усовершенствование техники внесения удобрений. – К.: изд-во Академии наук УкрССР. – 1955. – С. 205–211.

10. Дука В. Рациональне використання добрив / В. Дука. – Львів: вид-во "Каменяр", 1967. – 71 с.
11. Заика П.М. О производительности винтовых транспортеров зерновых комбайнов // П.М. Заика // Сельскохозяйственная машина. – 1957. – №8. – С. 7–10.
12. Кириченко В.Є. Удосконалення технологічного процесу локального передпосівного внесення гранульованих мінеральних добрив дозуючою системою пневматичної дії: автореф. дис. на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук : спец. 05.20.01 "Механізація сільськогосподарського виробництва" / В.Є. Кириченко. – Луганськ, 1996. – 20 с.
13. Корнеев Г.В. Транспортеры и элеваторы сельскохозяйственного назначения: Теория и основы проектирования / Г. В. Корнеев. – М.,К.: Машгиз, 1961. – 231 с.
14. Кругляков М.Л. Исследование туковысевающих аппаратов и агротехническое обоснование их рациональной конструкции. Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук (Рукопись) / М.Л. Кругляков. – М. – 1949.
15. Кругляков М.Л. Машины для внесения удобрений в почву. Агротехнические обоснования конструкций, устройства и указания по эксплуатации / М.Л. Кругляков. – [2-е изд.]. – М.: Машгиз, 1953. – 232 с.
16. Кругляков М.Л. Механизация подготовки и внесения удобрений / М.Л. Кругляков. – [2-е изд.]. – М.: Сельхозиздат. – 1961. – 303 с.
17. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины / М.Н. Летошнев. – М.-Л.: ГОСиздат с.-х. литературы, 1955. – 764 с.
18. Лурье А.Б. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин / А.Б. Лурье, А.А. Громбчевский. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. – 528 с.

19. Механизация внесения минеральных удобрений : [авт. разделов М.А. Литвинов, Ф.В. Янишевский, Ю.Н. Тихончук и др.]. – М.: Колос, 1964. – 175 с.
20. Моисеев И.И. Известковые сеялки и разбрасыватели / Моисеев И.И. – М., Сельхозгиз, 1931. – 37 с.
21. Нефедов Б.Д. Конструктивные элементы туковысевающих систем и их влияние на неравномерность высева / Б.Д. Нефедов, А.Н. Рогожкин, С.В. Балакирев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988. – №1. – С. 27–29.
22. Овчинникова Н.Г. Обоснование показателей качества внесения удобрений / Н.Г. Овчинникова, Б.А. Глевацкий // Направление исследований и разработок машин для внесения в почву минеральных удобрений. – Труды ВИСХОМ. – М.: ВИСХОМ, 1983. – С. 33–39.
23. Павловский И.В. Основы проектирования машин для внесения удобрений в почву / Павловский И.В. – М.: Машиностроение. – 1965. – 120 с.
24. Петрусов А.И., Комаристов В.Е. Машины для посева, посадки и внесения удобрений: (Теория, конструкция и расчет) / А.И. Петрусов, В.Е. Комаристов. – Харьков: изд-во Харьковского госуниверситета. – 1961. – 226 с.
25. Пивовар С.Г. Новые типы машин и механизмов для поверхностного распределения удобрений и внесения их в почву / С.Г. Пивовар // Усовершенствование техники внесения удобрений. – К.: изд-во Академии наук УкрССР. – 1955. – С. 196–204.
26. Попов Н.А. Организация сельскохозяйственного производства: Курс лекций / Попов Н.А. – М.: Ассоциация авторов и издателей "ТАНДЕМ". Изд-во "ЭКМОС", 2000. – 352 с.
27. Рогатинська О.Р. Обґрунтування навантаження і конструкцій гвинтових конвеєрів: автореф. дис. на здобуття вченого ступеня канд. техн.

наук : спец. 05.05.05 "Піднімально-транспортні машини" / О.Р. Рогатинська. – Тернопіль, 2006. – 20 с.

28. Сабликов М.В. Сельскохозяйственные машины: Ч.1. Устройство и работа / М.В. Сабликов. – М.: Колос, 1968. – 343 с.

29. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Под ред. Г.Е. Листопада. – М.: Агропромиздат, 1986. – 688 с.

30. Семенов А.Н. Механизация внесения удобрений / А.Н. Семенов, С.М. Закутский. – М.: Колос, 1972. – 223 с.

