

НУБІП України

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НУБІП України

01.08. – КМР.189 «С». 2021.02.01. 019. ПЗ

Волова Валентина Вікторівна

НУБІП України

2021

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ

І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

УДК 631.316.02

ПОГОДЖЕНО:

Декан механіко-
технологічного факультету

Братішко В.В.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ:

Завідувач кафедри тракторів,
автомобілів та біоенергоресурсів

Чуба В.В.

(підпис)

« » листопада 2021 р.

(підпис)

« » листопада 2021 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ МІЖРЯДНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ»

01.08.-КМР.189"С".2021.02.01.019.ПЗ

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітня програма: «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-наукова

Гарант освітньої програми:

доктор технічних наук, с.н.с.

Братішко В.В.

(підпис)

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи:

канд. іст. наук, доцент

Деркач О.П.

(підпис)

Виконав:

Волов В.В.

(підпис)

Київ-2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри тракторів,
автомобілів та біоенергоресурсів
доц., к.т.н. Чуба В.В.

(підпис)

« » 2021 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
ВОЛОВУ ВАЛЕНТИНУ ВІКТОРОВИЧУ

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітня програма: «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-наукова

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Обґрунтування параметрів
робочих органів культиватора для міжрядного обробітку ґрунту», затверджена
наказом ректора від «01» лютого 2021 р. № 189 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 07.11.2021 р.

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: технічні засоби для
міжрядного обробітку ґрунту.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологій та технічних засобів для смугового обробітку ґрунту.
2. Теоретичне обґрунтування конструктивної схеми і параметрів секції
культиватора.
3. Результати експериментальних досліджень з обґрунтування
конструктивно-технологічних параметрів культиватора для смугового
обробітку ґрунту.
4. Техніко-економічна ефективність.

НУБІП України

Перелік графічних матеріалів

Лист 1. Технології обробітку ґрунту.

Лист 2. Залежність урожайності від дози добрив.

Лист 3. Культиватор для смугового обробітку ґрунту. Складальне креслення.

Лист 4. Секція культиватора. Складальне креслення.

Лист 5. Розпушувальний робочий орган. Складальне креслення.

Лист 6. Коток. Складальне креслення.

Лист 7. Залежність тягового опору робочого органа від кута встановлення

НУБІП України

ножів і швидкості руху

Лист 8. Залежність подрібнення ґрунту від швидкості руху для різних котків.

Лист 9. Залежність тягового опору R від швидкості руху V при різних

кутах атаки сферичних дисків

Лист 10. Техніко-економічні показники

НУБІП України

Дата видачі завдання: 11.09.2020 р.

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи:

канд. іст. наук, доцент

Деркач О.П.

(підпис)

НУБІП України

Завдання прийняв до виконання:

Волов В.В.

(підпис)

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ СМУГОВОЇ ОБРОБКИ ҐРУНТУ	5
1.1 Особливості смугової обробки ґрунту в системі землеробства.....	5
1.2 Агротехнічні вимоги до смугової обробки.....	7
1.3 Аналіз технологій обробітку кукурудзи.....	8
1.4 Аналіз існуючих конструкцій знарядь для смугової обробітку ґрунту.....	14
1.5 Аналіз теоретичних досліджень.....	25
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ І ПАРАМЕТРІВ СЕКЦІЇ КУЛЬТИВАТОРІВ	33
2.1 Обґрунтоване конструктивно-технологічної схеми секції культиватора для смугової обробки ґрунту.....	33
2.2 Обґрунтування відстані між робочими органами.....	39
2.3 Теоретичне визначення тягового опору секції культиватора.....	41
2.4 Розробка математичної моделі процесу обробки ґрунту методом дискретних елементів.....	43
2.5 Обґрунтування технологічної схеми та параметрів пристрою для об'ємного внутрішньогрунтового внесення рідких комплексних добрив.....	47
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ОБҐРУНТУВАННЮ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ СМУГОВОЇ ОБРОБКИ	51
3.1 Результати калібрування властивостей частинок ґрунту для дискретної моделі.....	51
3.1.1 Калібрування властивостей частинок по міцності.....	51

3.1.2	Калібрування властивостей частинок за коефіцієнтом внутрішнього тертя.....	53
3.1.3	Калібрування властивостей частинок по тяговому опору	60
3.2	Оцінка адекватності аналітичних залежностей тягового опору секцій культиватора.....	62
3.3	Обґрунтування конструктивних параметрів робочих органів культиватора за допомогою дискретної моделі ґрунту	65
3.4	Обґрунтування параметрів опорно - прикочуючого катка секцій культиватора.....	72
3.5	Результати польових досліджень і агротехнічної оцінки розробленої секцій для смугової обробки.....	76
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ		81
4.1	Техніко-економічна ефективність застосування технології смугової обробки ґрунту	81
4.2	Техніко-економічна ефективність застосування культиватора для смугової обробки ґрунту	82
ВИСНОВКИ.....		85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		87
ДОДАТКИ.....		100

ВСТУП

НУБІП України

Актуальність. Наразі найпоширенішим методом обробки ґрунту є відвальна оранка, яка поряд з перевагами має також недоліки. Лемішно-відвальні плуги забезпечують об'ємне кришення, перемішування ґрунту та закладання рослинних залишків. Однак при оранці на постійну глибину утворюється плужна підшова і відбувається ущільнення ґрунту.

НУБІП України

Для зниження ущільнення ґрунту використовують чизельні плуги-розпушувачі, що дозволяють утримувати вологу в ґрунті та зберегти верхній

НУБІП України

родючий шар, при цьому зберігається стерня, що стримує водну та вітрову ерозію. Крім того, чизельні знаряддя менш енергоємні порівняно з відвальними плугами. Однак наявність стерні на поверхні вимагає використання спеціальних знарядь для додаткового передпосівного обробки ґрунту.

НУБІП України

На сьогоднішній день досить перспективною економічною технологією обробки ґрунту є смугова обробка ґрунту – технологія Strip-till, яка включає в себе переваги відвальної оранки і чизельного обробки.

НУБІП України

На даний час зібрано великий теоретичний та практичний матеріал для обґрунтування конструктивних та технологічних параметрів ґрунтообробних машин та робочих органів. Дані роботи спрямовані на розробку та вдосконалення технічних засобів, що використовуються у технологіях із суцільним обробки ґрунту. Однак наявність рослинних залишків на поверхні поля, збільшення твердості та зв'язаності ґрунту істотно впливають на процеси обробки ґрунту. Дану інформацію необхідно враховувати при обґрунтуванні параметрів та розробці культиваторів для смугового обробки.

НУБІП України

Для обґрунтування конструктивно-технологічної схеми та параметрів культиватора необхідно розглянути процес взаємодії його робочих органів з ґрунтом. У зв'язку з цим розробка та обґрунтування параметрів культиватора для смугового

НУБІП України

обробки ґрунту під просапні культури з можливістю об'ємного внутрішньоґрунтового внесення добрив є актуальним завданням. Наразі в Україні ґрунтообробне обладнання для смугової обробки ґрунту не виробляється

масово. Іноземні зразки інструментів для обробки смуг коштують дуже дорого і були розроблені без урахування ґрунтово-кліматичних умов в Україні. Крім того, наявні знаряддя не дозволяють масового внесення добрив. У цьому контексті розробка та обґрунтування параметрів культиватора для обробки смуги ґрунту для просапних культур з можливістю об'ємного удобрення ґрунтом є нагальним завданням.

Мета роботи. Підвищення ефективності стрічкового обробітку ґрунту та внесення рідких добрив у ґрунт шляхом покращення конструкції, технологічної схеми та параметрів секції культиватора.

Предмет дослідження. Культиватори для смугового обробітку та об'ємне внутрішньо-ґрунтове внесення рідких комплексних добрив.

Об'єкт дослідження. Періодичність зміни агротехнічних та енергетичних показників культиватора для смугового обробітку ґрунту.

Методика дослідження. Теоретичні дослідження проводились за допомогою використання методів класичної механіки, механіки суцільних деформованих середовищ, гідродинаміки, дискретних елементів. Теоретичні, лабораторні, лабораторно-польові експерименти були проведені із використанням стандартних та розроблених приватних методик із застосуванням методів планування експериментів. Отримані експериментальні дані були оброблені методами математичної статистики в Microsoft Excel, Statistica.

Наукова новизна.

1. Була розроблена та обґрунтована конструктивна схема секції культиватора для смугового обробітку ґрунту та об'ємного внутрішньогрунтового внесення добрив.

2. Розроблено математичну модель процесу обробітку ґрунту на основі методу дискретних елементів, проведено калібрування властивостей ґрунту середньосуглинистого та супіщаного механічного складу для моделей контакту частинок.

3. Розроблено математичну модель того, як працює система внесення в ґрунт рідких добрив.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ СМУГОВОЇ ОБРОБКИ ҐРУНТУ

1.1 Особливості смугової обробки Ґрунту в системі землеробства

Сучасне сільське господарство – це досить складний і тривалий процес, який передбачає використання різних систем обробки Ґрунту, основними з яких є традиційні, мінімальні, нульові та смугова технології обробки Ґрунту.

Традиційна технологія включає кілька етапів обробки Ґрунту: Відвальну оранку плугом з обортом пласта, боронування, передпосівну культивуацію та посів. Традиційні технології є одними з найбільш енергоємних і вимагають використання великої кількості сільськогосподарських знарядь, таких як лемішні, відвальні, дискові плуги, пружні бороши, парові культиватори, сівалки з дисковими сошниками.

Мінімальна технологія включає такі робочі етапи, як глибоке розпушування без обробки пласта, культивуацію та посів. Це менш енергоємна технологія і вимагає використання меншої кількості сільськогосподарських знарядь порівняно з традиційними технологіями, таких як: чизельний плуг, чизельний культиватор, глибокорозпушувач, плоско різ, важкий культиватор - дискатор, сівалки з сошниками.

Технологія нульового обробки (No-till) – система землеробства, за якої висаджування насіння відбувається у необроблений Ґрунт шляхом нарізання борозни потрібної ширини і глибини, достатньої для заглиблення насінини. Найважливішою передумовою цієї технології є рівна поверхня поля.

На відміну від нульової, технологія смугової обробки передбачає формування смуг, на яких здійснюється подальша обробка Ґрунту і сівба. Що стосується збільшення врожаю, технологія обробки смуг є більш ефективною, ніж технологія без обробки, завдяки впровадженню додаткових операцій у культивованих смугах, що збільшує врожайність на 25% та економить до 50% на

мінеральних добривах. Для обробітку ґрунту використовуються спеціальні навісні або причіпні Strip-till культиватори [46].

Сьогодні технологія обробки ґрунту Strip-Till має великий потенціал і вже активно використовується в передових фермах США, Канади, Аргентини, Німеччини та інших країн. Технологія StripTill може вирішити такі проблеми, як короткі вегетаційні періоди, рясні бур'яни, низька родючість ґрунтів з недостатнім вмістом органіки, плаваючі ґрунти, а також може забезпечити посушливі регіони та сприйнятливі ґрунти від вітрової ерозії (дефляція).

Найбільшим застосуванням технології стрічкового обробітку ґрунту в цих країнах використовується для вирощування кукурудзи.

Суть технології обробітку смуги полягає в тому, щоб рихлити смугу ґрунту на певній глибині, удобрювати та сіяти культури в оброблені смуги [46].

Локалізація зон обробки приводить до того, що при бл. 2/3 (приблизно 70%) усього поля залишаються необробленими, добрива зосереджуються у підкореневій зоні рослин і зазвичай вносяться один раз на рік протягом осіннього або весняного розпушування. Навесні в оброблену смугу можна проводити посів за допомогою сівалки точного висіву [46, 47].

Наприклад, у США при використанні технології Strip-till застосовують гранульовані та рідкі добрива. Гранульовані добрива вносяться близько 60%, рідкі добрива - 40%. Широко використовуються гранульовані азотно-фосфорні добрива (N11P52, N18P46). Поширені рідкі добрива з активним інгредієнтом N10P34. Крім того, використовуються суміші добрив N9P24K5, N11P22K7 [46, 47].

Існує кілька основних переваг технології Strip-Till.

1. Смугова -культивация ґрунту за один прохід техніки, яка може заощадити близько 30% палива.
2. Внесення добрив на різних рівнях, оптимізація живлення рослин, скорочення споживання мінеральних добрив
3. Можливість одночасно розпушувати ґрунт і сіяти.
4. Збереження природної родючості та зменшення ерозії ґрунту

5. Зменшення ущільнення ґрунту.

6. Підвищення родючості ґрунту.

Перспективним є використання смугової обробки в горбистих ділянках.

1.2 Агротехнічні вимоги до смугової обробки

При вирощуванні кукурудзи та інших сільськогосподарських культур за технологією стрічкового обробітку обробітку ґрунту необхідно дотримуватись агротехнічних вимог [46, 47]:

- обробка проходить у зазначених агротехнічних умовах;

- Відхилення середньої глибини обробки від заданого значення має бути в межах $\pm 0,01$ м;

- глибина обробітку ґрунту буде в межах від 0,03 до 0,20 м. набір;

- відхилення середньої глибини внесення добрив від зазначеної має бути в межах $\pm 2,5$ см для 80% добрив;

- глибина борозен та висота хребтів не повинна перевищувати 0,03 м;

- поверхня обробленого поля повинна бути рівною і містити невеликі грудки;

- необроблені смуги та плями не допускаються;

- ширина обробленої смуги повинна бути в діапазоні від 0,25 до 0,28 м;

- відхилення відстані між стиками між суміжними смугами допускається в межах ± 2 см, два суміжні переходи одиниці ± 5 см;

Виходячи з агротехнічних вимог, культиватори для стрічкового вирощування вам мають забезпечити:

- зменшення споживання енергії та металу конструкції, можливість зміни геометрії робочого органу, підвищення надійності (коефіцієнт доступності повинен бути не менше 0,95) виробничого процесу

- агротехнічна ефективність (за дуже різних природних умов, включаючи екстремальні умови, твердість 1,5 МПа, вологість ґрунту 40%), а також високу технологічну надійність (коефіцієнт готовий не менше 0,95).

НУБІП України

1.3 Аналіз технології обробітку кукурудзи

Кукурудза - це культура з високим врожаєм зерна і цінується завдяки своїй зеленій масі, вона особливо цінна як кормова рослина [45].

Під час обробітку кукурудзи збільшення обсягу виробництва зерна можливе за дотримання таких умов:

- збільшення врожайності за рахунок правильного вибору сортів;
- використання високоякісного насіння;
- вдосконалення технології вирощування;
- застосування агротехнічних та хімічних методів боротьби з бур'янами, шкідниками та хворобами;
- оптимальне використання мінерального живлення;
- збільшення площ під посів кукурудзи;
- застосування меліоративних технологій.

Розміщення кукурудзи в сівозміні. Найкращими попередниками в сівозміні при вирощуванні кукурудзи є бобові, багаторічні трави, овочеві та баштанні культури, озимі та ярі зернові.

Для посіву кукурудзи потрібний обробіток ґрунту, щоб створити сприятливі умови для росту рослин.

Основний обробіток ґрунту залежить від технології вирощування культури і має бути спрямований на:

- боротьбу з бур'янами та шкідниками;
- збереження, мінімізацію втрат вологи;
- вдосконалення та підтримку оптимальної структури ґрунту;
- максимальне розкладання рослинних залишків;
- зменшення кількості робочих операцій та проходів особливо навесні для зниження ущільнення ґрунту [45].

За традиційної технології обробка ґрунту починається з лузнення стерні на глибину 6-8 см, поля обробляються важкими дисковими знаряддями, тип обробки залежить від видового складу бур'янів.

Якщо з'являється багато багаторічних бур'янів, обробляють гербіцидами безперервної дії у фазі 5-6 листків. У той же час, не раніше ніж через 10-15 днів, поле орають з метою проникнення гербіциду в кореневу систему бур'янів.

Потім восени, за необхідності, після внесення добрив, глибоке розпушування проводять на глибину 25-27 см.

Як і інші культури, кукурудзу висівають у оптимальні терміни та в оптимальних умовах. Посів відбувається, коли ґрунт прогріється до 12-15 градусів у шарі 10 см. Проростання насіння кукурудзи відбувається при температурі ґрунту 7-9 градусів. Не можна сіяти, якщо ґрунт недостатньо прогрітий, тоді час проростання насіння значно збільшується, а щільність сходів значно зменшується.

Ранні посіви більш сприйнятливі до хвороб та шкідників, що в кінцевому підсумку впливає на якість врожаю та кількість врожаю. Щоб уникнути впливу несприятливих факторів, рекомендується починати сівбу, коли температура ґрунту досягне 14-16 градусів. Слід також зазначити, що схожість у лабораторії завжди дещо нижча за схожість у польових умовах. Тому під час

розрахунку норми висіву насіння варто робити поправку схожості (збільшити до 4%).

Пізніші терміни сівби означають, що фаза інтенсивного росту рослин збігається з найспекотнішим та найсухішим періодом, що знижує врожайність.

Згідно з традиційним методом вирощування кукурудзи, після посіву проводять боронування за допомогою зубчастої борони та коткування в одному агрегаті. Це робиться з метою вирівнювання верхнього ґрунту та знищення понад 90% пророщених бур'янів.

Не варто проводити боронування з появою сходів, оскільки проростки можуть бути легко пошкоджені на ранніх етапах, що знижує густоту сходів і призводить до проріджування врожаю. Оптимальна щільність може збільшити врожайність кукурудзи до 20%. Густина ранньостиглих та середньораних форм

має бути в межах 21-22 тис. грн / га, середньопізніх та пізньостиглих 18 -20 тис. грн / га.

При обробці кукурудзи за технологією Strip-till повну обробку ґрунту проводять за один прохід, економія палива при цьому досягає 30%. Внесення мінеральних добрив здійснюють безпосередньо у ґрунт на різну глибину, що сприяє оптимізації живлення рослин, а економія добрив сягає 20%. Також при використанні навіски для сівалки можна одночасно проводити посів. У США найважливішими інструментами для підготовки ґрунту та точного внесення добрив є пристрої Orthman [45, 46, 47].

Оптимальне мінеральне живлення є важливим чинником досягнення високих врожаїв при вирощуванні кукурудзи. Ця культура реагує на внесення мінеральних та органічних добрив, за порівняно короткий час кукурудза утворює велику кількість органічних речовин.

На думку експертів, збільшення врожаю залежить на 50% від добрив і на 50% від таких факторів, як агротехніка, оптимальні сорти рослин, меліорація земель [55]. Залежність врожайності від дози добрив показана на рисунку 1.1.

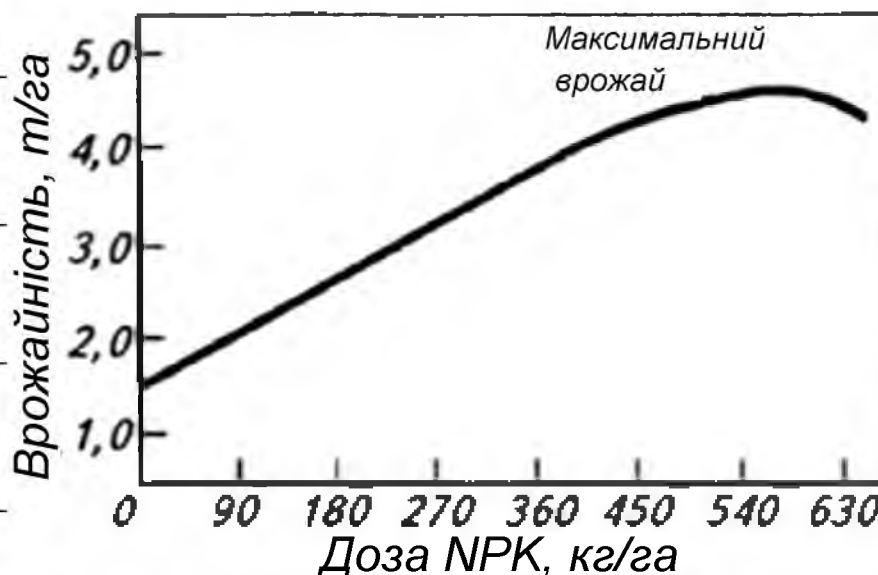


Рис. 1.1. Залежність врожайності від дози добрив

Основними поживними речовинами, що містяться у складі як мінеральних, так і органічних добрив, є азот, фосфор та калій. Азот є важливим елементом,

необхідним для росту та розвитку рослин, для кукурудзи він найбільш ефективний під час цвітіння та наповнення зерна. На початкових етапах росту аміак поглинається азотом, на пізніх стадіях розвитку - нітратною формою азоту.

На початковій фазі росту кукурудза дуже вимоглива до фосфору, до 70% його потрібно вносити під основний обробіток восени. Крім того, він сприяє прискореному розвитку рослин та формуванню стійкості до зберігання. Брак фосфору може означати, що в деяких місцях взагалі не відбувається зростання, і багато рослин не утворюють качанів.

Перетворення сонячного світла в поживні речовини є однією з найважливіших характеристик рослин і особливо культурних рослин, цьому активно сприяє наявність такого елемента, як калій, завдяки калію відбувається активне переміщення поживних речовин і формування стійкості до хвороб. Утворення великої кількості органічної маси (у чому цінність кукурудзи) вимагає великої кількості калію.

Досліди показують, що для стабільного збільшення врожайності та підтримки родючості ґрунту необхідно повертати азот та калій на 75-80%, а фосфор - близько 100% [55].

Крім основних форм добрив, мікродобрива також займають значне місце в системі добрив, яка включає такі елементи, як: цинк, марганець, мідь, кобальт, бор. При вирощуванні кукурудзи виникає потреба у забезпеченні цинком, марганцем, а також мідю та бором. Найчастіше у кукурудзи виникають захворювання пов'язані із нестачею засвоюваного цинку. Внесення мікродобрив на основі цинку та міді (у разі дефіциту в ґрунті) відбувається у фазі 6-8 листків.

Доза внесення цинку, органічних та мінеральних добрив показана в таблиці 1.1. На сьогоднішній день хімізація відіграє важливу роль у досягненні високого врожаю, дещо на другий план відсунуто використання органічних добрив.

Використання органічних добрив і зокрема гною, покращує повітряні, водні та теплові властивості ґрунту та збагачує його гумусом. Однією з позитивних властивостей гною є його здатність перетворювати неструктуровані ґрунти у

структурні. Гній містить азот - 0,5-0,8%, фосфор - 0,2-0,3%, калій - 0,5-0,7%, а
 курячий послід - азот - 1,3%, фосфор - 1,8%, калій - 0,9%.

НУБІП УКРАЇНИ

Таблиця 1.1

Схема застосування добрив під кукурудзу

Доза/тип добрив	Форма внесення	Терміни
Гній 60-70 т/га	Для сівозміни	Осінь - під оранку
N - 120 кг/га P - 60-80 кг/га До	Амофос, КАС,	Перед посівом
120-150 кг/га	хлористий калій	00
N - 30 кг/га	Сечовина	У фазу 4-6 листків
Zn - 10 кг на 200 л робочого розчину	Сульфат цинку, «Адоо Цинк»	Некоренева підгодівля в фазу 6-8 листків, спільно з сечовиною
Гній 80-100 т/га	Для монокультури	Осінь - під оранку
N - 70-80 кг/га P - 60 кг/га, До	Амофос, КАС,	Перед посівом
120 кг/га	хлористий калій	00
N - 30 кг/га	Сечовина	У фазу 4-6 листків
N - 120-150 кг/га P - 80 кг/га, До - 150 кг/га	Амофос, КАС,	Перед посівом
Zn - 10 кг на 200 л робочого розчину	Сульфат цинку, «Адоо Цинк»	Некоренева підгодівля в фазу 6-8 листків, спільно з сечовиною

Слід зазначити, що кукурудза потребує фосфору на початкових етапах росту та розвитку, фосфорні добрива сприяють посиленому розвитку її кореневої системи під час посіву [45].

Внесення добрив можна розділити на три основні способи:

- основне внесення добрив (перед посівом) - проводиться перед бранкою;
- передпосівний (рядами) - проводиться під передпосівну культивуацію;
- підживлення - проводиться на етапі росту та розвитку рослин.

При суцільному внесенні добрив рослини не повністю засвоюють усі поживні речовини, оскільки деякі добрива не потрапляють у зону, в якій вони були б засвоєні, частково деякі з них залишаються невикористаними. Негативна сторона цього явища полягає в тому, що невикористана частина добрив

вимивається дощем і шкідлива для навколишнього середовища, а також

відбувається перевитрата добрив, але є в цьому і позитивна сторона, якщо поживні речовини, не були засвоєні в перший рік, то вони можуть впливати на врожайність у другому та наступних роках після внесення.

Особливості різних методів обробки ґрунту завжди пов'язані з певною територією і відрізняються для кожного окремого регіону. У кожному регіоні існують свої ґрунтово-кліматичні особливості: кількість опадів, тип та насиченість ґрунту поживними речовинами, типи бур'янів. Традиційно більшість бур'янів видаляють механічним шляхом. Бур'яни завдають значної шкоди врожаю зерна кукурудзи. Тому крім збереження та накопичення вологи,

основну обробку ґрунту застосовують для боротьби з бур'янами.

Однак технології змінюються, якщо розглядати смугову обробку ґрунту, то при цьому основну масу бур'янів видалити механічно неможливо, тому згідно

з цією технологією використовують хімічні методи захисту рослин. Після механічної обробки бур'яни забираються лише з обробленої ділянки поля, а на необробленій частині бур'яни з'являються, тому боротися з ними можна лише за допомогою гербіцидів.

Ефективність боротьби з бур'янами гербіцидами залежить від вартості праці та витрат на врожай. Якщо ми не будемо боротися з бур'янами, врожайність кукурудзи (для насіння) може бути зменшена до 70% [45].

У переробці кукурудзи використовуються такі гербіциди: Аденго - 0,4 - 0,5 л / га, Альтіс - 0,04 - 0,05 л / га, основна - 0,2 - 0,25 л / га, Гамбіт - 2-3,5 л / га, Дублон - 0,05 - 0,07 л / га та інші.

Крім бур'янів значні втрати врожаю виникають через комах-шкідників і хвороби. Для боротьби зі шкідниками використовуються інсектициди: Arrivo - 0,32 л / га, Fitoverm - 0,1-0,14 л / га, Faskord - 0,2-0,25 л / га.

Трихограма може допомогти в боротьбі з кукурудзяним хробаком. При використанні технології смугової обробки ґрунту порівняно з традиційною технологією зникає найбільш енергоємна операція - оранка, що не дозволяє виконати об'ємне розпушування пласта і перемішування шарів ґрунту та добрив внесених на поверхню поля розкидним способом.

У зв'язку з цим одночасно з обробкою смуг ґрунту необхідно вносити в ці смуги рідкі та гранульовані добрива. Ефективність їх подальшої дії залежатиме від розподілу добрив по глибині залягання кореневої системи рослин. У зв'язку з цим культиватор для смугового обробітку ґрунту повинен забезпечувати не тільки розпушення ґрунту, але й одночасно внутрішньогрунтове об'ємне внесення різних видів добрив.

1.4 Аналіз існуючих конструкцій знарядь для смугового обробітку ґрунту

Висока культура землеробства багато в чому залежить від технічних засобів реалізації, використовуваної технології для вирощування сільськогосподарських культур. Технологія обробки ґрунту смуговим способом - це комплексне рішення для покращення якості просяпних культур та підтримки родючості ґрунту. Високотехнологічні знаряддя, які виконують обробку за технологією Strip-till сьогодні викликають великий інтерес, а їх використання є одним із кроків до збереження ґрунтових ресурсів.

Знаряддя для смугової обробки ґрунту являють собою культиватори, що замінюють таку енергоємну операцію, як основна обробка ґрунту. Система пристроїв для різних технологій обробки ґрунту показана на рисунку 1.4.

Знаряддя для смугового обробки ґрунту – це перш за все культиватор який має в своїй конструкції жорстку раму, обслуговуючі робочі секції на кожному смугу, що обробляється, система каналів для внесення як твердих гранульованих так і рідких мінеральних добрив, а в деяких випадках і рідких органічних добрив. Використання супутникової навігаційної системи також є невід'ємною частиною технології, оскільки відхилення при посіві в рядки не допускаються [40, 41].

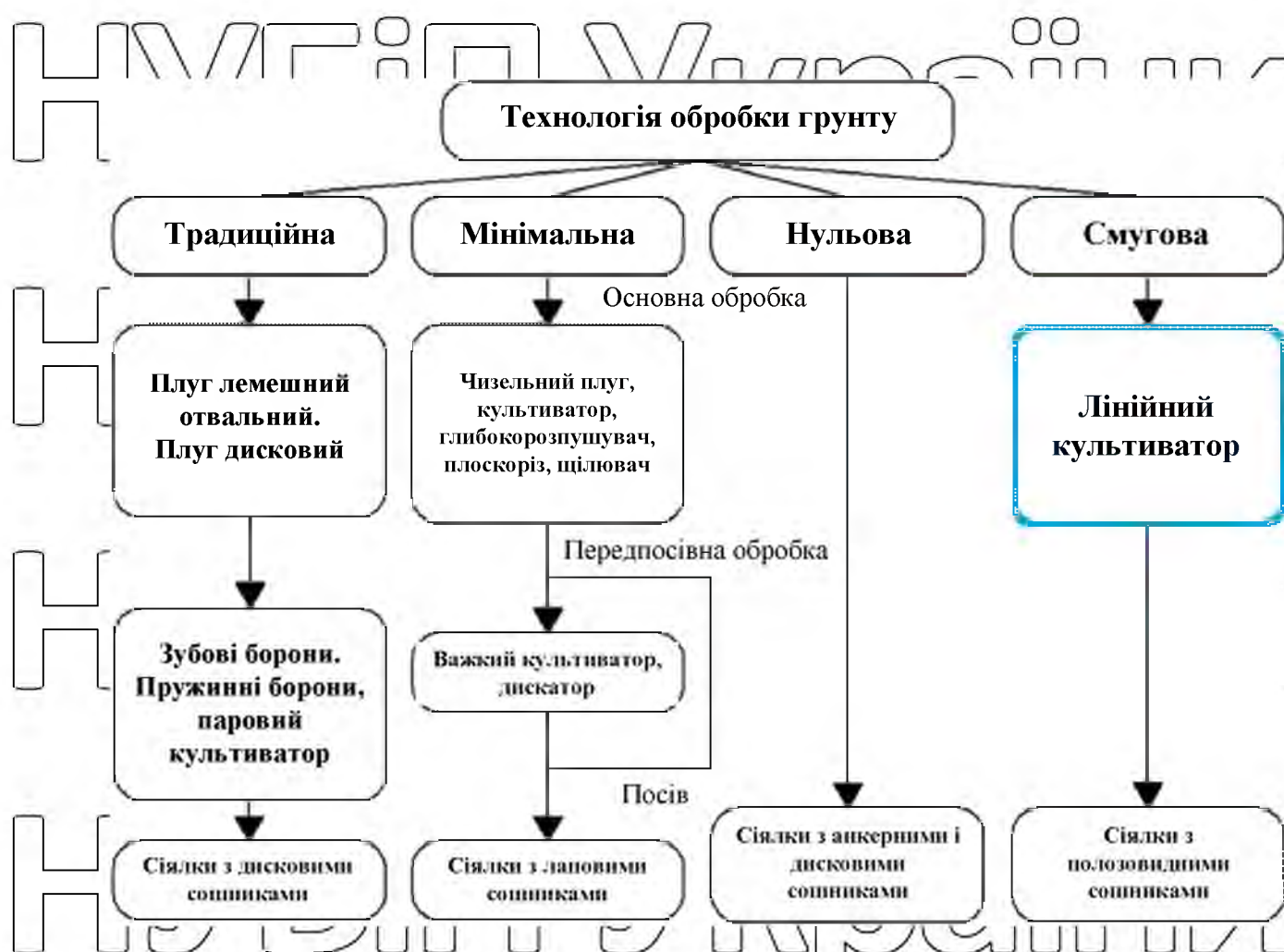


Рис. 1.2. Система знарядь, що використовуються, при різноманітних технологіях обробки ґрунту

Рама культиватора розроблена для використання у важких умовах і на високих швидкостях і є особливо міцною. Підтримання постійної глибини

обробітку ґрунту в умовах змінності рельєфу забезпечує механізм паралелограма, який зменшує навантаження на робочі поверхні пристрою і тим самим збільшує довговічність.

Паралелограмний механізм фіксує робочу секцію культиватора, яка як правило містить приблизно однаковий набір робочих органів, що відрізняються своєю формою та конструктивними параметрами в залежності від ґрунтово-кліматичних умов в яких передбачається проводити обробіток ґрунту.

Кожна секція культиватора містить такі типи робочих органів:

1. Передній диск, який виконує функцію розрізання щільної кірки поверхні ґрунту, що утворилася в результаті проведення різних механічних операцій та впливу природно-кліматичних факторів. Таким чином диск знімає напругу на поверхні ґрунту, що дозволяє в подальшому знизити тяговий опір знаряддя.

2. Робочий орган для очищення рядків. Метою цього пристрою є видалення рослинних залишків зі смуги обробітку, які мають певну твердість та міцність, що створює додаткові труднощі при обробітку ґрунту, а отже, підвищує тяговий опір секції культиватора.

3. Наступним елементом конструкції профілю є розпушувальна стійка, вона задіюється до роботи після видалення рослинних залишків з центру смуги.

Обробіток відбувається на глибині 0,35 м і замінює оранку. Розпушувач також оснащений насіннепроводами для внесення твердих гранулятів та рідких добрив.

4. Бічні диски, їх функція – нарізання смуг певної ширини, обмежуючи таким чином зону обробітку та зону бічної деформації ґрунту, зменшуючи таким чином опір знаряддя. Коток, що прикочує являє собою робочий орган, що обертається. Орган закріплений позаду секції культиватора та відповідає за функцію прикочування, подрібнення та вирівнювання ґрунту в зоні оброблюваної смуги, може мати різні конструкції: у вигляді голчастих дисків, гладкої форми, циліндричної форми з встановленими планками, спірале подібної конструкції.

В результаті аналізу існуючих конструкцій культиватори для смугового обробітку ґрунту варто виділити декілька характерних особливостей, які описані нижче:

На рисунку 1.3 зображено пристрій для безвідвальної поярусної смугової обробки ґрунту.

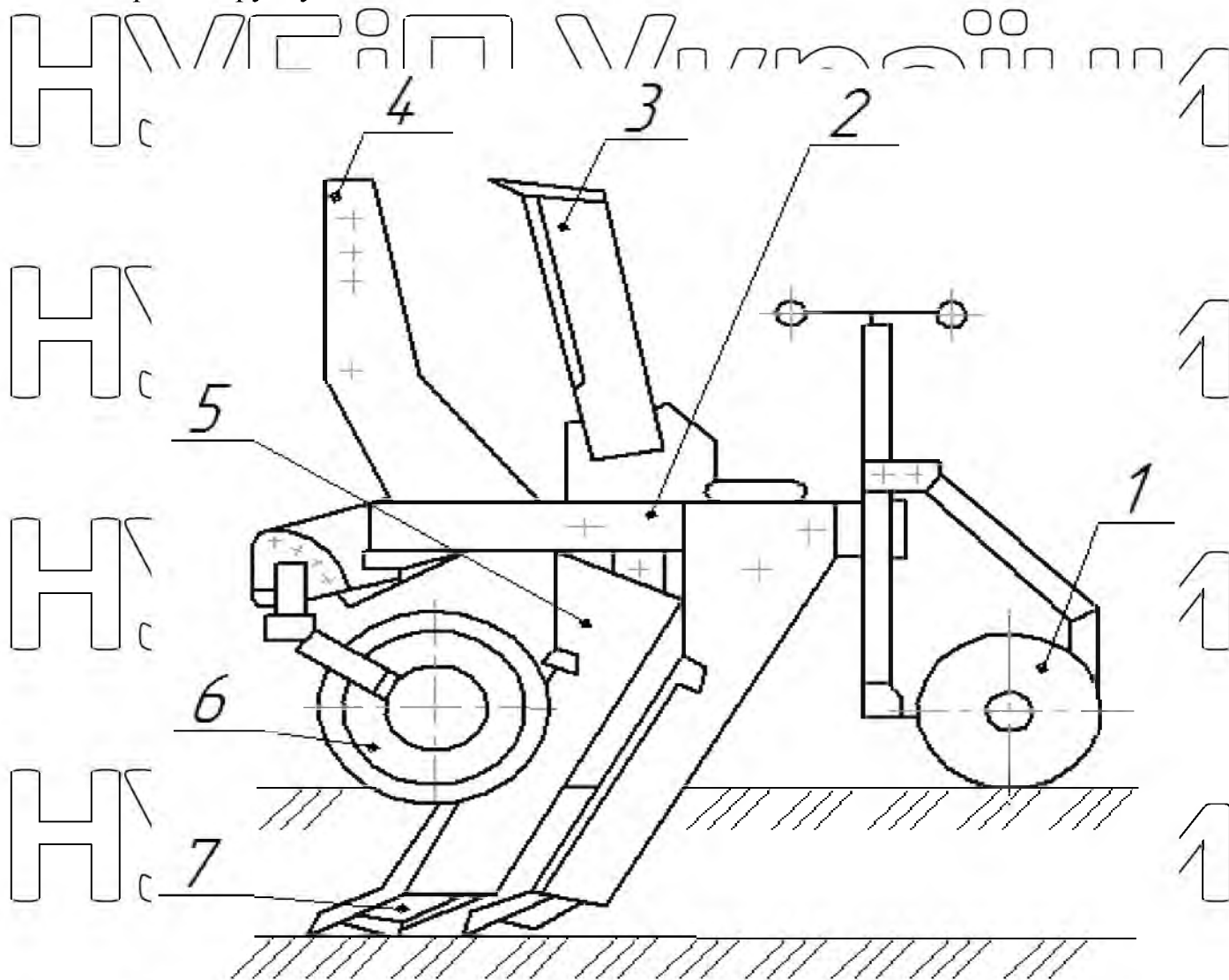


Рис. 1.3. Робочий орган для безвідвальної поярусної смугової обробки ґрунту:

1 - каток, що прикочує, 2 - навішування тригочкове, 3 - рама навісна, 4 - механізм регулювання глибини обробітку, 5 - стріччаста лапа, 6 - робочі органи другого ярусу, 7 - робочі органи третього ярусу, 8 - змінне долото

Робочий орган містить у своїй конструкції: ролик 1, тригочкову навіску 2, раму навісну 3, механізм регулювання глибини роботи 4 та робочий орган для основної обробки ґрунту 6, 7. На першому ярусі встановлені робочі органи у

вигляді пластинчастих стійок, які мають стрілчасті лапи, розташовані під кутом, один розташований по центру на задньому брусі рами навісний 3, а два інших по ширині захоплення та симетрично від центру знаряддя на передньому брусі рами.

На другому рівні є 5 робочих органів у вигляді правої та лівої стійок, які дозволяють обробляти верхній шар, прикріплені до передньої балки рами 3, симетрично розташовані один до одного і повернуто в протилежних напрямках. Робочі органи третього рівня також спроектовані у вигляді правої та лівої стійок, у нижній частині вони встановлені під кутом, зміні долота, що забезпечують глибоке розпушення ґрунту.

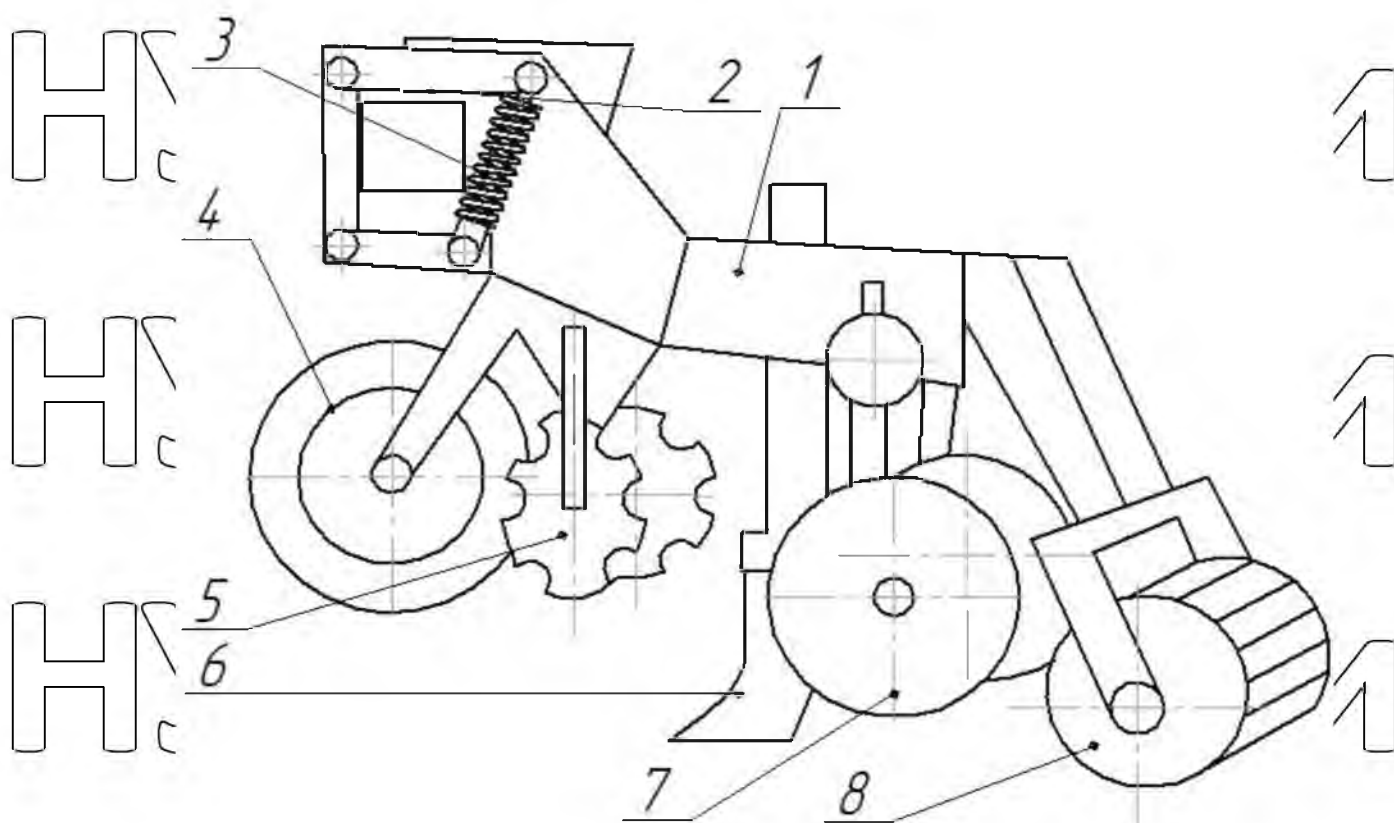


Рис. 1.4. Робоча секція для смугової обробки ґрунту:

1 – рама; 2 – механізм пружний; 3 – механізм паралелограмний; 4 – стійка диска;
5 – диск; 6 – циліндр; 7 – диски сферичні; 8 – каток, що прикочує

Відсутність у цій конструкції механізму паралелограма знижує його ефективність і не дозволяє копіювати рельєф землі.

На рисунку 1.4 зображено робоча секція для смугової обробки ґрунту. Для розпушування ґрунту та внесення добрив, як основний робочий орган

застосовують щілинник і встановлений на ньому тукопровід для подачі мінеральних добрив на дно борозни.

На рамі 1, яка має механізм паралелограма 3, диски 5 для очищення оброблених рядів, різак 6 з робочим органом для внесення мінеральних добрив, 7 дисків сферичних і каток, що прикочує 8.

Встановлення робочого органу з можливістю внесення добрив дозволяє зменшити кількість операцій з обробітку ґрунту, що підвищує ефективність роботи даного пристрою. Однак для більш ефективного використання робочого органу його конструкція повинна пропонувати можливість внесення добрив під час обробітку ґрунту.