31. Сільськогосподарські машини: Ч.2. Машини для внесення добрив / М.В. Бакум, І.С. Бобрусь, А.Д. Михайлов та ін.; за ред. М.В. Бакума. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – Т.1. – 285 с.

32. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Кн. 1. Машини для рільництва / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний; за ред. Черновола М.І. – К.:Урожай, 2001. – 384 с.

33. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин: в 4 т. / Под ред. М.И. Клецкина. – М.: Машиностроение. – 1967. – Т.1. – 1967. – 722с.

34. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / Под ред. Е.С. Босого. – М.: Машиностроение, 1978. – 567 с.

35. Хайлис Г.А. Расчет рабочих органов уборочных машин: Учеб. пособие / Г.А. Хайлис, Д.М. Коновалюк. – К.:УМК ВО, 1991. – 200 с.

36. Fertilization of No Tillage Corp. The Agronomist University of Maryland, April, 1992.

Результати експериментальних досліджень шнека з різними кроками гвинта

| № п/п  | Шнек з дроту<br>Ø 4 мм крок<br>40 мм. | Шнек з дроту<br>Ø 4 мм крок<br>30 мм. | Шнек з дроту<br>Ø 4 мм крок<br>24 мм. | Шнек з дроту<br>Ø 4 мм крок<br>18 мм. |
|--------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
|        | 100 мм                                | 100 мм                                | 100 мм                                | 100 мм                                |
| 1      | 2.82                                  | 2.99                                  | 2.93                                  | 2.39                                  |
| 2      | 2.62                                  | 2.88                                  | 3.07                                  | 1.85                                  |
| 3      | 2.5                                   | 3.32                                  | 2.98                                  | 2.46                                  |
| 4      | 2.99                                  | 2.7                                   | 2.78                                  | 2.88                                  |
| 5      | 2.6                                   | 2.3                                   | 2.87                                  | 3.9                                   |
| 6      | 3.26                                  | 1.9                                   | 4.2                                   | 4.38                                  |
| 7      | 3.6                                   | 1.9                                   | 4.74                                  | 4.08                                  |
| 8      | 4.43                                  | 1.89                                  | 5.31                                  | 3.02                                  |
| 9      | 5.35                                  | 1.94                                  | 3.9                                   | 2.22                                  |
| 10     | 6.74                                  | 2.76                                  | 3.0                                   | 2.33                                  |
| 11     | 5.71                                  | 5.3                                   | 3.02                                  | 2.2                                   |
| 12     | 4.9                                   | 4.58                                  | 2.73                                  | 2.1                                   |
| 13     | 4.68                                  | 5                                     | 2.6                                   | 2.27                                  |
| 14     | 3.81                                  | 4.15                                  | 2.77                                  | 2.46                                  |
| 15     | 4.2                                   | 3.82                                  | 3.03                                  | 2.61                                  |
| 16     | 3.8                                   | 3.9                                   | 2.92                                  | 2.51                                  |
| 17     | 3.9                                   | 3.1                                   | 2.42                                  | 2.59                                  |
| 18     | 3.6                                   | 3.08                                  | 2.71                                  | 2.28                                  |
| 19     | 2.83                                  | 1.96                                  | 3.05                                  | 2.37                                  |
| 20     | 3.28                                  | 1.39                                  | 2.58                                  | 2.12                                  |
| 21     | 3.62                                  | 1.69                                  | 2.71                                  | 2.13                                  |
| 22     | 2.02                                  | 2.21                                  | 3.1                                   | 1.64                                  |
| Всього | 83.26                                 | 64.76                                 | 69.42                                 | 56.79                                 |

## Результати досліджень після виконання на липкій стрічці на 100 мм

| № п/п | Вага | № п/п | Вага | № п/п | Вага |
|-------|------|-------|------|-------|------|
| 1     | 1.67 | 9     | 2.22 | 17    | 2.31 |
| 2     | 2.08 | 10    | 2.24 | 18    | 2.81 |
| 3     | 1.84 | 11    | 2.15 | 19    | 2.97 |
| 4     | 1.91 | 12    | 2.48 | 20    | 2.35 |
| 5     | 1.94 | 13    | 2.58 | 21    | 2.32 |
| 6     | 1.82 | 14    | 2.6  | 22    | 2.67 |
| 7     | 2.0  | 15    | 2.6  | -     | -    |
| 8     | 1.9  | 16    | 2.6  | -     | -    |