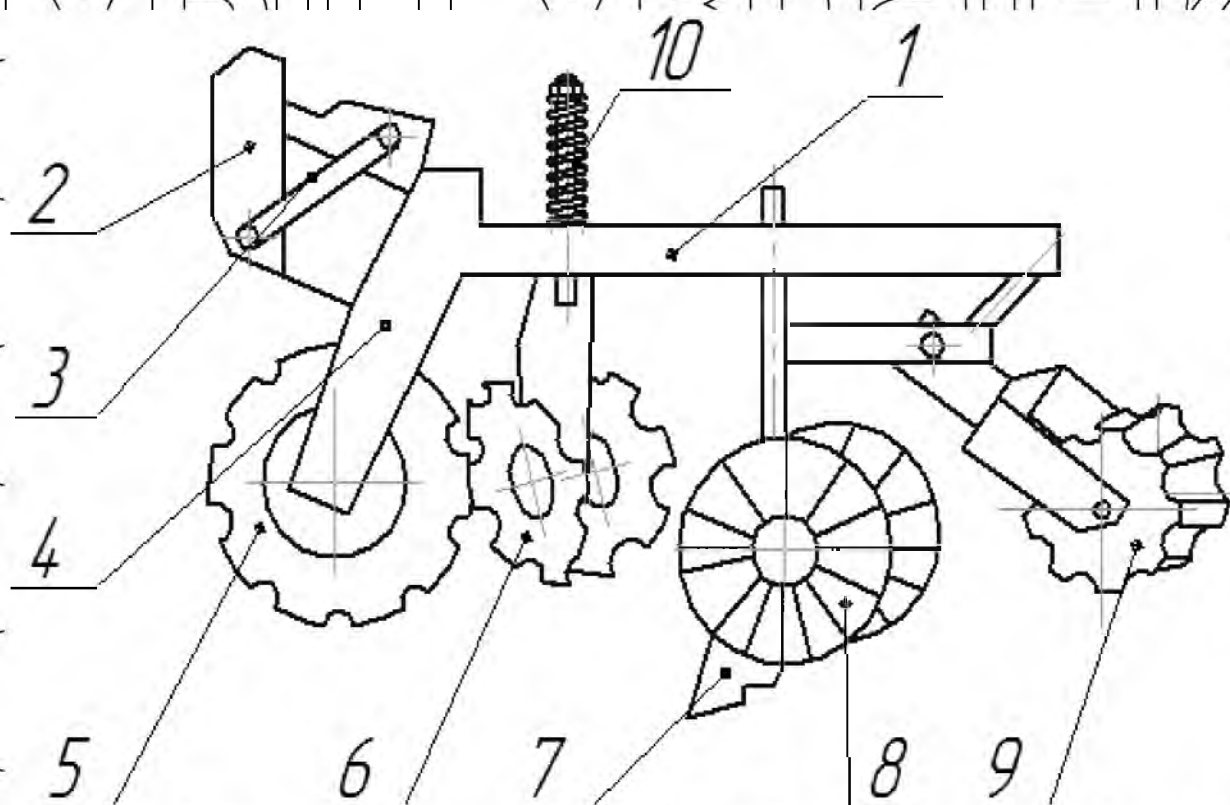


Рис. 1.5. Секція знаряддя для смугової обробки ґрунту фірми Carter:

1 – рама; 2 - механізм пружний; 3 - механізм паралелограмний; 4 - стійка диска;
5 - диск; 6 - щілинник; 7 - диски сферичні; 8 - каток, що прикочує

На рисунку 1.5 представлена секція знаряддя для смугової обробки ґрунту фірми Carter.

Конструкція робочого органу на рисунку 1.5 практично ідентична конструкції на рисунку 1.4, лише відрізняється кількома ознаками: типом механізму паралелограма; типом кріплення дисків 5 на рамі 1; формою котка, що прикочує.

Основним робочим інструментом для розпушування ґрунту та внесення добрив є щіпач та туппровід малого діаметру для внесення мінеральних добрив.

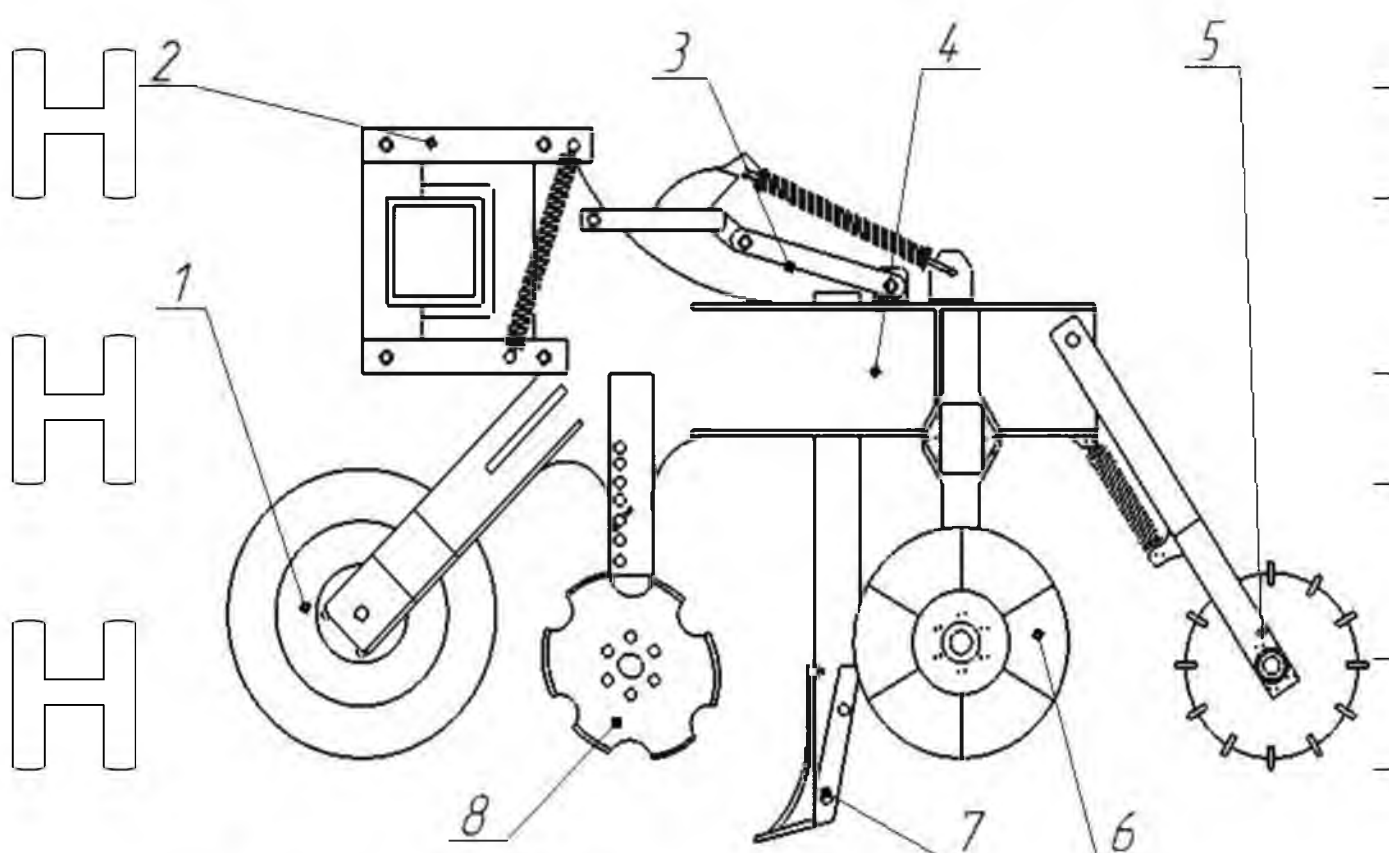


Рис. 1.6. Культиватор Stripcat для стрічкового обробітку ґрунту:

1 - диск; 2 - механізм паралелограмний; 3, 5 - шини передні та задні; 4 - рама (поздовжня); 6 - диски для формування гребеня; 7 - щіпач для внесення добрив; 8 - диск зубчастий для видалення залишків

Конструкція робочого органу також має передбачити можливість двоступеневого внесення добрив під час обробітку ґрунту. Недоліком цього розділу є висока вартість. На рисунку 1.6 зображено культиватор Stripcat для

стрічкового обробітку ґрунту. Цей тип культиватора агрегується з тракторами 4-го класу і за своїм виконанням подібний до моделей, описаних вище.

Недоліком цієї секції є складність його виготовлення, висока вартість оригінальних запасних частин.

На рисунку 1.7 показаний культиватор Super Duty, конструкція якого включає паралелограмний механізм, що встановлений на рамі, робочі органи: диск з ребордою, що підрізає 1 ґрунт та підтримує задану глибину обробітку; у другому ряду встановлені два голкові диски 8, які очищають ряд від органічних залишків, для наступного за ним щільовача 7 з тукопривідом для внесення добрив, а потім ідуть два диски для утворення гребеня 6 і коток, що прикочує 5.

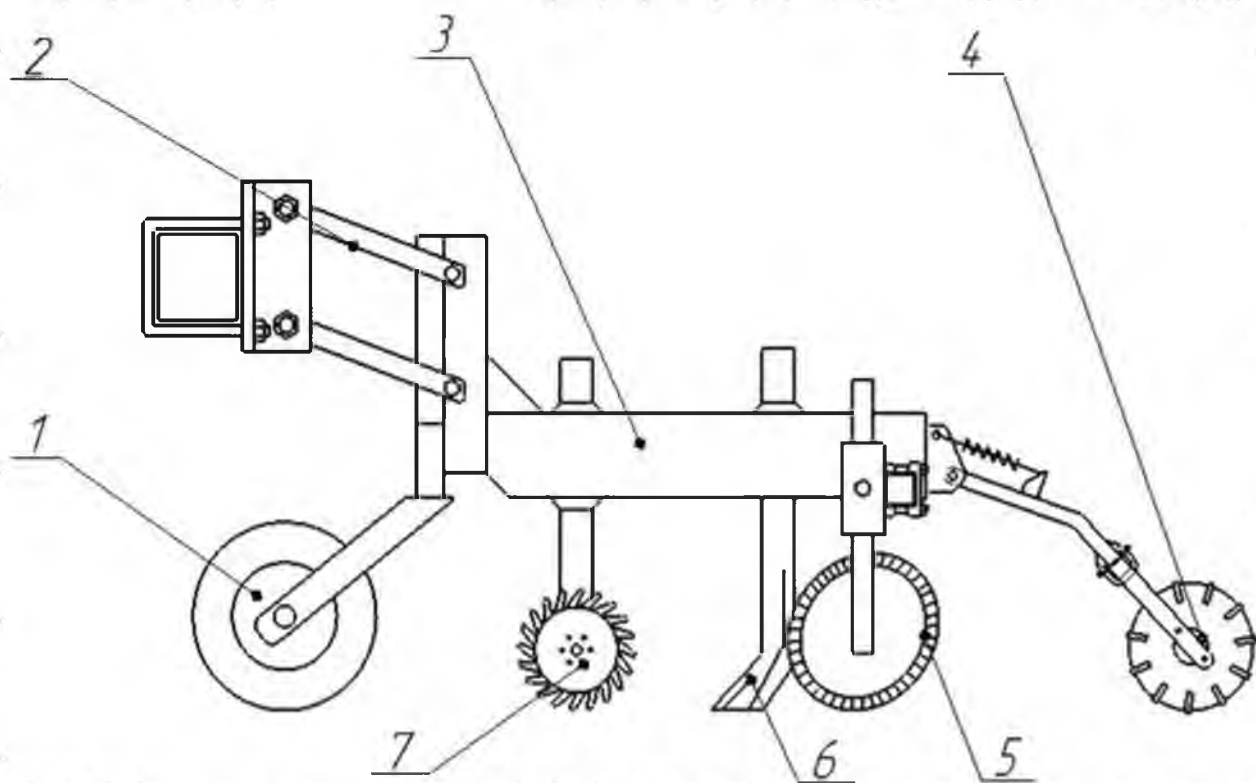


Рис 1.7. Культиватор Super Duty.

1 - диск підрізний з ребордою; 2 - механізм паралелограмний; 3 - рама; 4 - каток, що прикочує; 5 - диск; 6 - ніж з хвостовиком; 7 - зубчастий диск для очищення смуги

Ця конструкція культиватора має високу енергоємність процесу обробітку ґрунту.

На рисунку 1.8 показаний культиватор ALPHA II. Особливістю цього культиватора є можливість глибокого розпушування, встановлений в кінці голчастий коток покращує якість кришення ґрунту.

Недоліком культиватора є погане копіювання рельєфу поля та низька якість обробітку ґрунту.

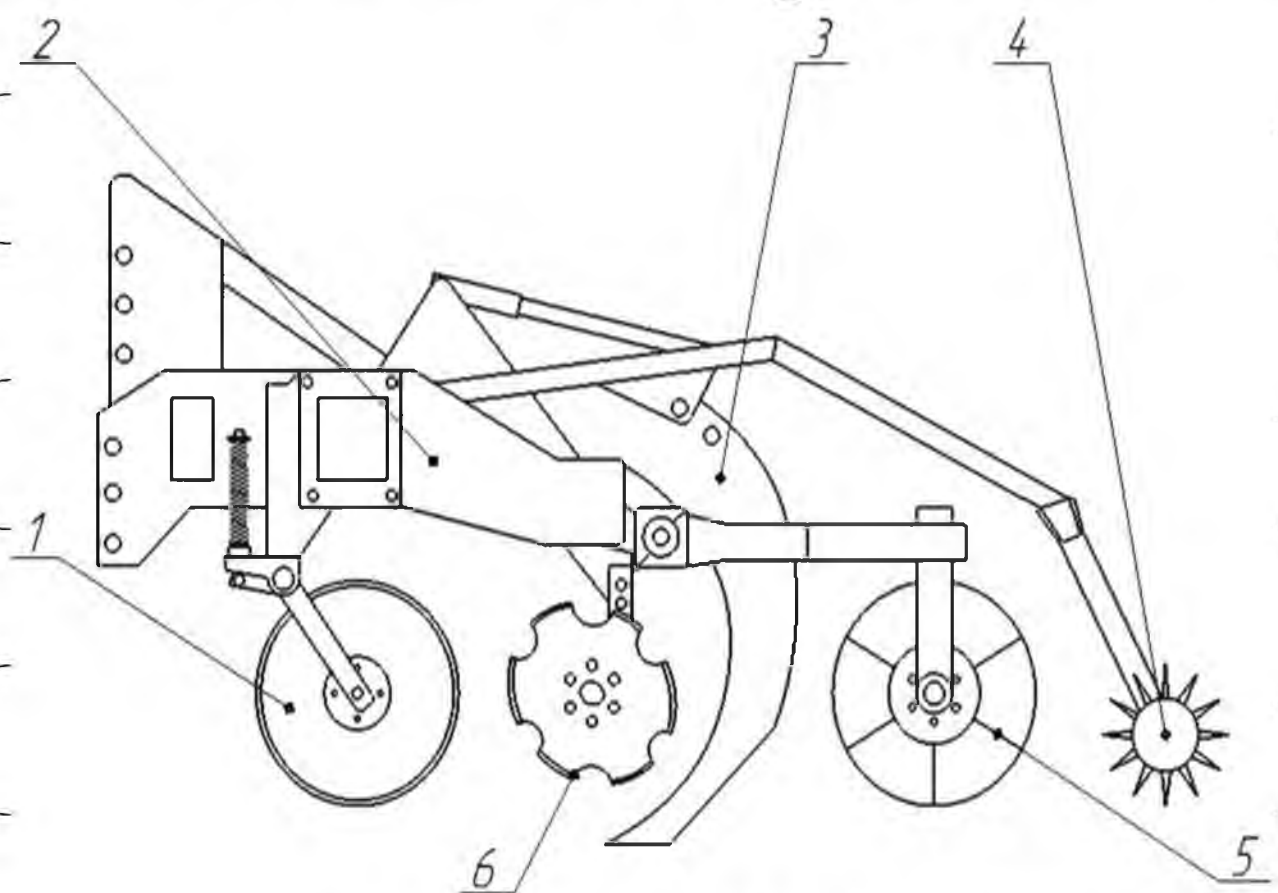


Рис. 1.8. Культиватор ALPHA II:

1 - диск передній; 2 - рама; 3 - глибокорозпушувач; 4 - коток, що прикочує; 5 - диск; 6 - диск сферичний зубчастий

На рисунку 1.9 зображено культиватор Artisanal, який має додаткову раму 2, перед якою знаходиться плоский диск 1, 7 є голчасті диски для очищення смуги, чизельний робочий орган на пружинній стійці 6 для формування гребеня на додатковій рамі, встановлені два диски 5 і коток, що прикочує 4.

Жорстке кріплення та відсутність механізму паралелограма спрощують конструкцію пристрою, проте втрачається його здатність легко адаптуватися до рельєфу.

В результаті проведеного аналізу конструкцій знарядь для смугового обробки ґрунту сформовано такі рекомендації для проектування конструкції культиватора.

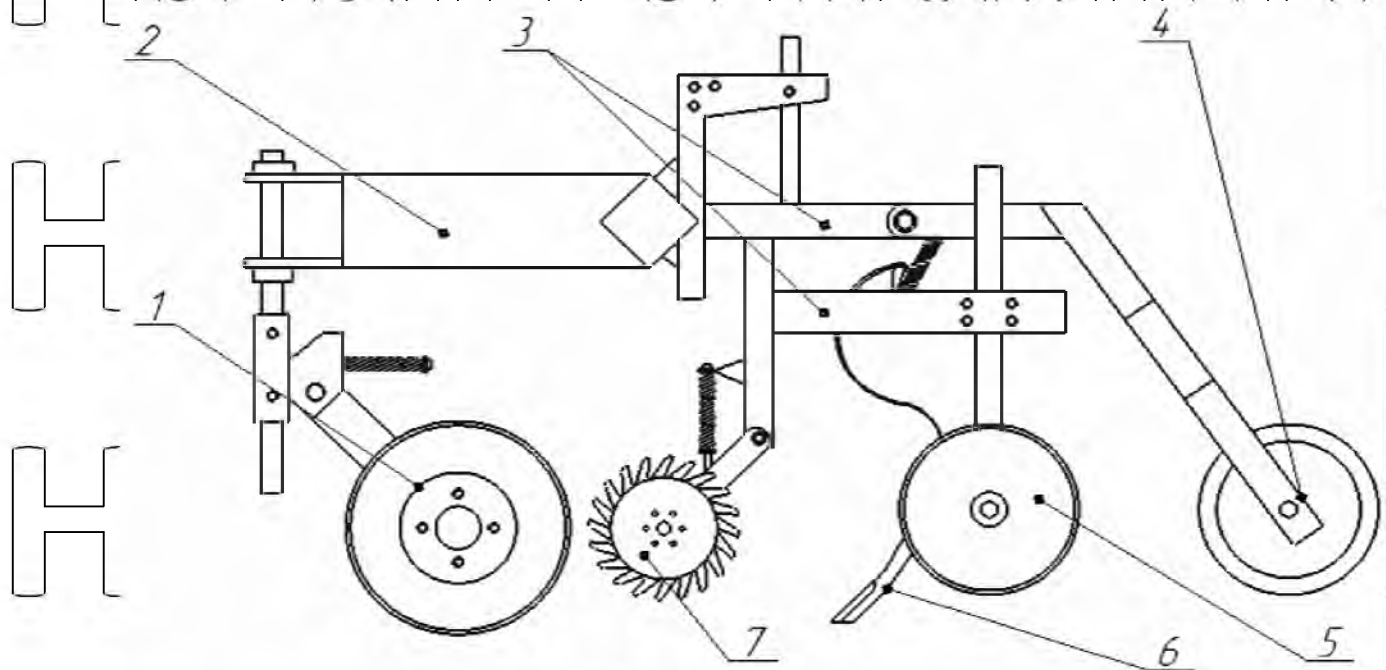


Рис. 1.9. Культиватор Artisanal:

1 – диск плоский; 2 – рама; 3 – рами допоміжні; 4 – коток, що прикочує; 5 – диск сферичний; 6 – шліувач на гнучкій стійці; 7 – диск для очищення смуги

- для плавної роботи культиватора та дотримання зазначеної робочої глибини бажано встановити турбодиск у передній частині;

- необхідно, щоб оброблена смуга лежала в межах від 0,25 до 0,28 м;

- стрічасті лапи не потрапляють у зазначений інтервал зони деформації, перевищуючи ці значення, тому доцільно використовувати долотоподібні стійки додатковою перевагою яких є менший опір робочого органу порівняно з стрічастими лапами;

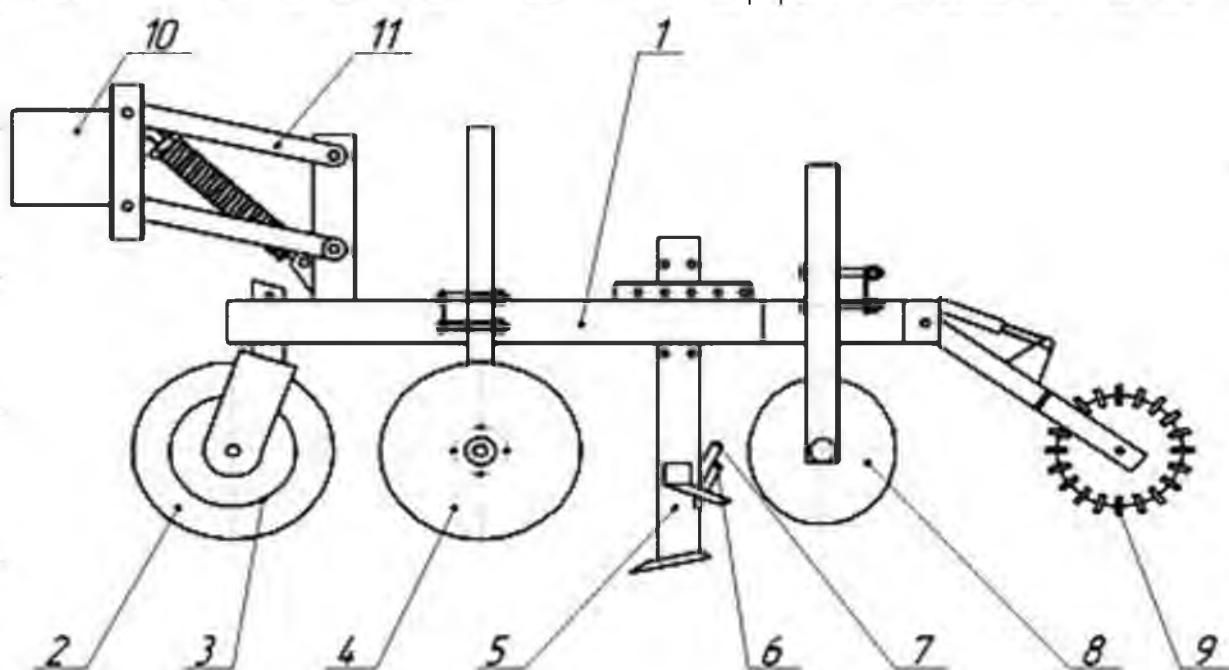
- найкращий спосіб для створення гребенів є використання сферичних дисків з гладким краєм, які мають бути розтошовані під кутом;

- на секції культиватора найкраще використовувати кільчасто шпоровий коток.

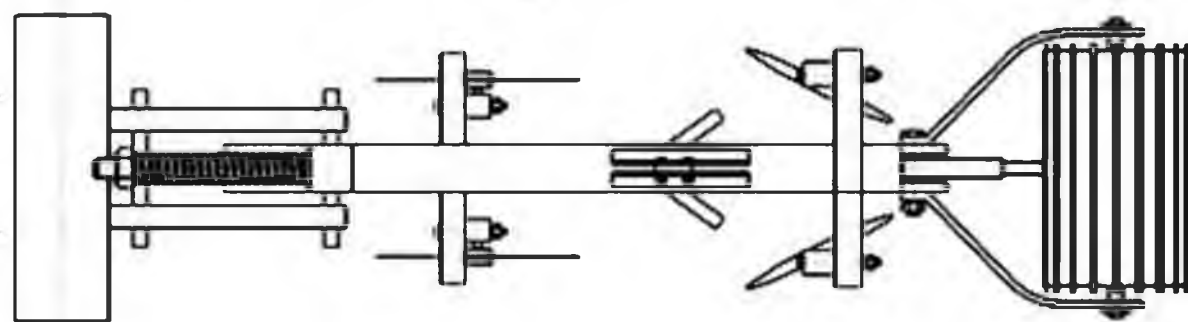
Кільчасто шпоровий коток забезпечує хороше розпушування та прикочування, одночасно зменшуючи опір коченню.

Оскільки при смуговому обробітку ґрунту обробляється лише близько $1/3$ поля то не можна допустити щоб обробіток ґрунту виявився суцільним.

Дослідження показують, що за відповідної глибини обробітку розпушувальними знаряддями деформація ґрунту одного знаряддя перекриває деформацію сусіднього, що не допускається.



A



B

Рис. 1.10. Робоча секція культиватора

Щоб усунути перекриття поперечного напрямку, слід встановити ширину смуги, що обробляється на 25 см. Щоб зменшити деформацію, спричинену розпушувачем, можна скористатися підрізними дисками, які розрізають щілину у обробленому шарі на зазначену глибину. У цьому випадку проміжок служить для обмеження зони деформації ґрунту. При цьому опір підрізним дискам мінімізується невеликою площею контакту та обертанням диска, який встановлений таким чином, що не відбувається деформації сусідніх зон. На

основі аналізу існуючих конструкцій культиватора для обробки міжрядь та усунення їх недоліків, ми пропонуємо таку структурну схему секції культиватора (рисунок 1.10).

Секція культиватора складається з кронштейна 1, на якому через натискну підвіску яка являє собою паралелограмний механізм 11, послідовно встановлені робочі секції.

Робоча секція для смугового обробітку ґрунту передбачає можливість різнорівневого внесення добрив, яка містить раму 1, послідовно встановлені дискові ножі 2, передбачені опорні ребра 3, два плоскі Диски 4, симетрично розташовані, щілювачу 5, тукопроводи для мінеральних гранульованих та рідких добрив 6, 7. У конструкції є два симетрично воудованих сферичні диски 8 протилежними кутами атаки 8, а також робочий орган, що привочує 9. Технологічний процес робочої секції для смугового обробітку ґрунту із різнорівневим внесенням добрив здійснюється наступним чином. Під час руху робочого органу дисковий ніж 2 заглиблюється в землю під впливом ваги робочої секції та дії натискної підвіски. 11. Ті що ідуть позаді дискового ножа симетрично встановлені диски 4, обрізають залишки врожаю та верхній шар ґрунту, обмежуючи тим самим зону деформації та руйнування шару ґрунту.

Щілювач 5 через тукопроводи 6 і 7 розпушує ґрунт, одночасно вносячи рідкі та мінеральні добрива на різній глибині. Сферичні диски 8 мають кути атаки, протилежні напрямку руху культиватора, і виконують функцію

загортання борозни сформовану щіловачем 5. Коток 9 прикочує, а також витримує встановлену глибину обробітку ґрунту. Конювання рельєфу та заглиблення робочих органів забезпечує натиска на підвіска 11.

Секція культиватора для смугового обробітку з різнорівневим внесенням добрив забезпечує рівномірний обробіток ґрунту на певній глибині, а також забезпечує різнорівнєве (об'ємне) внесення мінеральних гранульованих та рідких добрив.

1.5 Аналіз теоретичних досліджень

Дослідженнями проблеми смугового обробітку ґрунту займалися І.Б. Борисенко, П.А. Ішкін, Ю.А. Савельєв, Л.С. Соколов, М.К. Dararuneni, L.M. Lauriault, S.K. Dodla, O.J. Idowu, S.V. Angadi. Поряд з механічною обробкою ґрунту за технологією Strip-till актуальним є і одночасне внесення добрив в оброблювану смугу.

Дослідженнями локального внесення добрив в оброблювану смугу займалися В.В. Адамчук, А.М. Бондаренко, Д.Н. Безменніков, І.І. Іванов, В.М. Кудлагін, Н.К. Линник, В.К. Моїсеєнко, В.А. Ричков, П.А. Н.Г. Тальвінська, В.К. Трапезніков, Б.Г. Хвоцевидні, Є.П. Шеховцова, Ч.Н. Шиян, П.А. Юнкін, В.В. Якушев, C.J. Baker, P.R. Hobbs, S.E. Justice, D.C. Reicosky, W.R. Ritchie, K.E. Saxton.

Сьогодні велика увага приділяється теоретичним дослідженням, спрямованим на вивчення процесів взаємодії робочих органів сільськогосподарських машин з ґрунтовим середовищем.

Серед чисельних технологічних операцій, які використовуються при обробітку сільськогосподарських культур, найбільші витрати енергії припадають на операції з обробки ґрунту. Навіть при енергозберігаючих технологіях мінімального обробітку ґрунту (технологіях No-Till та Strip-Till) НЕ виключається взаємодія робочих інструментів культиваторів і сівалок з ґрунтом

[105, 106]. У зв'язку з цим при розробці нових і вдосконаленні існуючих робочих органів культиваторів необхідно особливо увагу приділити зниженню їх тягового опору [79].

При розробці та вдосконаленні робочих органів ґрунтообробних та посівних машин в останні роки використовуються різні методи моделювання технологічного процесу обробки ґрунту.

Метод моделювання залежить від моделі фізико-математичного уявлення ґрунту. Моделі фізико-математичного уявлення ґрунту в дослідженнях можна звести до двох основних типів: дискретної і суцільний середовищі.

У дискретних моделях ґрунтова середовище розглядається як система, складається з безлічі окремих частинок. При виборі суцільного середовища використовуються моделі представлення ґрунту у вигляді твердого, пружного або пластичного тіла.

В останні роки моделювання процесів взаємодії інструментів з зовнішніми середовищами класифікують за методами чисельної реалізації та застосовуваного обчислювального апарату (комп'ютерних програм). Моделі процесу обробки ґрунту в залежності від методів чисельної реалізації можна поділити на три основних види:

1. Моделі з використанням методу обчислювальної гідродинаміки (CFD метод) [83, 85, 95, 96, 97];
2. Моделі з використанням методу дискретних елементів (МДЕ) [71, 76, 88, 108, 114];

3. Моделі з використанням методу скінченних елементів (FEM-метод).

Моделі ґрунтового середовища у вигляді твердого пружного тіла реалізуються методом скінченних елементів (МСЕ - FEM (англ.)).

У роботі [63] представлено результати взаємодії робочого органу з плоскою поверхнею з ґрунтовым середовищем за методом кінцевих елементів порівняно з експериментально отриманими даними. Модель Друкера-Прагера була використана для моделювання технологічного процесу обробки ґрунту. Дослідники показують, що розподіл серцевини для ущільнення ґрунту перед

краєм робочого інструменту, а також розподіл вертикальної та горизонтальної складових опорної сили значною мірою залежать від кута положення робочого органу в горизонтальній та вертикальній площинах.

Дослідники демонструють високу збіжність результатів моделювання кінцевих елементів за допомогою комп'ютера, коли досліджують вплив ущільнення на робочі органи за експериментально отриманими даними.

Однак, на думку авторів, метод скінченних елементів недостатньо описує процес різання, переміщення та перемішування ґрунту.

А. Елнор, С. Давуді [73] досліджували взаємодію ґрунтового середовища з плоскими робочими органами на основі методу кінцевих елементів (МКЕ). Результати показали, що метод скінченних елементів дозволяє оцінити деформований напружено-напружений стан ґрунту під час обробки за допомогою обладнання для обробки ґрунту. Однак отримані результати стосуються ґрунтів з піщаною текстурою.

Х. Бенгахер [68] застосував метод скінченних елементів до напружено-деформованого стану ґрунтового шару при взаємодії з робочою поверхнею корпусу плуга. Слід зазначити, що метод скінченних елементів добре описує різання шару ґрунту. Однак не зовсім правильне зображення видно в зоні контакту робочої поверхні з ґрунтом під час обертання шва, це не зовсім правильний розподіл тиску на поверхні, що в свою чергу спотворює картину розподілу тиску на шарі ґрунту. Для того, щоб покращити результати, необхідно враховувати тертя між шаром ґрунту та робочою поверхнею, що на думку авторів, викликає певні труднощі при впровадженні після методу скінченних елементів.

У роботі [77] було запропоновано розглянути взаємодію робочого органу - корпусу плуга з ґрунтовим середовищем за методом скінченних обсягів за допомогою віртуального середовища. Параметри середовища в певному об'ємі наведені з урахуванням значень нормальних напружень на робочій поверхні корпусу плуга, які раніше були з п'єзорезистивними перетворювачами в польових умовах. За допомогою моделі була отримана діаграма тиску на робочій

поверхні. Водночас дослідники відзначають, що навколишнє середовище жодним чином не описує фізичні властивості ґрунту та його поведінку під час технологічного процесу, а лише описує розподіл нормальній напруги на робочій поверхні.

У роботі А. Елнора [59] пропонується досліджувати напружено-деформований стан ґрунту перед робочим органом методом скінченних елементів. У статті представлені результати силової взаємодії робочого органу, результати зміщення шару ґрунту, а також результати непрямой оцінки якості ґрунтової суміші. Слід зазначити, що отримані результати не відрізняються від отриманих експериментально більш ніж на 10%. Однак суттєве значення на отримані результати, особливо при силовому аналізі, впливає щільність сітки.

У роботі Р. Джафарі [82], можливість моделювання технологічного обробітку ґрунту за методом скінченних елементів за допомогою моделі Друкера-Прагера в комплексі програмного забезпечення ANSYS. У дослідженні напружено-деформованого стану та оцінці енергії робочого органу отримані результати відхиляються від експериментально отриманих результатів. Автори пояснюють це тим, що за допомогою моделі еластично-пластичного ґрунту Друкера-Прагера неможливо імітувати тріщину, що виникає під час роботи справжнього ґрунтообробного знаряддя.

На думку авторів, метод скінченних елементів досить реально описує процес ущільнення ґрунту перед робочим органом, за допомогою цієї моделі можна визначати параметри енергії робочого органу. Можна з високим ступенем достовірності оцінити зміщення ґрунту, але важко вивчити процес руйнування та перемішування.

Аналіз роботи з моделювання обробітку ґрунту за методом FEM -Method, показує, що цей метод дозволяє описати напружено-деформований стан ґрунту, але дослідження процесів переміщення частинок ґрунту неможливе.

Метод дискретних елементів для моделювання процесу обробітку ґрунту останнім часом широко використовується вченими з різних країн. Цей метод добре описує процес переміщення частинок при взаємодії з робочими

інструментами ґрунтообробних машин і може при оптимізації конструктивних та технологічних параметрів функціонування.

Метод дискретних елементів був вперше запропонований Cundall и Strack [72] як метод аналізу руху частинок. Силу та рух частинок визначали за статичною силою контакту між частинками та законами Ньютона. Дж. Флейшманн, Р. Сербан, Д. Негрут В роботі використовують метод дискретних елементів для дослідження властивостей міцності різних типів ґрунту та порівняння отриманих результатів з отриманими експериментально [76].

CJ Coetzee, D.N.J.Елс використовує метод дискретних елементів і вивчає тертя між частинками, а також описує процес взаємного зміщення частинок ґрунту під впливом робочих органів, а також процес самоосипання [71].

Для моделювання технологічного процесу оранки плугом М. Укгул, К. Сондерс, Дж. М. Фільке використовували метод дискретних елементів, при моделюванні технологічного процесу оранки відвальним плугом. Розглядаються питання перемішування ґрунтових частинок при оберті пласта, а також отримані результати щодо силового аналізу корпусу плуга. [117].

На основі отриманих результатів була розроблена модель взаємодії ґрунту з робочим органом [89]. Я. Шмулевич розглянув питання про використання методу дискретних елементів як інструменту моделювання процесу обробки ґрунту та виділив основні переваги методу. Крім того, він підкреслив одну з основних недоліків методу - неможливість дослідження напружено-деформованого стану ґрунту, як наприклад у методі обчислювальної Гідродинаміки (CFD) [108].

К. Тамас досліджував взаємодію ґрунтових частинок при моделюванні процесу обробки ґрунту лаповим робочим органом за допомогою методу дискретних елементів. Вибір властивостей частинок ґрунтувався на фізико-механічних властивостях реального ґрунту. Отримані результати мають достатню збіжність [110].

Аналіз цієї роботи показав, що достовірність даних, отриманих при використанні методу МДЕ, особливо при оцінюванні тягового опору робочих

органів, багато в чому залежить від правильного калібрування дискретних частинок та обраної моделі їх контакту. Крім того, метод дискретних елементів не дозволяє оцінювати процеси ущільнення та розпушування шару ґрунту.

Метод обчислювальної гідродинаміки (метод CFD) також використовується для моделювання процесу взаємодії робочого органу ґрунтообробних машин з ґрунтом.

Л. Чжу, Дж. Р. Ге, Х. Ченг, С. С. Пенг, УУ, Бі, ВФ Жанг, ДВ Жу [122].

Використовували метод CFD для моделювання процесу розподілу тиску від сторони оброблюваного ґрунту до частини горизонтального оборотного

плуга (Горизонтальний оборотний плуг). Отримані тривимірні зображення розподілу тиску ґрунту на поверхні пристрою були використані для оцінки зносу та довговічності пристрою. стор. Кармакар, Р. Л. Кунхваха [83, 85] оцінив напружено-деформований стан ґрунтового шару при взаємодії з вузьким вертикальним робочим органом.

У цьому випадку була використана модель вільної поверхні, яка дала можливість візуалізувати процес борозенки після проходження робочого органу та утворення гребеня перед ним. Узгодження результатів моделювання з реальними експериментальними значеннями було досягнуто лише за низької

глибини ходу робочого органу та меншої робочої швидкості. ○○

Мударісов С.Г. В якості моделі ґрунту використав релогічну модель ньютонівської в'язкої рідини [95, 96, 97]. Результати Мударісова С.Г. [92]

дозволили встановити, що зміни значень тисків, сил і моментів, які діють на робочі органи ґрунтообробних машин, сильно залежать від в'язкості модельованого середовища.

У майбутньому С. Мударісов, Г. Методи енергетичної оцінки робочих органів ґрунтообробних машин були розроблені за допомогою комп'ютерної програми FlowVision та відповідності між властивостями реального ґрунту та в'язкої рідини комп'ютерної моделі [94, 98]. ○○

Погодженість результатів, отриманих із моделювання методів МДЕ та CFD з реальним процесом обробітку ґрунту з урахуванням енергоємності процесу

значною мірою обумовлена фізичними властивостями середовищ, що моделюються.

У зв'язку з цим у цій дипломній роботі зроблено спробу використати метод дискретних елементів та числову гідродинаміку для розробки моделей процесу взаємодії робочих органів культиватора для смугового обробітку ґрунту, обґрунтування його параметрів на основі цих моделей та порівняння результатів моделювання, отриманих методами MDE та CFD, методами та порівняння цих даних з реальними значеннями польових випробувань.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ І ПАРАМЕТРІВ СЕКЦІЇ КУЛЬТИВАТОРІВ

2.1 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми секцій

культиватора для смугової обробки ґрунту.

Аналіз існуючих конструкцій культиваторів для обробітку ґрунтових смуг виявив ряд загальних характерних недоліків, таких як відсутність механізму паралелограма для копіювання рельєфу ґрунту (на деяких моделях); висока вартість та складність виробництва оригінальних запасних частин; відсутність внутрішньогрунтового об'ємного внесення добрив під час обробітку ґрунту; висока енергоємність процесу обробітку ґрунту; Недостатня стабільність структури кріплення ріжучого диска до навісного культиватора. Для усунення зазначених вище недоліків ми пропонуємо конструкцію культиватора для смугового обробітку ґрунту в якому ми спробували поєднати переваги існуючих конструкцій культиваторів.

Пропонована конструкція культиватора має наступні конструктивні особливості:

- 1) Використання пружинного механізму на котку, що прикочує забезпечує щільне коткування смуги;
- 2) використання вдосконаленого механізму копіювання рельєфу оброблюваного поля;
- 3) Налаштування глибини ходу здійснюється шляхом переміщення дискового ножа з гвинтовим механізмом у вертикальній площині.

Для обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів розробленого культиватора для смугового обробітку ґрунту представлено схему розміщення робочих органів на рамі секції. (рис. 2.1).

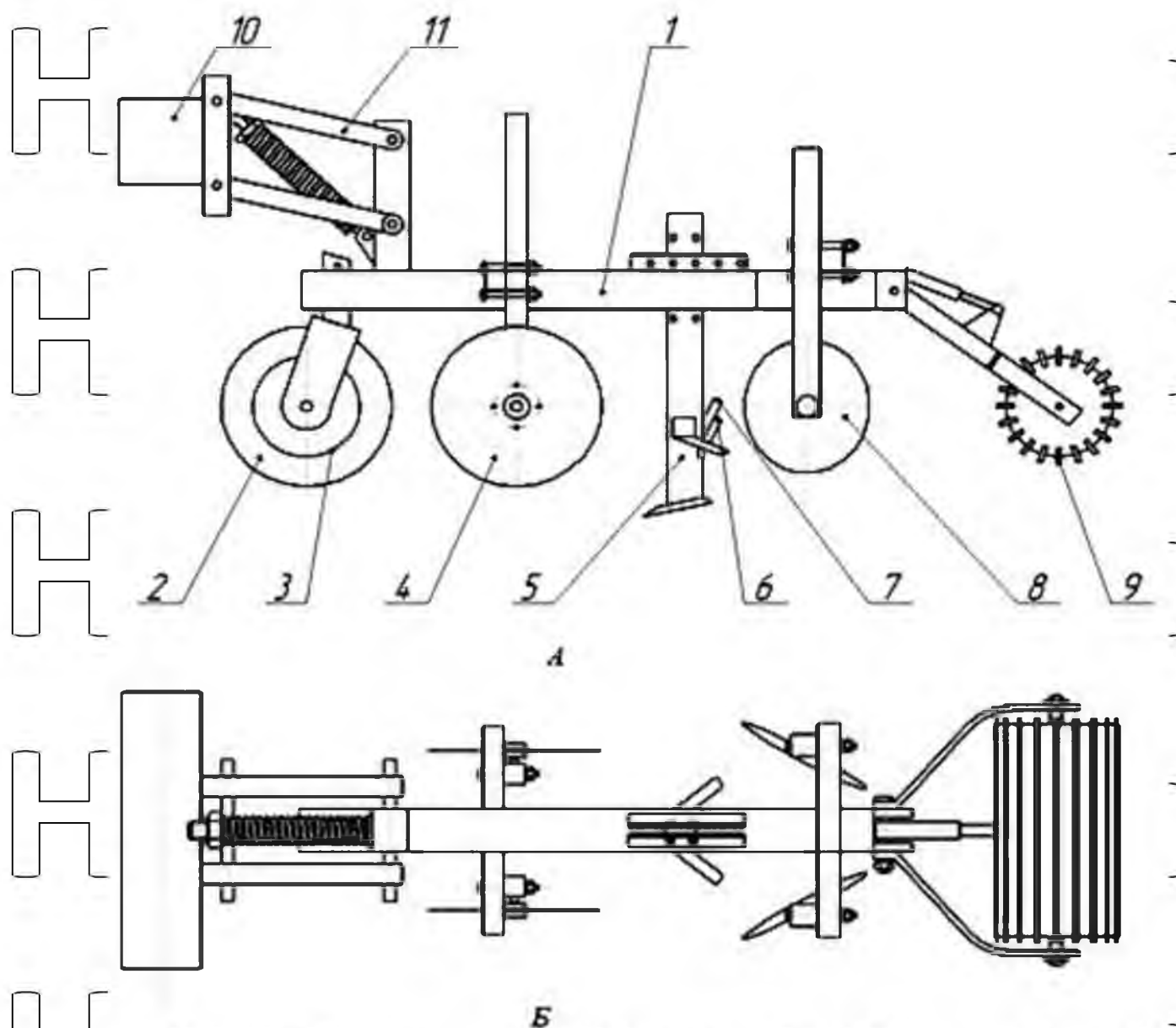


Рис 2.1. Робоча секція розробленого культиватора

Схема культиватора для смугового обробітку ґрунту з об'ємним внесенням добрив забезпечує рівномірний обробіток ґрунту на задану глибину та зменшити енергоємність обробітку ґрунту.

Крім обробітку ґрунту певної ширини, секція культиватора, що розробляється повинна забезпечувати об'ємне внутрішньогрунтове внесення рідких та гранульованих добрив.

Для цього на стійці щільовача на певній висоті просвердлюються отвори з внутрішнім різьбленням, з можливістю кріплення на них пожив з удобрювачем для внесення

рідкого мінерального добрива, а також є 2-й удобрювач. При цьому ножі з удобрювачами розташовані симетрично по обидва боки стійки щілювача під гострим кутом до горизонтальної поперечної площини, а нарізання щілин відбувається під кутом $30 \dots 45$ градусів.

На рисунку 2.9 (А) показано робочий орган щілювача, який складається зі стійки 1, долота 2 та розсікача 3 зменшення опору робочого органу. На стійці 1 пригвинчені ножі 4 з трубчастими удобрювачами 5, які розташовані під кутом α до вертикальної площини. На кінцях ножів приварені 6 подрібнювачі для нарізання щілин, в які краще проникають добрива.

На рисунку 2.9 (В) показаний переріз ВВ, спосіб кріплення ножі 4 з добривом 5 до стійці щілювача 1 за допомогою гвинтів 7 з внутрішньою шестигранною головкою.

Рисунок 2.9 (В) показано вид А, де під гострим кутом β до горизонтальної площини розташовується ніж удобрювач 4 при цьому нарізання щілин відбувається під кутом $30 \dots 45^\circ$ шириною захоплення θ , висотою установки a .

Дільник 8 розсікає вертикально падаюче рідке добриво рівномірно на праву та на ліву сторони.

На фігурі 4 зображено розріз СС з ножем 4 та удобрювача 5. Ніж 4 має ріжучу кромку з кутом скосу α під кутом γ , верхня приварена частина направляючої частина удобрювача знаходиться під кутом γ . Робочий орган для внесення добрив, що містить розташовану під кутом $30 \dots 45^\circ$ стійку щілювача з розсікачем і долотом, що відрізняється тим, що оснащений ножем з удобрювачем, при чому ніж має ріжучу кромку утворену виконаним під кутом скосом, розташований під гострим кутом до горизонтально-поперечної площини та пригвинчений до стійки болтами, до якої приварений удобрювач, при цьому удобрювач виконаний з плавним радіусом вигину. Робочий орган ніж з удобрювачем, що використовується в технології смугового обробітку, працює наступним чином. Коли пристрій рухається полем, ножі з удобрювачами заглиблюються в орний шар ґрунту та утворюють похилі щілини в поперечній

площині, а нарізання щілин відбувається під кутом $30 \dots 45^\circ$. Одночасно ніж ріже щілини з частковим кришенням ґрунту і удобрювач подає добриво. Після проходження пристрою у верхньому шарі ґрунту, добрива розподіляються у вигляді похилих смуг на заданому рівні.

Ця внесення добрив запобігає випаровуванню, вимиванню та вивітрюванню з поверхні ґрунту та забезпечує рівномірне живлення рослин протягом вегетаційного періоду від сходів до повного дозрівання. Підживлення рослин як окремих технологічний процес дозволяє використовувати природні процеси для обробки ґрунту, завдяки чому покращуються агротехнічні вимоги.

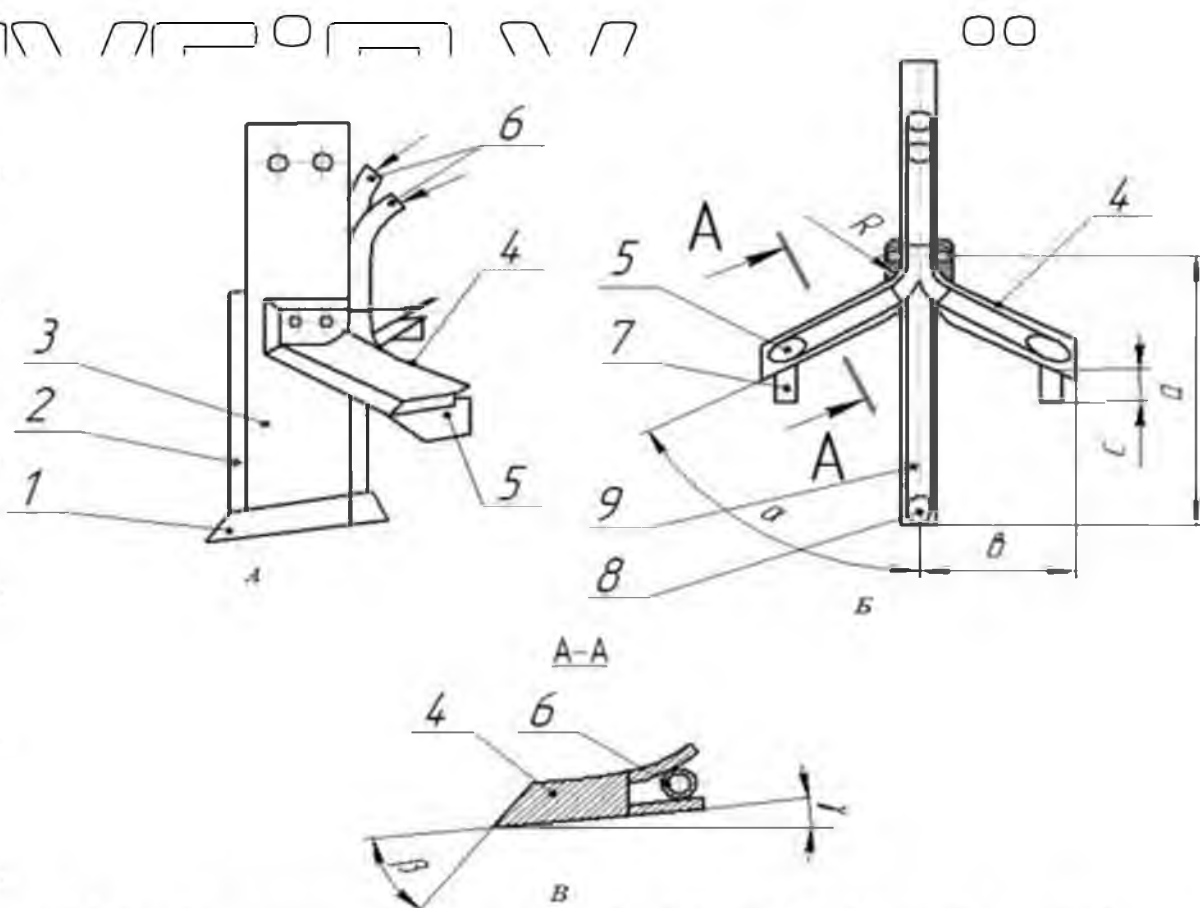


Рис. 2.2. Схема робочого органу для внесення добрив:

1 – долото; 2 – розсікач; 3 – стійка; 4 – ніж; 5, 8 – Накінечник-живильник; 6, 9 – трубчастий удобрювач; 7 – Вертикальний щілювач;

Проведемо конструкторсько-технологічне обґрунтування розробленої схеми на рисунку 2.3 представлена розрахункова схема розміщення робочих органів на

рамі знаряддя. На схемі вказано конструктивні параметри, що характеризують положення робочих органів секції у просторі відносно один до одного та оброблювальної поверхні. (рис. 2.3)

Програма містить три основні етапи дослідження:

- аналіз технології смугового обробітку ґрунту (Strip -Till)
- моделювання обробітку ґрунту секцією культиватора та моделювання процесу внесення рідких добрив, оцінка адекватності моделей за експериментальними методами;
- аналіз результатів дослідження.



Рис. 2.3. Програма дослідження

Проведемо конструктивне та технологічне обґрунтування розробленої схеми. На рисунку 2.3 показана схема побудови робочих органів на рамі

пристрою. Діаграма показує конструктивні параметри, які характеризують положення ріжучих робочих органів у просторі один до одного та оброблену поверхню.

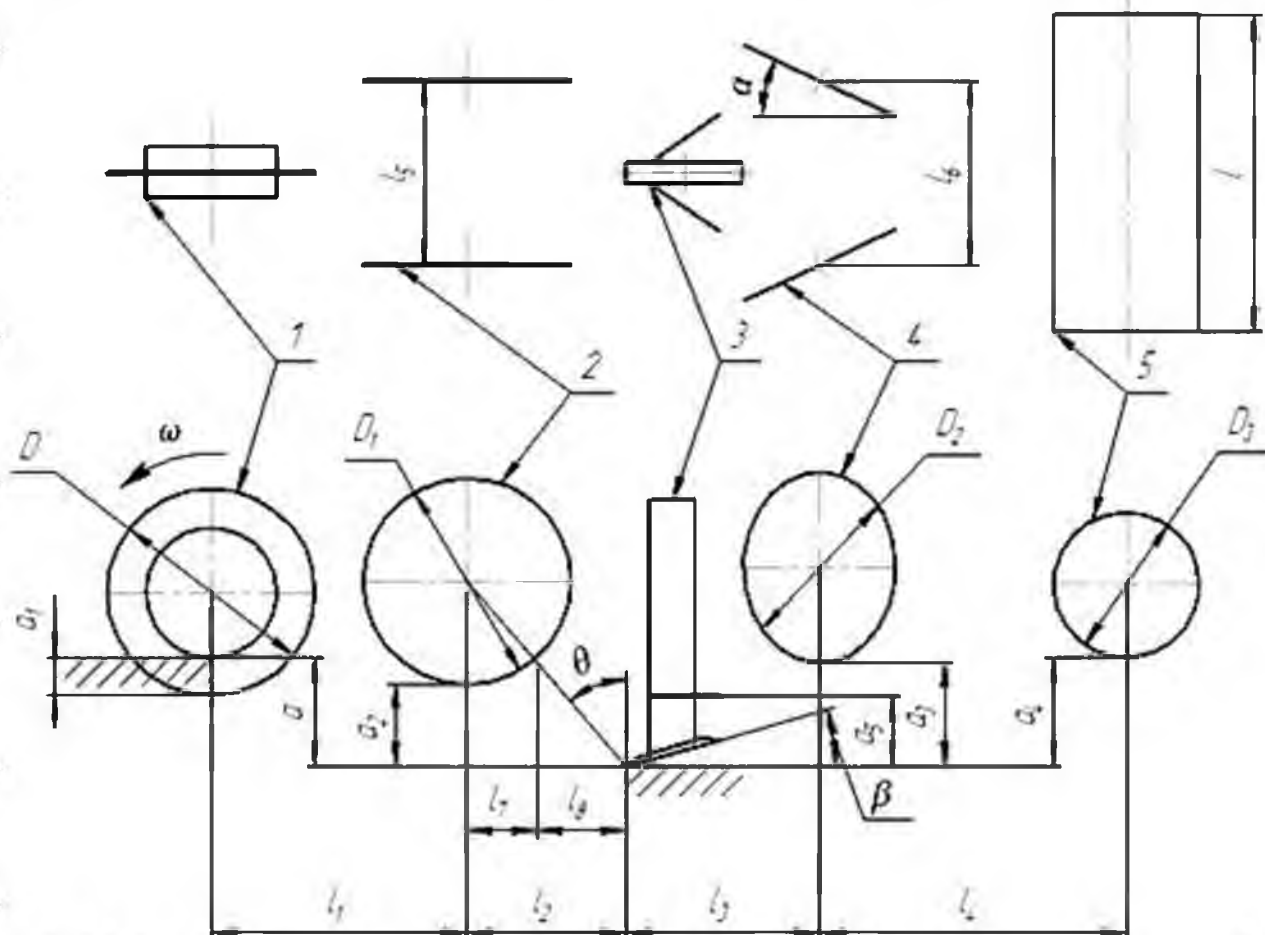


Рис. 2.4. Схема розположення робочих органів на рамі пристрою;

1 – диск передній розрізний; 2 – диски задні розрізні; 3 – щільовач з ножами; 4 – диски сферичні завалюючі; 5 – коток планчастий, l_1 – відстань між осями переднього і задніх розрізних дисків; l_2 – відстань між передом щільовача і віссю задніх розрізних дисків; l_3 – відстань між передом щільовача і віссю завалюючих сферичних дисків; l_4 – відстань між осями сферичних дисків, що завалюють, і планчастим котком; l_5 – відстань між задніми сферичними дисками у поперечному напрямку

В результаті аналізу технологій обробки ґрунту було виявлено:

- положення робочого органу на стійці щільовача має значний вплив на якість внесення добрив та тяговий опір знаряддя;

- Для того, щоб збільшити врожайність сільськогосподарських культур, необхідно провести об'ємне внутрішньогрунтове внесення добрив на глибині оброблюваного шару;

- Внесення добрив безпосередньо в ґрунт на різних глибинах сприяє покращенню живлення рослин і дозволяє скоротити операції з підживлення рослин.

- робочий орган забезпечує основний обробіток ґрунту на ширину смуги шириною від 15 до 25 см, тоді як приблизно 60% посівних площ не обробляються, що, у свою чергу, призводить до зниження енергетичних витрат.

2.2 Обґрунтування відстані між робочими органами

Щоб уникнути засмічення ґрунту рослинними залишками між робочими органами, ділянки зони деформації ґрунту кожного з них не повинні перетинатися відповідно до схеми (рисунк 2.8) відстань між робочими органами буде визначена наступним чином.

Розрихлювальний робочий орган характеризується наступними параметрами:

a - глибина обробки, м ($a = 0,25$ м);

β - кут постановки долота до дна борозни, град;

b - ширина захвату долота, м ($b = 0,03$ м);

bg - ширина зони розпушування долота, м;

l_1 - виліт долота щодо стійки, м ($l_1 = 0,05$ м);

l_2 - відстань між диском і розпушувальним робочим органом, м

$$l_2 = a \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \quad (2.4)$$

де α - кут кришення ($\alpha = 20^\circ$), φ - кут тертя ґрунту по матеріалу долота ($\varphi > 20 \dots 30^\circ$), [11].

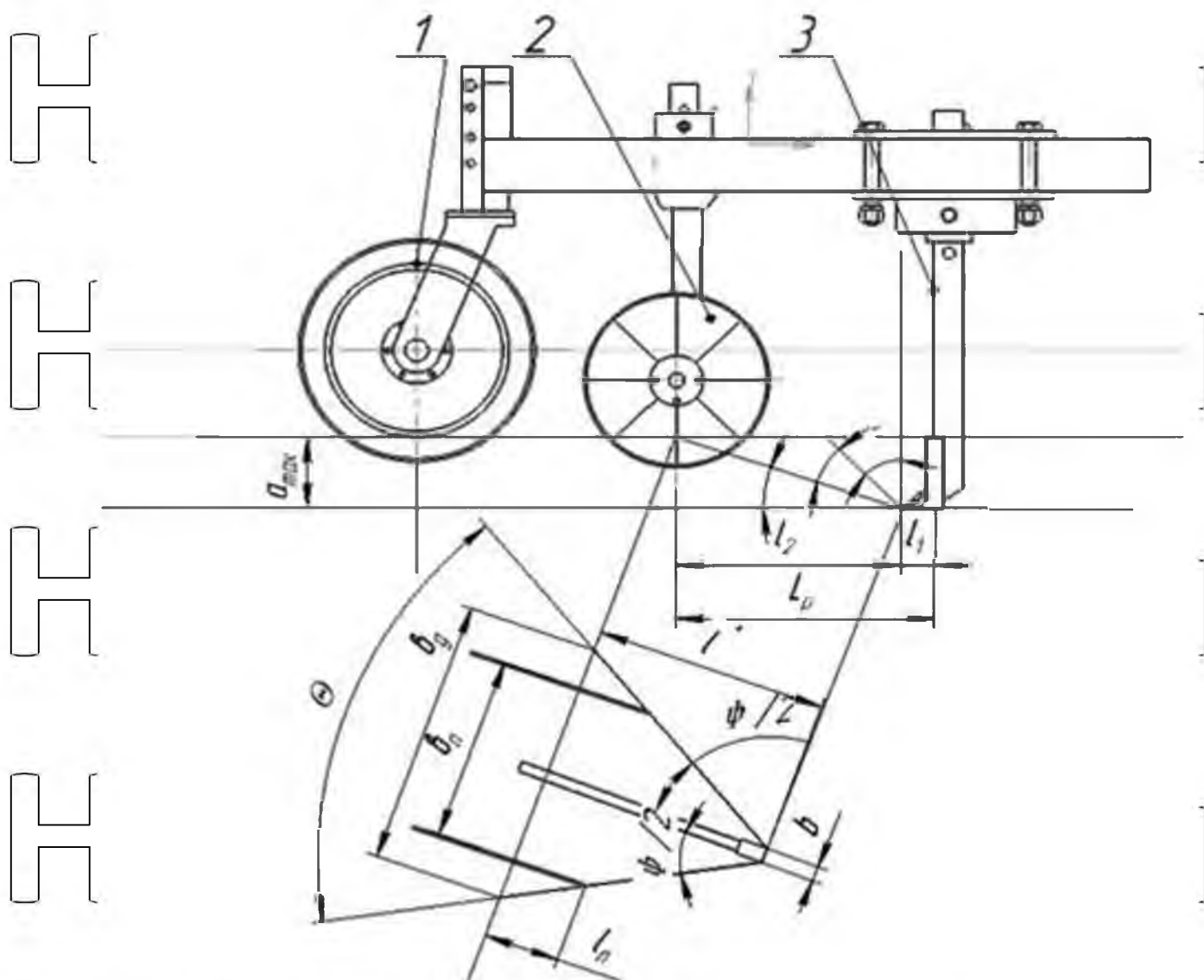


Рис. 2.8. Розташування робочих органів культиватора:

1 – розрізний диск з ребордами; 2 – підрізні диски; 3 – розпушувач

Зона поширення деформації ґрунту в поздовжньому напрямку залежить від величини α , а також від кутів α і ϕ . При зменшенні відстані від долота до підрізних дисків може призвести до заклинювання ґрунту, а збільшення відстані до невиправданого подовження конструкції. Зона деформації визначається з формули 2.7.

Кут, що характеризує область деформації в поперечному напрямку ґрунту в площині сколювання

$$\theta = 2\phi_2 \quad (2.5)$$

Кут ψ сколювання ґрунту може бути визначений за формулою В.П. Горячіна [10]:

$$\psi = 90^\circ - \frac{\alpha + \varphi_1 + \varphi_2}{2} \quad (2.6)$$

де φ_1 – кут тертя ґрунту по матеріалу лані, φ_2 – кут внутрішнього тертя ґрунту. $\varphi_1 = 20^\circ \dots 30^\circ$, $\varphi_2 = 30^\circ \dots 40^\circ$ [8]:

Потрібно визначити глибину деформації l . Вона визначається за

формулою:

$l^* = \sqrt{l^2 + a_{max}^2} = \sqrt{0,0036^2 + 0,25^2} = 0,3 \text{ м}$ (2.7)

Відстань між щільованими і підрізними дисками L_p визначається як

$$L_p = l_1 + l_2$$

$$L_p = (0,05 + (0,25 \cdot \text{tg}(25^\circ + 35^\circ))) = 0,3 \text{ м} \quad (2.8)$$

Для визначення деформації в поперечному напрямку ми використовуємо формулу

$$v_g = v + 2a \cdot \text{tg} 2\varphi = 0,05 + 2 \cdot 0,25 \cdot \text{tg} 26^\circ = 0,6 \text{ м} \quad (2.9)$$

Виходячи з результатів формули 2.9 зона деформації в поперечному напрямку становить $v_g = 0,6 \text{ м}$, з (рисунка 2.9 а) видно що, при заданих значеннях зона деформації в поперечному напрямку перетинається з деформацією сусіднього робочого органу, що є недопустимим для технології смугової обробки ґрунту.

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

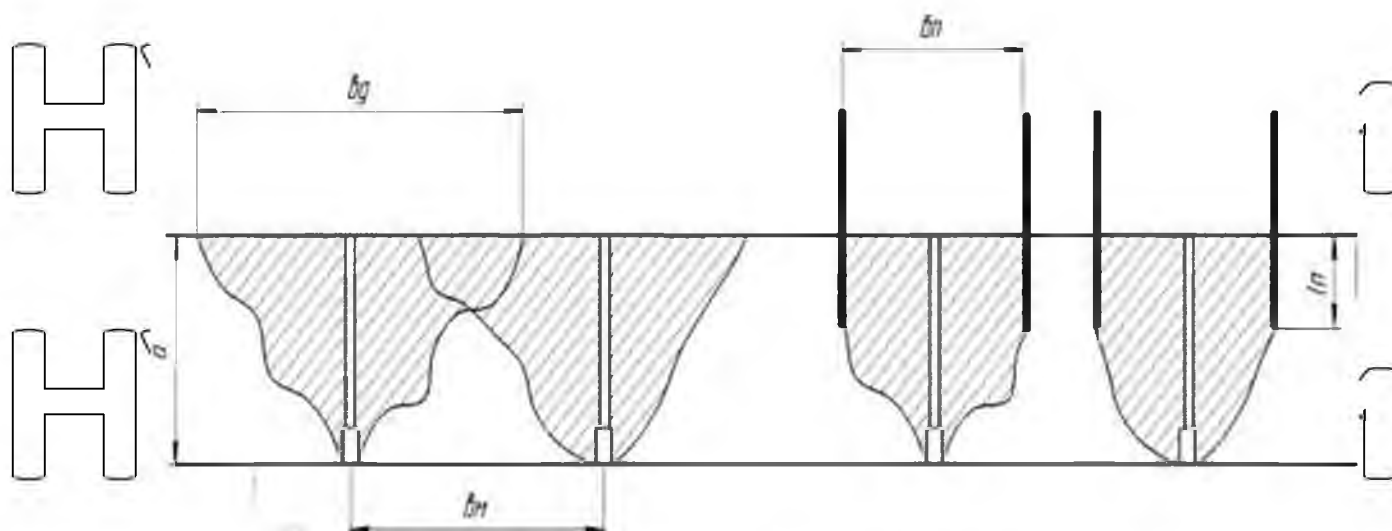


Рис. 2.9. Схема деформації ґрунту розпушувачем:

а) деформація ґрунту розпушувачем; б) деформація ґрунту із застосуванням розрізних дисків

Таким чином, на основі теоретичних розрахунків отримані наступні конструктивно-технологічні параметри секції культиватора для смугової обробки ґрунту:

- ширина осей верхнього ярусу обробки та внесення добрив $B_1 = 0,18$ м;
- відстань між щільовачем і підрізними дисками органами $L_p = 0,3$ м;
- глибина ходу розрізних дисків $l_n = 0,1$ м;
- відстань між розрізними дисками $b_n = 0,25$ м;

2.3 Теоретичне визначення тягового опору секції культиватора

Для вибору енергетичного засобу для агрегування культиватора необхідно визначити його тяговий опір, який показує фізичну сутність взаємодії робочих органів з ґрунтом. Тяговий опір секції культиватора $P_{\text{тяг}}$ можна визначити як суму складових тягових опорів кожного робочого органу.

$$P_{\text{тяг}} = P_{\text{тд}} + 2 \cdot P_{\text{тд}} + P_{\text{щел}} + 2 \cdot P_{\text{сд}} + P_{\text{кат}} \quad (2.10)$$

де $P_{\text{тд}}$ - опір турбодиска, Н; $P_{\text{тд}}$ - опір підрізних турбодисків, Н; $P_{\text{щел}}$ - опір щіловача з ножами, Н; $P_{\text{сд}}$ - опір сферичних дисків, Н; $P_{\text{щел}}$ - опір прикочуючими катка, Н.

$$P_{\text{тд}} = a \cdot k_d \quad (2.11)$$

де a - глибина обробки, k_d - розрахунковий питомий опір ножа на 1 см глибини при товщині спинки 10 ... 17 мм становить $k_d = 5 \dots 9 \text{ Н/см}$.

Тяговий опір розпушувального робочого органу складається з сил, які затрачуються на підрізання пласта ґрунту лезом долота і ножем стійки, на тертя ґрунту об долото і стійку робочого органу, на підйом і розпушування ґрунту.

значення цих сил залежить від параметрів долота і стійки

Тяговий опір розпушувального робочого органу (щіловача)

$$P_{\text{щел}} = k \cdot b_d \cdot h \quad (2.12)$$

де k - питомий тяговий опір різанню, Н / м; b_d - ширина долота, м; h - глибина обробки, м.

Відомо, що у дискових робочих органів тяговий опір менший ніж у розпушувальних робочих органів, тому що сили тертя ґрунту по диску переходять на силу перекочування.

При деформації ґрунту зсувом питомий опір ґрунту різанню

$$k = \frac{\tau_{\text{max}} \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin(\alpha - \varphi)}{\cos^2(\alpha + \varphi + \varphi_1) / 2} \quad (2.13)$$

де α - кут установки долота до дна борозни; τ_{max} - напруга чистого зсуву; φ і φ_1 - кут зовнішнього і внутрішнього тертя ґрунту.

Тяговий опір хвилястого диска

$$P_{\text{сд}} = \frac{P_{\text{тд}}}{\tau g(\alpha_{\text{вд}} + \varphi_{\text{вд}})} \quad (2.14)$$

де $\alpha_{\text{вд}}$ - кут установки ножа до напрямку руху ($\alpha = 10 \dots 12$), $\varphi_{\text{вд}}$ - кут (зовнішнього) тертя ґрунту по металу ($\varphi = 23 \dots 25$).

В результаті розрахунків :

- тяговий опір турбодиска 157 ... 193 Н;

- тяговий опір щілювача 635 ... 775 Н;

- тяговий опір сферинного диска 225 ... 275 Н;

- тяговий опір котка 112 ... 132 Н;

- загальний тяговий опір секції культиватора 1 668 ... 2036 Н.

За отриманими формулами можна підібрати енергетичний засіб для агрегативання даного культиватора

2.4 Розробка математичної моделі процесу обробки ґрунту методом дискретних елементів

Для опису процесу обробки ґрунту вище була представлена модель із використанням рівнянь динаміки безперервного в'язкого середовища, де ґрунт представлений у вигляді ньютонівської рідини.

Аналіз досліджень різних методів розрахунків показав, що метод скінченних елементів (МКЕ) може бути використаний для розрахунку зв'язаних ґрунтів, завдяки чому дозволить отримати інформацію про руйнування та зміщення шару ґрунту. Метод обчислювальної гідродинаміки може бути ефективним лише для дослідження властивостей перезвожених ґрунтів, що значно обмежує діапазон досліджуваних ґрунтів.

Найбільш універсальним і надійним є метод дискретних - елементів, який дозволяє достовірно оцінити такі параметри, як потужність та якісні характеристики процесу обробки ґрунту (характер переміщення шарів ґрунту, форма поперечного профілю, ступінь розпушення ґрунту) [62, 66, 67].

Розглянемо процес обробки ґрунту за допомогою методів моделювання поведінки сипучих матеріалів, зокрема на основі методу дискретних елементів, що представляють рівновагу механічного руху частинки сипучого матеріалу

$$\left\{ \begin{array}{l} m_i \frac{dv_i}{dt} = m_i b + \sum F_n, \\ I_i \frac{d\omega_i}{dt} = \sum (T_c + M_r), \end{array} \right. \quad (2.15)$$

де m_i - маса i частки; v_i - вектор швидкості центру мас; ω_i - вектор кутової швидкості; b - вектор масової сили; I_i - момент інерції; F_n - сила, що діє на частинку за допомогою контакту з іншою часткою; T_c - зовнішній крутний момент, що виникає при контакті частинок; M_r - момент опору кінченню

Моделювання ґрунтів за методом дискретних елементів - це насамперед взаємодія певних частинок між собою, в яких має відбуватися деформація частинок. Взаємодія цих частинок відбувається через контактні моделі. Модель контакту визначає нормальну та тангенціальну складові сили, що діють на зіткнення частинок. Часто використовуються лінійні та нелінійні моделі Герца [30, 76].

Метод дискретних елементів, заснований на фундаментальних законах механіки, усуває недоліки моделей суцільних середовищ. Дискретний матеріал складається з окремих N пружних частинок із сферичної форми з радіусом R (рисунок 2.10.а). Рух кожного i -го елемента (частинки) визначається координатами центру його ваги x_i та кутом повороту обертання θ_i навколо центру ваги всього елемента ($i = 1, \dots, N$).

Система рівнянь руху для кожної частинки в прямокутній декартовій системі координат записується так:

$$m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} = F_i, \quad (2.16)$$

$$I_i \frac{d^2 \theta_i}{dt^2} = M_i (i = 1, \dots, N), \quad (2.17)$$

де t - час, m_i - маса частинки, I_i - момент інерції.

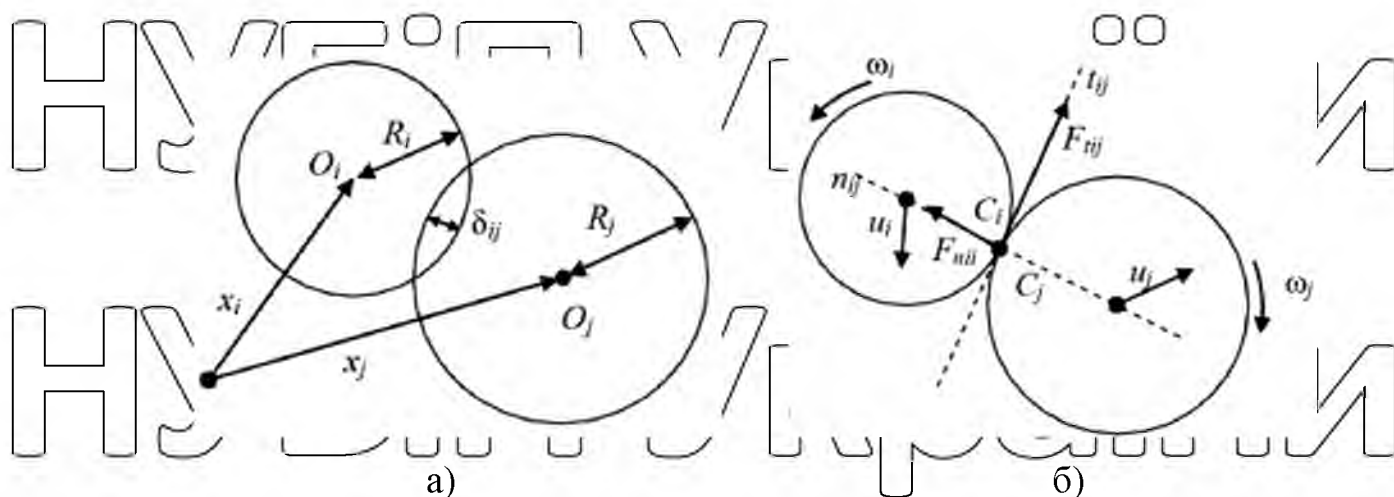


Рис. 2.10. Контактна взаємодія дискретних частинок: геометрія моделі (а);

сили, що діє на контакті (б), де δ_{ij} - перекриття часток [24]

Вектори F_i визначаються як сума сил, що діють на контактах i -й і j -й частинок (включаючи силу тяжіння):

$$F_i = \sum_{i=1, i \neq j}^N F_{ij} + m_i g, \quad (2.18)$$

Вектор M_i виникає як момент сил F_{ij} щодо центру i -й частинки:

$$M_i = \sum_{i=1, i \neq j}^N M_{ij} = \sum_{i=1, i \neq j}^N (x_i - x_j) F_{ij}, \quad (2.19)$$

Поверхневі сили F_{ij} складаються з сил тертя $F_{t, ij}$ і відштовхування $F_{n, ij}$.

Сила відштовхування виникає між частинками за умови контакту між елементами ($\delta_{ij} > 0$) (рисунок 2.10.а) і спрямована по нормалі n_{ij} до центру i -й частинки (рисунок 2.10.б). Для її визначення використовуємо в'язкопружну

модель зіткнення:

$$F_{n,ij} = F_{n,ij}^e + F_{n,ij}^v,$$

де $F_{n,ij}^e$ - пружна, $F_{n,ij}^v$ - в'язка складові.

Відповідно до Дж. Герцу, пружна частина сили F_n , ij дорівнює:

$$F_{n,ij}^e = \frac{4}{3} \frac{E_i E_j}{(1-\nu_i^2)E_j + (1-\nu_j^2)E_i} \sqrt{\frac{R_i R_j}{R_i + R_j}} \delta_{ij}^{3/2}, \quad (2.20)$$

де ν_i - коефіцієнт Пуассона, E_i - модуль пружності частки.

НУБІП України

У разі зіткнення частинки і прямолінійного кордону, у формулі (2.21) досить припустити один з радіусів рівним нескінченності.

В'язка складова сили відштовхування визначається зі співвідношення:

$$F_{n,ij}^v = \gamma_n \overline{M}_{ij} u_{n,ij}^v \quad (2.22)$$

де \overline{M}_{ij} - приведена маса частинок, $u_{n,ij}^v$ - проекція відносної швидкості точки зіткнення на вісь n_{ij} , γ_n - коефіцієнт демпфірування, який надає основний вплив на коефіцієнт відновлення швидкості після удару.

НУБІП України

У моделі м'якої сфери процес моделювання складається з таких кроків:

- встановлення властивостей частинок та обладнання в області обчислень;
- вставлення частинок у область обчислення шляхом визначення

положення та швидкості;

НУБІП України

- виявлення контактів частинка-частинка та геометрія-частинка;
- розрахунок сили, що діє на кожну частинку, за допомогою відповідної моделі контакту;

- визначення прискорення частинок згідно з другим законом Ньютона, яке з часом інтегрується для визначення нових станів частинок, таких як положення та швидкість. Цей процес повторюється для відстеження динаміки частинок протягом тривалого періоду часу до досягнення бажаного результату.

НУБІП України

Після аналізу існуючих моделей контакту дискретних елементів ми прийшли до висновку, що моделі контакту Герца-Міндліна найкраще підходять для моделювання ґрунтового середовища як в'язкопружного сиучого тіла.

НУБІП України

Модель контактів Герца-Міндліна має кілька типів:

1. Модель і теорія ковзного контакту Герца-Міндліна (без-проковзуння);
2. Модель Герца-Міндліна з адгезією зв'язуючих частинок;
3. Модел когезійного контакту Герца-Міндліна з JKR (Джонсон-Кендалл-Робертс) Модель Герца-Міндліна та теорія ковзного контакту (без проковзуння) є імітаційною моделлю МДЕ з нормальною силою, на основі Герцовой теорії

НУБІП України

контактів та тангенційної сили на основі роботи Миндліна-Дересевича. Контакт між зернистими осередками моделюється пружино-демпфуючою системою. Пружина являє собою еластичний пристрій. Амортизація – це послаблення сили або об'єкта розсіювання кінетичної енергії. Амортизація являє собою нееластичність, а ковзаючий блок з коефіцієнтом тертя представляє тертя між елементами. Модель контакту між елементами частинок показана на рисунку 1.

2.5 Обґрунтування технологічної схеми та параметрів пристрою для об'ємного внутрішньогрунтового внесення рідких комплексних добрив

Дотримання зазначених норм внесення рідких мінеральних та рідких комплексних добрив вимагає використання спеціального обладнання та пристроїв з урахуванням особливостей технологічного процесу для приготування робочого розчину добрив у складі, що містить рідкі компоненти різної в'язкості. Для того, щоб здійснити процес виробництва робочого розчину рідких комплексних добрив, необхідно використовувати дозувальні пристрої, які забезпечують певну концентрацію добрив. Беручи до уваги вимоги та рекомендації, ми пропонуємо пристрій для внесення рідких комплексних добрив одночасно з смуговим обробітком ґрунту (рис. 2.17).

Пристрій працює наступним чином. При відкриванні вентиля 3, розчин добрив подається з резервуара 1 через фільтр 2 і дозується насосом 4. Зайвий розчин за допомогою запобіжного клапана потрапляє назад у ємність. Основний обсяг рідини надходить у розподільник добрив. Подача насоса регулюється за допомогою частотного регулятора 11. Пристрій для подачі рідини містить два однакових пристрої, описаних вище для подавання внесення рідини на двох рівнях, верхньому та нижньому.

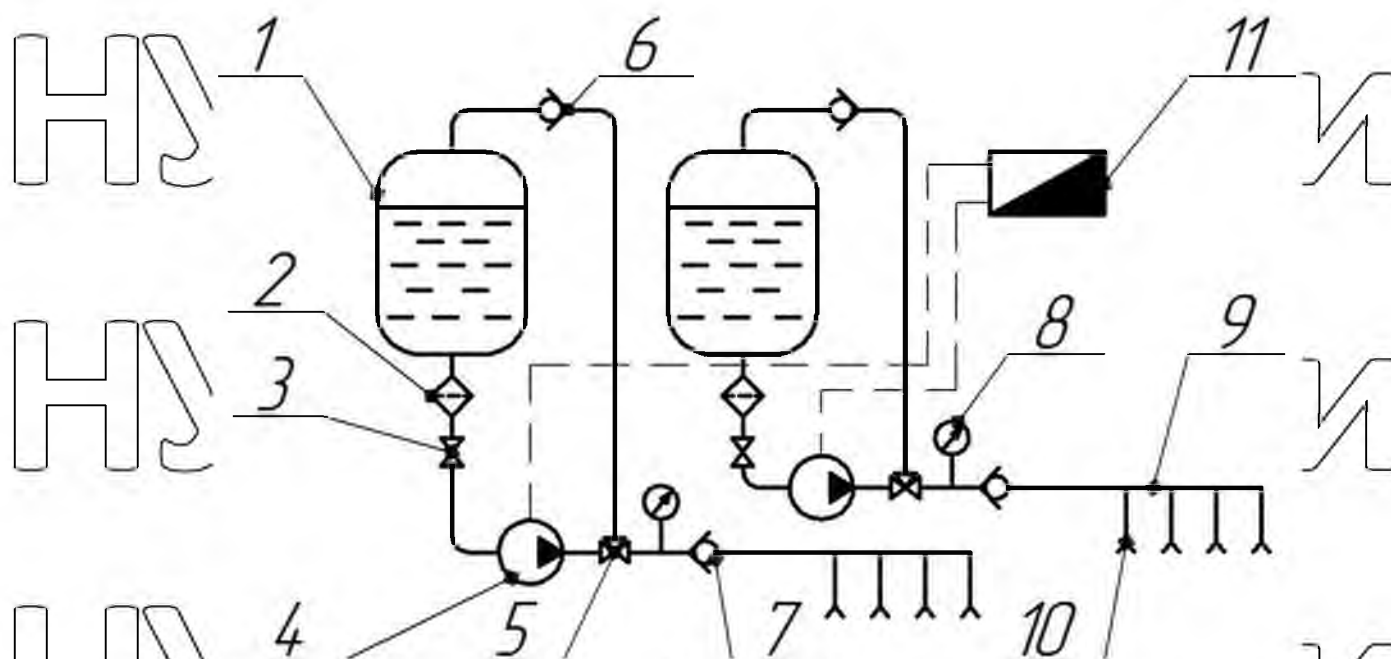


Рис. 2.17. Принципова гідравлічна схема пристрою для внесення РКД.

- 1 - ємність з розчином добрив; 2 – фільтр; 3 - вентиль; 4 - відцентровий насос; 5 - трійник; 6 - клапан запобіжний; 7 - клапан відсічний; 8 - манометр; 9 - колектор; 10 - вгортуючий інжектор; 11 - пульт управління насосами

Для обґрунтування параметрів розробленого пристрою необхідно:

- Провести аналітичне моделювати технологічного процесу подачі добрив до інжекторних форсунок;
- Провести моделювати технологічного процесу подачі добрив до нагнітальних форсунок чисельним методом;
- Порівняти отримані результати аналітичних розрахунків з результатами чисельного моделювання.

Пристрєм для створення потоків рідини в гідравлічній системі являється насос. Продуктивність відцентрових насосів значною мірою залежить від частоти обертання лопаток насоса, регулювання потоку рідини таким чином дозволяє значно зменшити енергетичні витрати на тертя та інші втрати, в порівнянні з системами, які використовують перепуск рідини за допомогою клапанів.

У таких насосів витрата пропорційна частоті обертання його робочого органу. Для моделювання потоку рідини в гідравлічній системі, необхідно врахувати можливість зміни витрат. Тому визначимо витрату робочого розчину добрив залежно від частоти обертання приводу насоса, зокрема електроприводу, використовуючи наступну формулу.

$$Q_2 = \frac{Q_1 n_2}{n_1}, \quad (2.38)$$

де Q_1 - об'ємна подача робочого розчину при номінальній частоті обертання робочого органу насоса n_1 , м³ / ч; Q_2 - об'ємна подача робочого розчину при зміненій частоті обертання робочого органу насоса n_2 , м³ / ч; n_1 - номінальна частота обертання робочого органу насоса, хв⁻¹; n_2 - змінена частота обертання робочого органу насоса, хв⁻¹;

Визначимо напір потоку рідини в залежності від частоти обертання робочого органу насоса за формулою

$$H_2 = \frac{H_1 n_2^2}{n_1^2}, \quad (2.39)$$

де H_1 - напір робочого розчину при номінальній частоті обертання робочого органу насоса n_1 , м; H_2 - напір робочого розчину при зміненої частоті обертання робочого органу насоса n_2 , м.

Виразимо напір через тиск, тоді отримаємо

$$P_2 = \frac{P_1 n_2^2}{n_1^2}, \quad (2.40)$$

Загальна витрата робочого розчину добрив є сумою витрат кожного інжектора, що впорскує, який в загальному вигляді представлений наступним чином

$$Q_{\text{общ}} = \sum Q_{\text{пв}} + \sum Q_{\text{пн}}, \quad (2.41)$$

Оскільки внесення добрив проводиться пошарово і проводиться у верхньому і нижньому шарі то, для верхнього шару витрата буде виражатися за формулою

$Q_v = \sum Q_{pv}, \quad (2.42)$
 де Q_{pv} - витрата робочого розчину для v -ого інжектора в верхньому шарі, м³/с.

А для нижнього шару витрата буде виражатися за формулою

$Q_n = \sum Q_{pn}, \quad (2.43)$
 де Q_{pn} - витрата робочого розчину для n -ого інжектора в нижньому шарі, м³/с.

Для задання граничних умов при моделюванні процесу пошарової подачі

добрив і подальшого визначення кількості закінчення робочого розчину необхідно розрахувати витрати і тиск для кожного вприскувача інжектора за такою формулою

$$Q_n = \mu_n f \sqrt{2gH}, \quad (2.44)$$

де μ_n - коефіцієнт витрати вприскувача інжектора, f - площа перетину вприскувача інжектора, мм², H - натиск, м.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ОБГРУНТУВАННЮ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ СМУГОВОЇ ОБРОБКИ

3.1 Результати калібрування властивостей частинок ґрунту для дискретної моделі

3.1.1 Калібрування властивостей частинок по міцності

Відповідно до розроблених методів (п. 3.1) калібрування властивостей частинок ґрунту для дискретної моделі проводилося відповідно до міцнісних властивостей (опір до дотичних напружень) зразків ґрунту на зріз і коефіцієнт внутрішнього тертя, оцінений за кутом природного схилу. В результаті проведення лабораторних випробувань для визначення міцності ґрунту на зсувному пристрої були отримані дані дотичної напруги на зріз зразків ґрунту (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1

Результати випробування ґрунтових зразків на зріз

Чорнозем вилужений супіщаний, вологість 21,5%, щільність 1,24 гр/см ³					
Нормальна напруга σ , МПа	0	0,193	0,386	0,578	0,79
Дотична напруга τ , МПа (натурний експеримент)	0	0,13	0,265	0,385	0,47
Дотична напруга τ , МПа (МДЕ)	0	0,11	0,29	0,42	0,53
Чорнозем вилужений суглинний, вологість 21,5%, щільність 1,38 гр/см ³					
Нормальна напруга σ , МПа	0	0,193	0,386	0,578	0,79
Дотична напруга τ , МПа (натурний експеримент)	0,129	0,18	0,35	0,512	0,69
Дотична напруга τ , МПа (МДЕ)	0,03	0,145	0,29	0,39	0,53

Властивості частинок для дискретної моделі для моделювання процесу зрізу були прийняті нижні межі прийнятих параметрів дискретних частинок (п.3.1): коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,2 \dots 0,35$; коефіцієнт статичного тертя $f = 0,45$; модуля зсуву $G = 10 \dots 12$ МПа; модуля Юнга $E = 30 \dots 35$ МПа; щільність частки $\rho_n = 2600$ кг / м³. Грунтові частинки імітувалися у вигляді одиночних сфер діаметром 1 мм. Порівняльні результати натурального і чисельного експериментів для вилуженого чорнозему показані на рисунку 3.1. Порівняльні результати натурального і чисельного експериментів для вилуженого суглинистого чорнозему показані на рисунку 3.2.

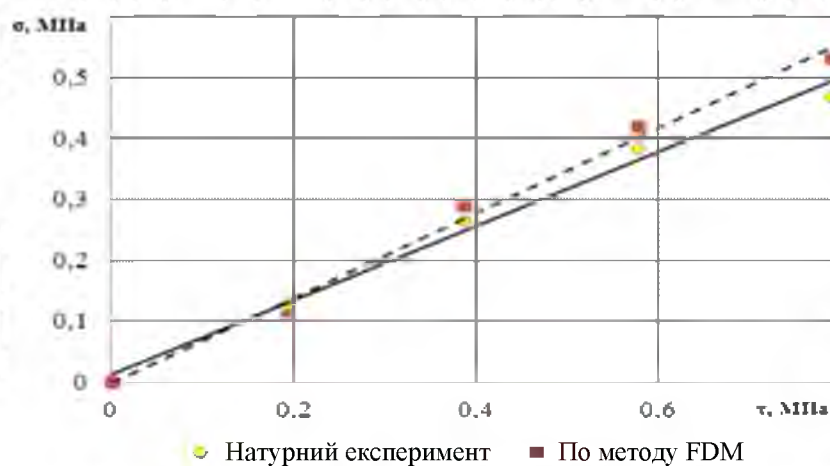


Рис. 3.1. Результати випробування ґрунту на зріз для вилуженого супісчаного чорнозему

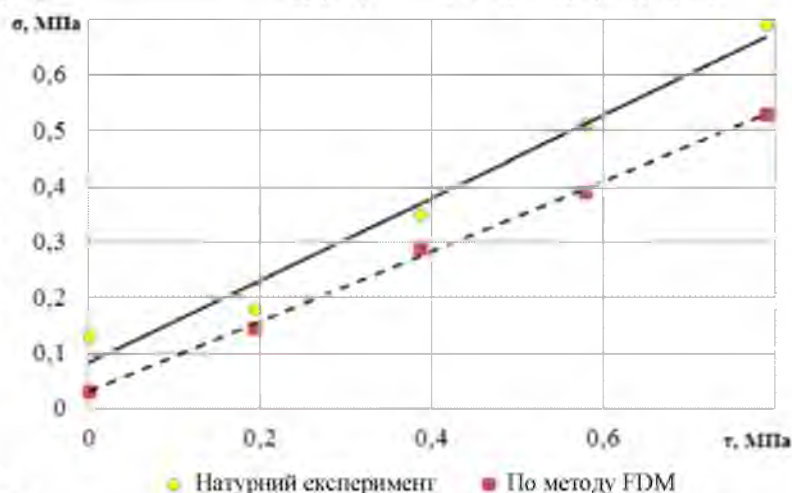


Рис. 3.2. Результати випробування ґрунту на зріз для вилуженого суглинистого чорнозему

Дотичні напруження, отримані в результаті моделювання в програмі EDEM, трохи нижчі, ніж результати експериментів на ділянці повномасштабних зразків ґрунту. У цьому контексті необхідний подальший вибір (калібрування) властивостей ґрунтового середовища для дискретної моделі

3.1.2 Калібрування властивостей частинок за коефіцієнтом внутрішнього тертя

Інше калібрування комбінації частинок було виконано за допомогою кута спокою. У цих експериментах моделювалися частинки ґрунту шляхом об'єднання різних комбінацій сферичних об'єктів - однієї сфери, трьох сфер у вершинах рівнобедреного трикутника, чотирьох сфер підряд, діаметр кулі 1 мм (рисунок 3.3).

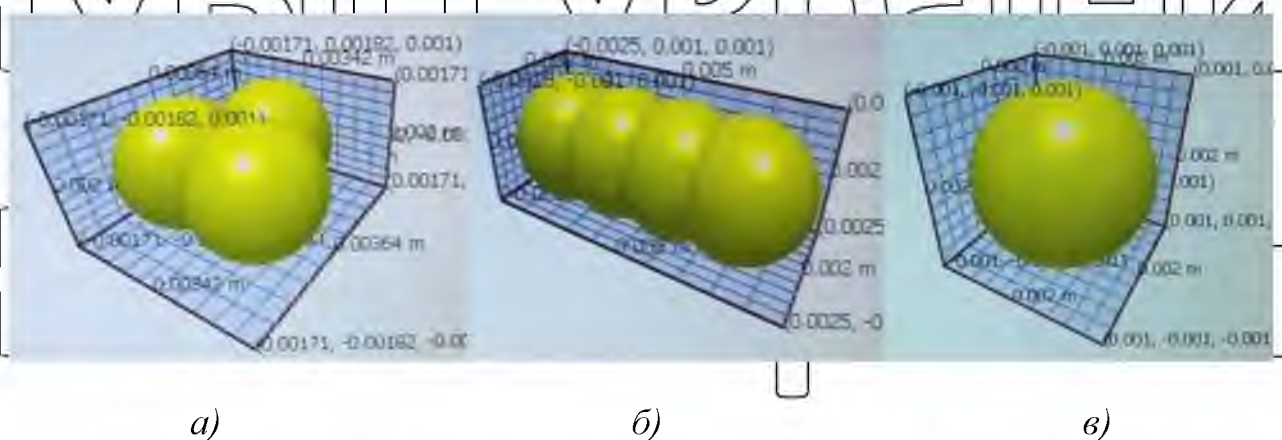


Рис. 3.3. Комбінації при імітації частинок ґрунту:

а) три сфери на вершинах рівнобедреного трикутника; б) сфери в ряд; в) 4
одиночна сфера

Для експериментів використовувались такі ґрунти: 1) тип - вилужений чорнозем, механічний склад - супіски, насипна щільність 1240 kg/m^3 , вологість 21,5%; 2) тип - чорнозем вилужений, текстура - суглинок, насипна щільність

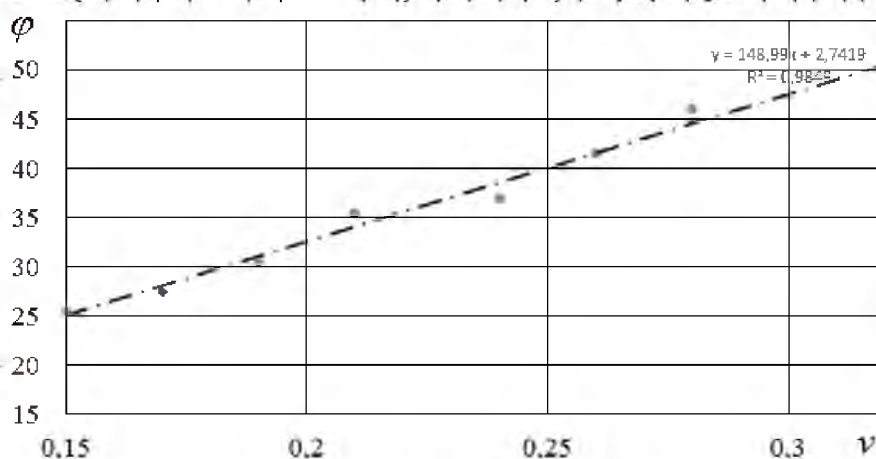
1380 кг / м³, вологість 22,3%; 3) Пісок, насипна щільність 1560 кг / м³, вологість 24,5%.

НУБІП УКРАЇНИ

Таблиця 3.2

Результати моделювання утворення кута природного укосу.

		Поодинокі сфера							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Коэф-нт. Пуассона ν		0,15	0,17	0,19	0,21	0,24	0,26	0,28	0,32
Кут природного укосу, φ , град.		25,4	27,5	30,5	35,5	37,0	41,5	46,0	49,7
		Три сфери на вершинах рівнобедреного трикутника							
Коэф-нт. Пуассона ν		0,15	0,17	0,19	0,21	0,24	0,26	0,28	0,32
Кут природного укосу, φ , град.		19,5	20,8	21,5	23	25,5	27,0	30,5	34,0
		Чотири сфери, побудовані в ланцюжок							
Коэф-нт. Пуассона ν		0,15	0,17	0,19	0,21	0,24	0,26	0,28	0,32
Кут природного укосу, φ , град.		28,4	29,8	32,5	37,5	41,2	44,5	48,8	52,2



НУБІП УКРАЇНИ

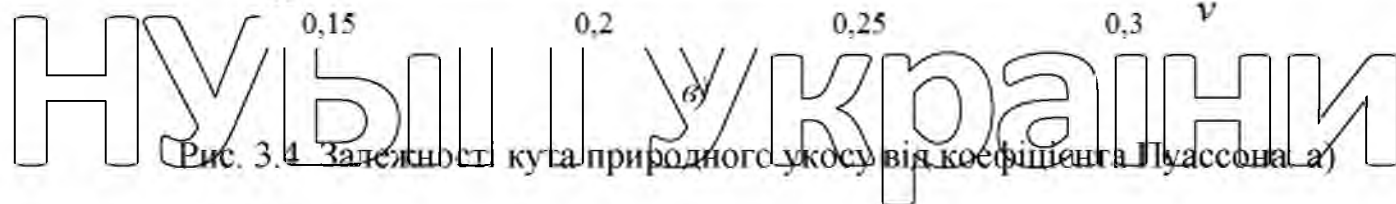
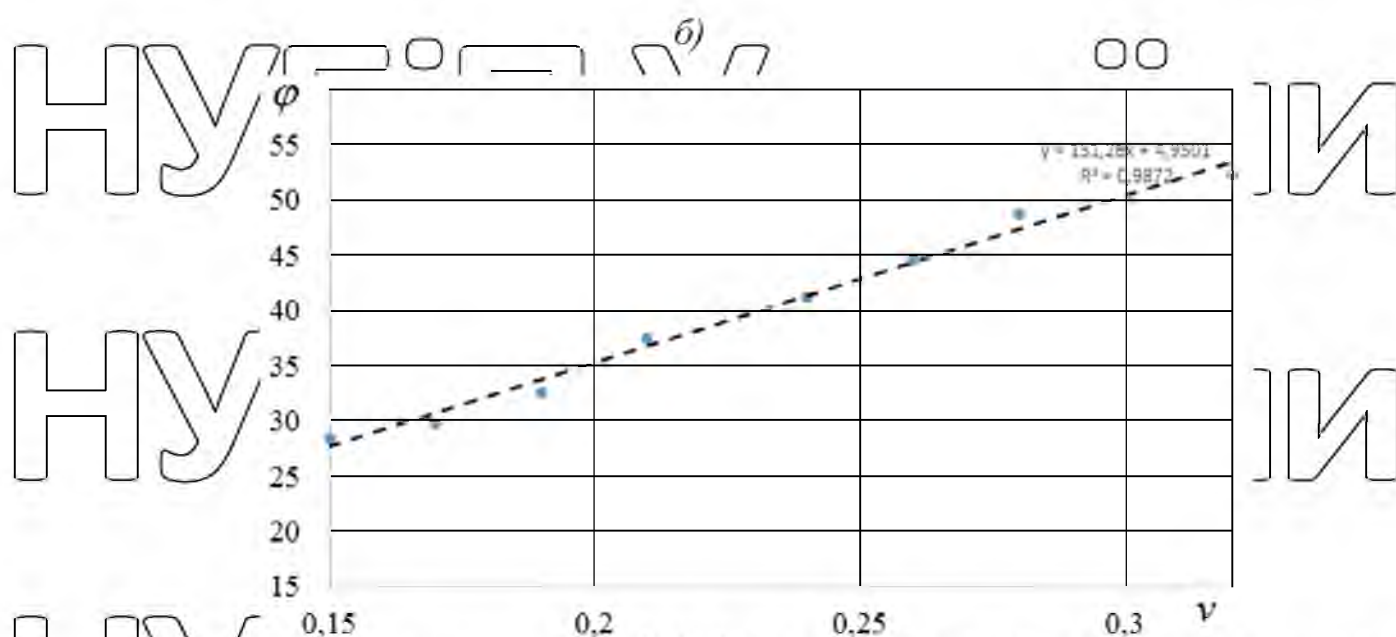
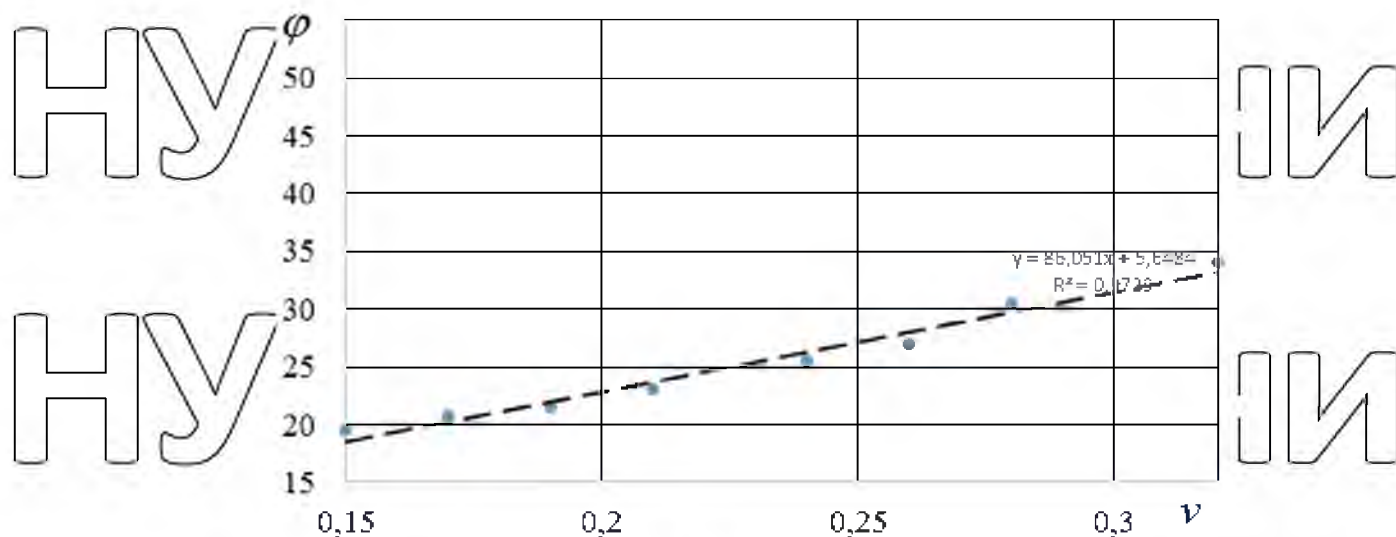


Рис. 3.4 Залежність кута природного укусу від коефіцієнта Пуассона: а)

одиночна сфера; б) три сфери на вершинах рівнобедреного трикутника; в) 4

сфери в ряд

Результати експериментів для різних комбінацій сферичних частинок та варіації коефіцієнта Пуассона, отримані в результаті впровадження моделі утворення кута природного укусу в приладі UVT -3 наведено в Таблиці 3.2.

На рисунку 3.4 а показано залежність кута природного укусу від коефіцієнта Пуассона для однієї сфери, на рисунку 3.4 б - для частинок утворених із трьох сфер, а на рисунку 3.4 в - для чотирьох сфер.

В таблиці 3.3 представлені результати випробувань щодо визначення кута природного укосу з різним вмістом вологи w у ґрунтах з супісками та із середньосуглинистою текстурою. Рис. 4.5 показано залежності одержані за цими даними.

Експерименти показали, що кут природного укосу при моделюванні частинки ґрунту у вигляді трьох сфер на вершині рівнобедреного трикутника дещо нижчий ніж для натурального ґрунту, як супіщаного, так і суглинистого механічного складів, а для частинок із чотирьох сфер дещо вище. Кут природного укосу для трьох сфер не перевищує 35° , а для чотирьох кутів кут змінюється у більшому діапазоні від $28,40$ до більш ніж $52,2$. У зв'язку з цим найкращими є ґрунтові частинки, утворені з поодиноких сфер діаметром 1 мм.

Таблиця 3.3

Результати експериментів по визначенню кута природного укосу для ґрунтів

Вологість ґрунту w , %	Кут природного укосу			Середня вологість %	Дисперсія	Коефіцієнт варіації
	1	2	3			
Чорнозем супіщаний						
6	35	34	35	34,67	0,33	0,58
16,42	37	38	40	38,33	2,33	1,53
18,19	40	41	40	40,33	0,33	0,58
25,18	43	44	43,5	43,50	0,25	0,50
29,17	44	45	45,5	44,83	0,58	0,76
Чорнозем суглинний						
4,1	33	34	32	33,00	1,00	1,00
16,26	38	40	39	39,00	1,00	1,00
17,71	39,5	42	42	41,17	2,08	1,44
22,37	41	43	42,5	42,17	1,08	1,04
27,74	45	46	47	46,00	1,00	1,00

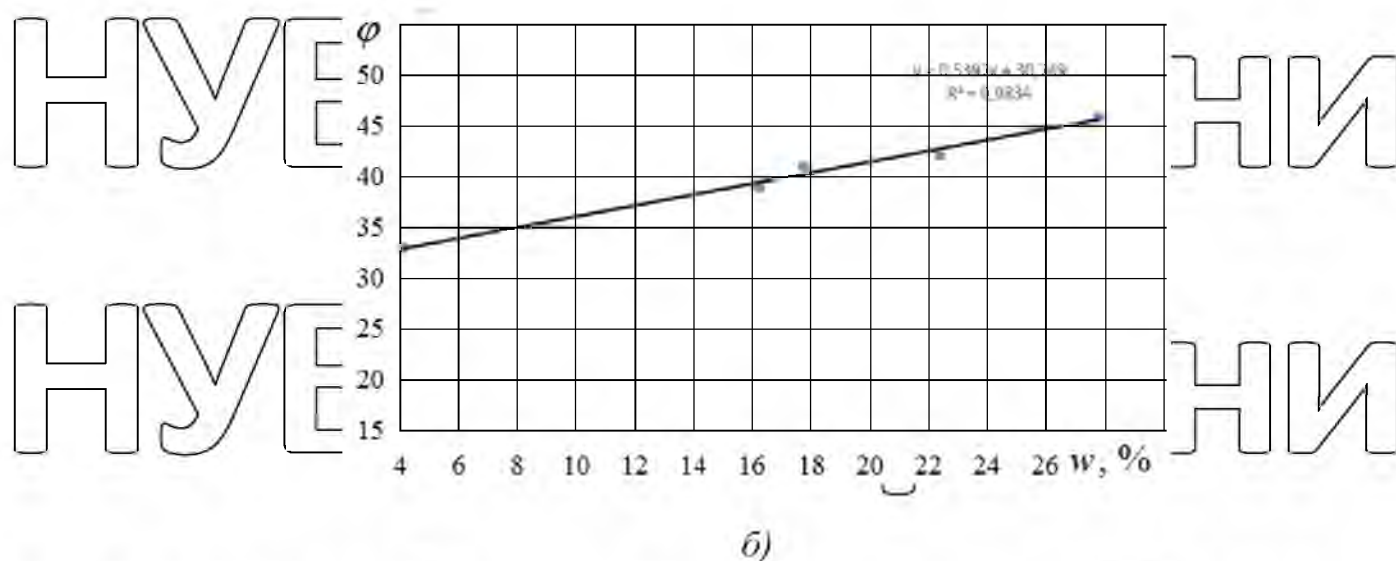
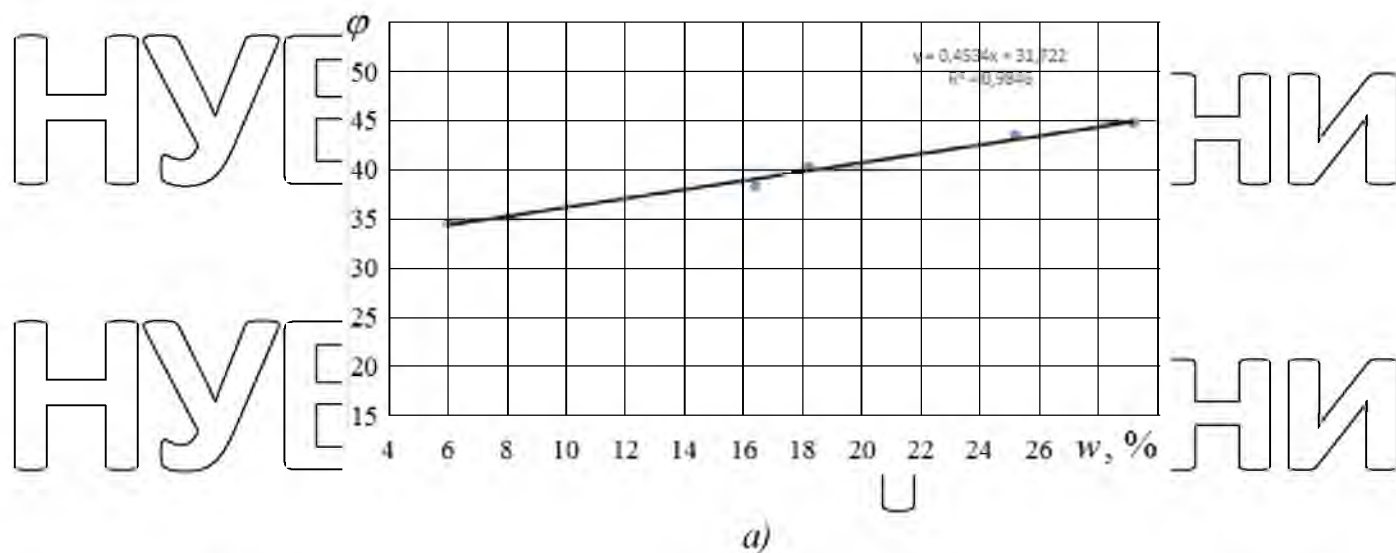


Рис. 3.5. Залежність кута природного укосу від вологості ґрунту (а) супіщаний ґрунт, б) суглинний ґрунт

На основі отриманих даних нами побудовані номограми для вибору коефіцієнта Пуассона ν для дискретних моделей ґрунтів залежно від вологості w чорнозему супіщаного і суглиннистого механічного складу (рисунк 3.6).

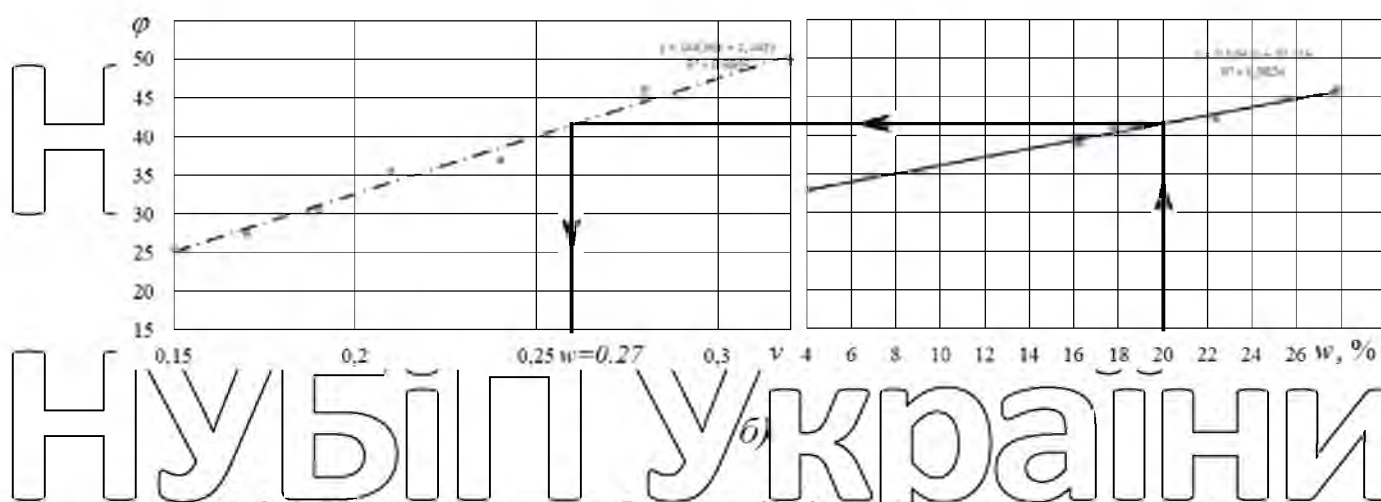
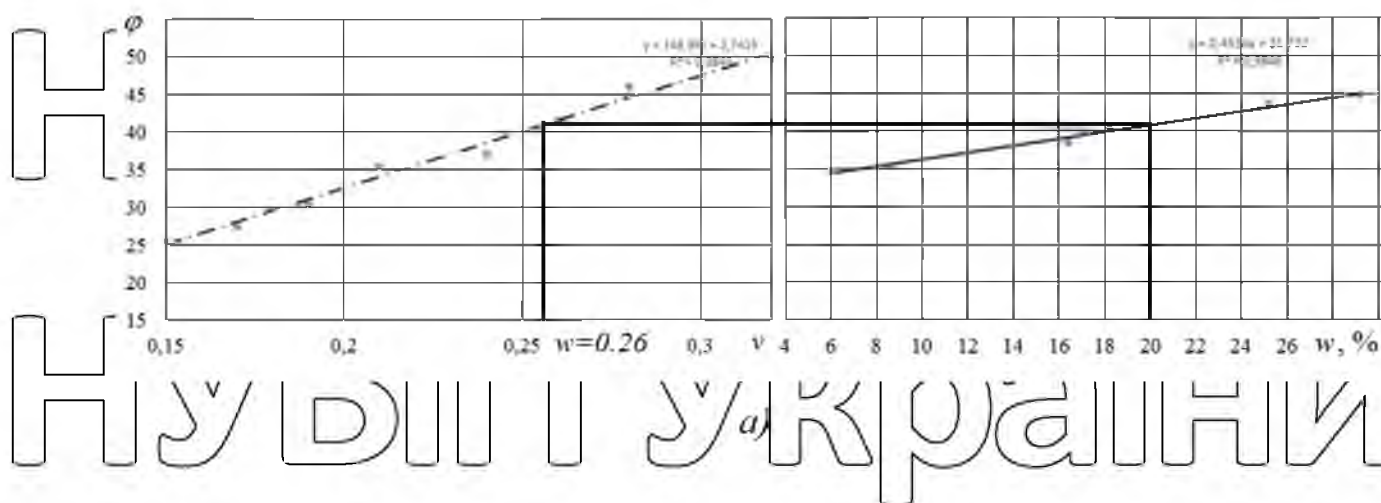


Рис. 3.6. Номограми для вибору коефіцієнта Пуассона ν для дискретних

моделей ґрунтів в залежності від вологості w чорнозему супісчаного і

суглинистого механічного складу

На рисунок 3.6 показані результати вибору коефіцієнта Пуассона ν для дискретних частинок ґрунту при вологості ґрунту, що моделюється $w = 25\%$. Для вологості, відповідної фізичної стиглості ґрунтів 10 ... 21%, коефіцієнт Пуассона змінюється в межах 0,22 ... 0,27.

3.1.3 Калібрування властивостей частинок тягового опору

З метою оцінки результатів моделювання за методом дискретних елементів та для подальшого вибору властивостей частинок у програмі EDEM була

створена модель ґрунтового каналу, яка представляє з себе паралелепіпед заповнений дискретними ґрунтовими частинками. Розміри паралелепіпеда: Ширини - Довжина - Висота = 1,0 м - 2,0 м - 1,0 м. Попередньо ґрунтовий канал заповнюється дискретними частинками діаметром 1 мм і висотою 0,5 м. На

початку ґрунтового каналу встановлюється на задану глибину α робочий орган (рис. 3.7), спроектований у системі тривимірного 3D-моделювання КОМРАС з вихідними геометричними розмірами. Під час моделювання задається прямолінійний рівномірний рух щільвача з робочою швидкістю V .



Рис. 3.7. Ґрунтовий канал з дискретних ґрунтових частинок

Отримані результати моделювання методом дискретних елементів порівнювалися з результатами натурних експериментів на ґрунтовому каналі

кафедри тракторів, автомобілів і біоенергосистем, а також з результатами моделювання за методом Computational Fluid Dynamics (CFD) у програмі Flow Vision.

Методика моделювання з використанням методу обчислювальної гідродинаміки детально описана у роботах С.Г. Мударісов представив. [93, 94].

Геометричні розміри та швидкість переміщення робочого тіла залишалися однаковими у всіх трьох типах експерименту

Вхідними параметрами в експериментах оцінки тягового опору були прийняті: швидкість руху робочого органу ($V = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5$ м / с), для моделі MDE коефіцієнт статичного тертя частінок ($f = 0,35; 0,40; 0,45$),

комбінацій сферичних об'єктів - одна куля, три сфери на вершинах рівнобедреного трикутника, чотири сфери в ряд.

У таблиці 3.4 наведено результати моделювання з використанням методу дискретних елементів для частинок ґрунту, що складаються з окремих сфер.

Рисунок 3.8 показана графічна інтерпретація отриманих результатів.

Таблиця 3.4
Залежність тягового опору шліувача R культиватора від швидкості руху

(частка - одиночна сфера)

Параметри	Швидкість руху робочого органу, м/с				
	0,5	1	1,5	2	2,5
Тяговий опір R (метод ОГД, в'язкість $\mu=1000 \text{ Н}\cdot\text{з}/\text{м}^2$)	180,5	216,8	258,4	301,2	378,1
Тяговий опір R (метод ДЕ коефіцієнт статичного тертя $f=0,35$)	125,8	166,8	191,5	230,5	266,8
Тяговий опір R (метод ДЕ коефіцієнт статичного тертя $f=0,40$)	135,1	174,8	200,9	220,5	271,1
Тяговий опір R (D метод ДЕ, коефіцієнт статичного тертя $f=0,45$)	150,1	189,5	214,7	251,3	306
Тяговий опір R на ґрунтовому каналі (вологість ґрунту $w=22,5\%$)	195,4	234,6	290	365,4	455,8

Залежність тягового опору культиватора від швидкості руху показана на рисунку 3.8

Як видно з рисунка 3.8, дані, отримані методом ОГД, є близькими до значень тягового опору реального робочого органу натурних експериментів, а при використанні методу дискретних елементів, дещо нижче. Крім того, розкид отриманих даних для дискретної моделі для різних значень коефіцієнта статичного тертя становить до 20%

На основі порівняльної оцінки тягового опору різних моделей (MDE та IOP) та польових випробувань на ґрунтовому каналі для моделювання з використанням методу дискретних елементів, найбільш підходящими параметрами є комбінація частинок з трьох сфер на кутах рівнобедреного трикутника, коефіцієнт статичного тертя частинок $f = 0,45$.

3.2 Оцінка адекватності аналітичних залежностей тягового опору секції культиватора

Щоб перевірити доцільність аналітичних залежностей тягового опору секції культиватора, результати, отримані за формулою (2.10), порівняли з результатами лабораторних випробувань у ґрунтовому каналі.

Доцільність аналітичної залежності 2.10 була оцінена за тяговим опором секції смугового культиватора в залежності від швидкості руху. Тяговий опір визначали на експериментальній установці для енергетичної оцінки (рис. 2.10), використовуючи методи описані в главі 2.



Рис. 3.8. Лабораторна установка для енергетичної оцінки секції культиватора

НУБІП УКРАЇНИ

Порівняльні результати тягового опору, отримані на ґрунтовому каналі і за формулою 2.10, представлені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

Порівняння результатів розрахунків і експериментальних даних

Швидкість руху V , км/год	0,41	0,43	0,75	1,29	1,95
Опір секції культиватора експериментальне $R_{\text{э}}$, Н	623,11	607,2	756,25	961	1221,1
Опір секції культиватора теоретичне (по формулі 2.9) $R_{\text{т}}$, Н	546,45	577,87	703,27	889,5	1103,1

Графіки залежності тягового опору секції культиватора від швидкості руху

представлені на рисунку 3.9.

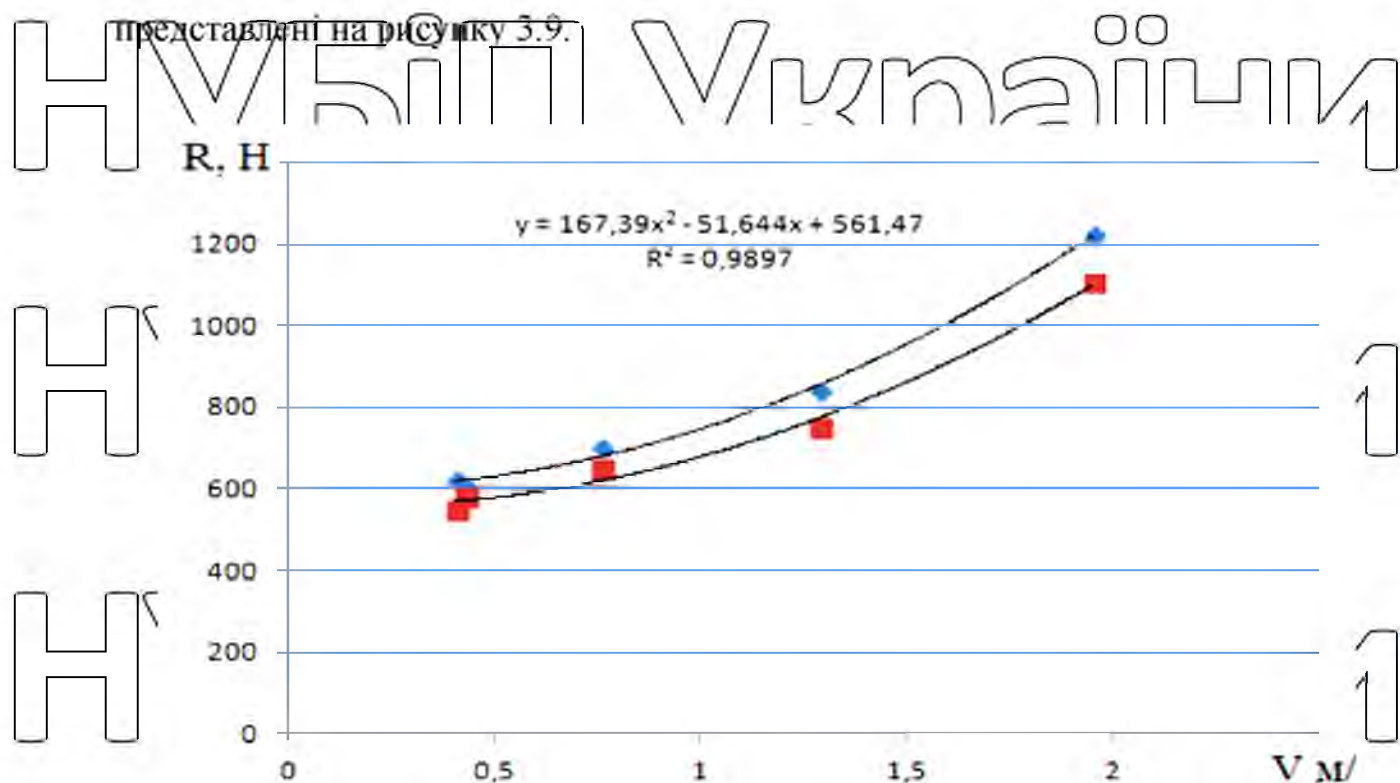


Рис. 3.9. Залежність тягового опору від швидкості руху секції культиватора

НУБІП УКРАЇНИ

Проаналізуємо кореляцію залежностей опору секції культиватора від швидкості, яка була отримана експериментально та теоретично. Коефіцієнт кореляції становив 0,997.

Перевіримо гіпотезу, що відмінності у представлених вибірках є випадковими, використовуючи двовибірковий t-критерію. Відповідно до розрахунків t критичне дорівнює 2,3. Виявилось, що значення ймовірності P дорівнює 0,67, що лежить у межах t-критичного і знаходиться досить далеко від його меж, з чого можна зробити висновок, що відмінності у представлених вибірках мають випадковий характер.

Отримані залежності за критерієм Фішера лежать у довірчій зоні з рівнем значущості 95%, що свідчить про доцільність отриманої аналітичної залежності 10/2. Ця залежність може бути використана для попереднього аналізу тягового опору культиваторів для смугового обробітку ґрунту аналітичної конструкції.

3.3 Обґрунтування конструктивних параметрів робочих органів культиватора за допомогою дискретної моделі ґрунту

Адекватність розробленої моделі ґрунтового середовища реалізована методом дискретних елементів, дає можливість використовувати її для обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів культиватора який розробляється.

В якості конструктивного параметра для обґрунтування було кут встановлення розпушувального робочого органу до дна борозни – кут кришення α , в якості технологічного параметра – швидкість руху V , а як вихідного параметра тяговий опір (рис. 3.10).

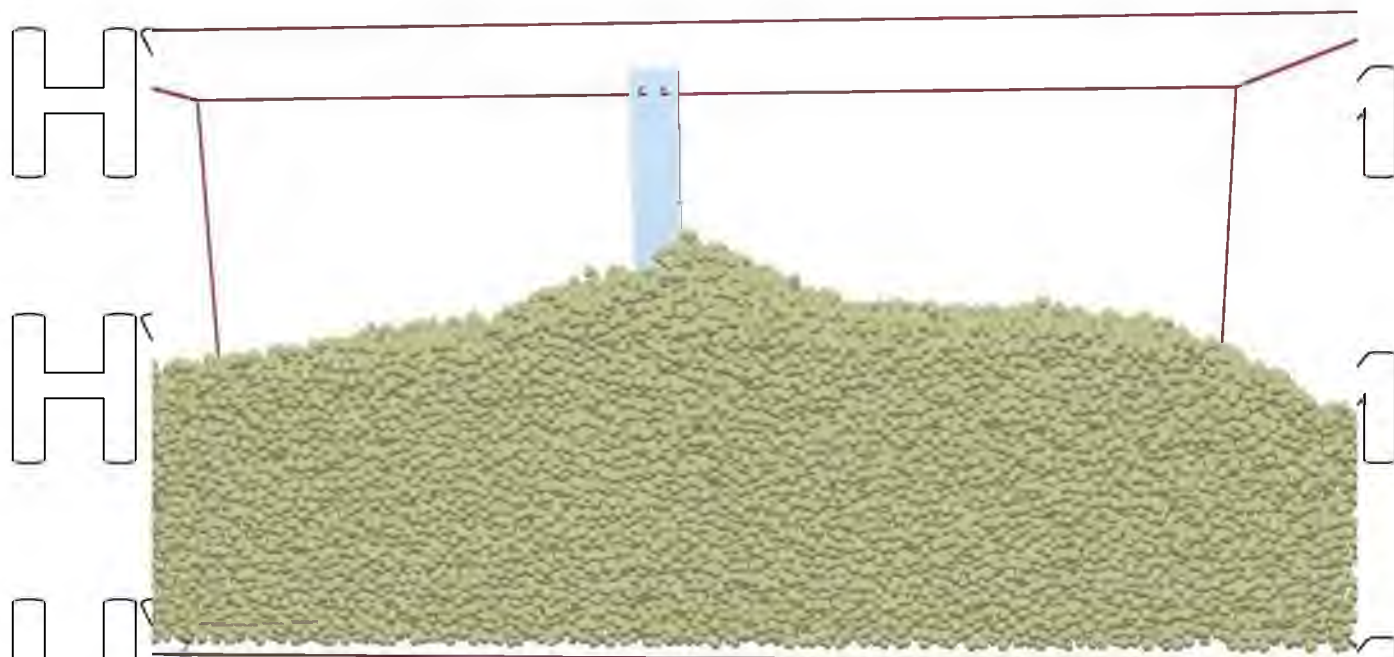


Рис. 3.10. Модель робочого органу в програмі EDEM

На рисунках 3.11, 3.12 і 3.13 показана залежність тягового опору щілювача від кута його встановлення і швидкості руху при глибині обробки 0,22 м.

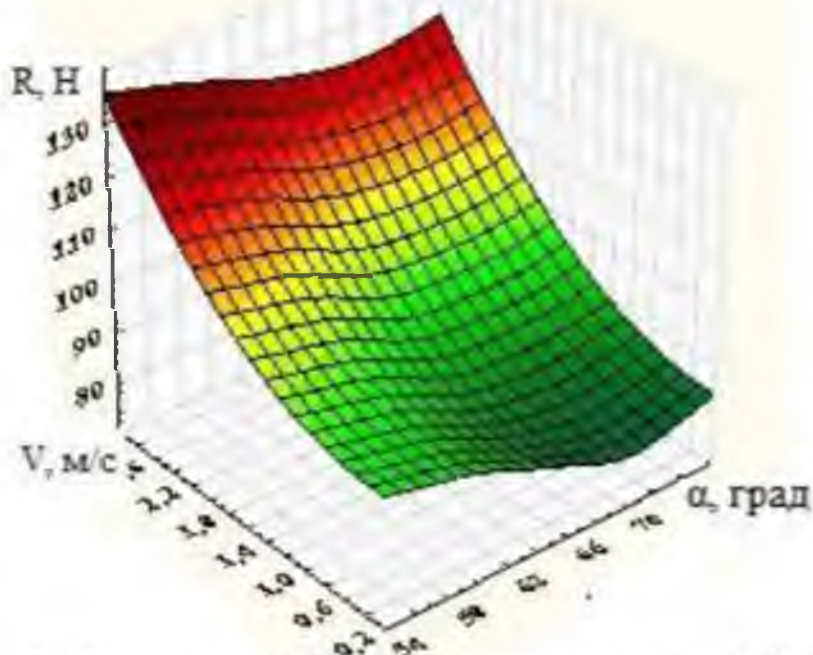


Рис. 3.11. Залежність тягового опору щілювача від кута встановлення ножів і швидкості руху при глибині 0,22 м

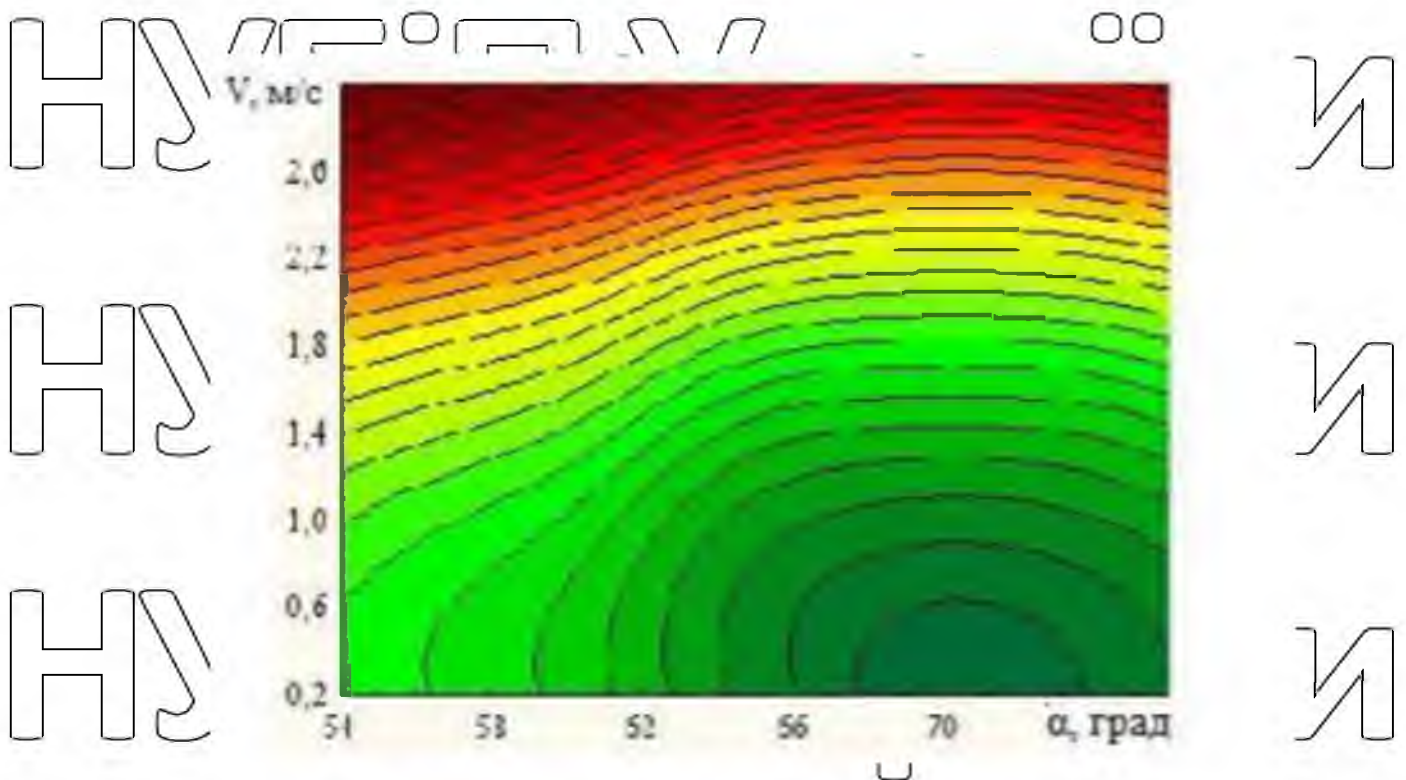


Рис. 3.12. Двовимірний перетин залежно тягового опору щілювача від кута встановлення ножів і швидкості руху при глибині 0,22 м

На рисунку 3.13 показана залежність тягового опору щілювача від кута встановлення ножів і швидкості руху при глибині обробки 0,24 м.

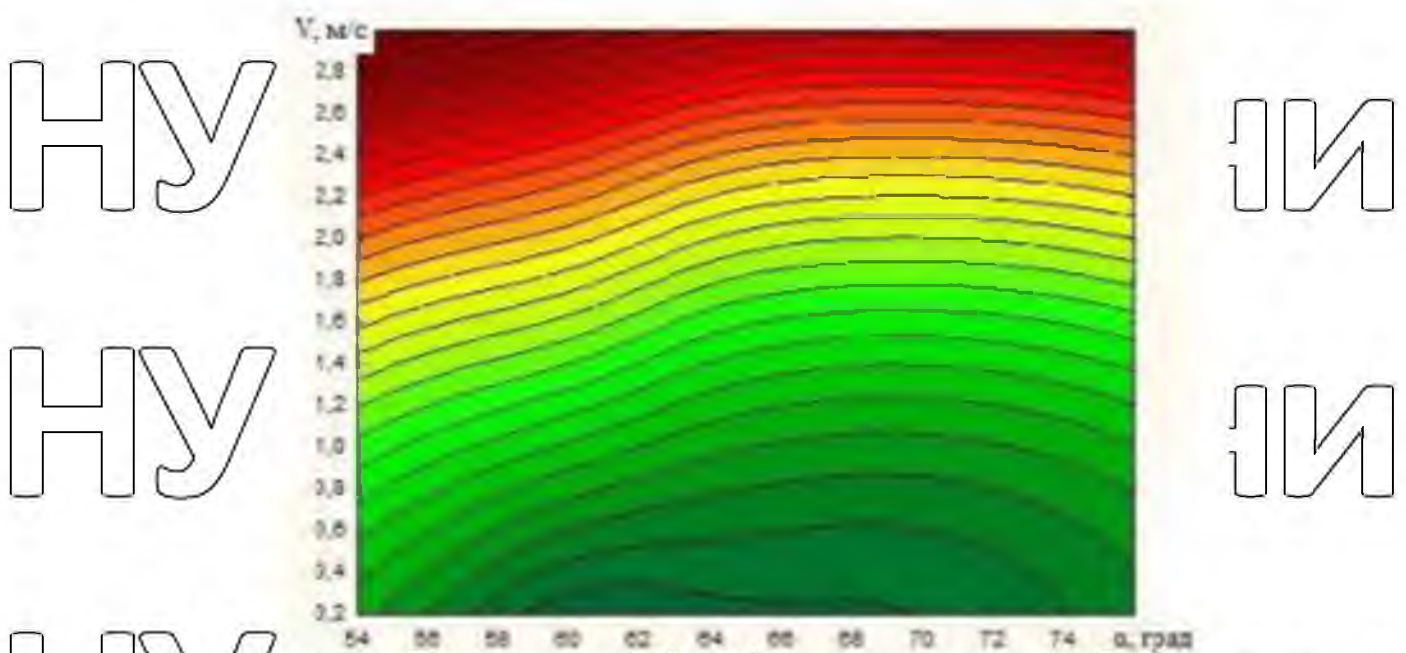


Рис. 3.13. Двовимірний перетин залежно тягового опору щілювача від кута встановлення ножів і швидкості руху при глибині 0,24 м

На рисунках 3.14 і 3.15 показана залежність тягового опору щілювача від кута встановлення ножів і швидкості руху при глибині обробки 0,26 м.

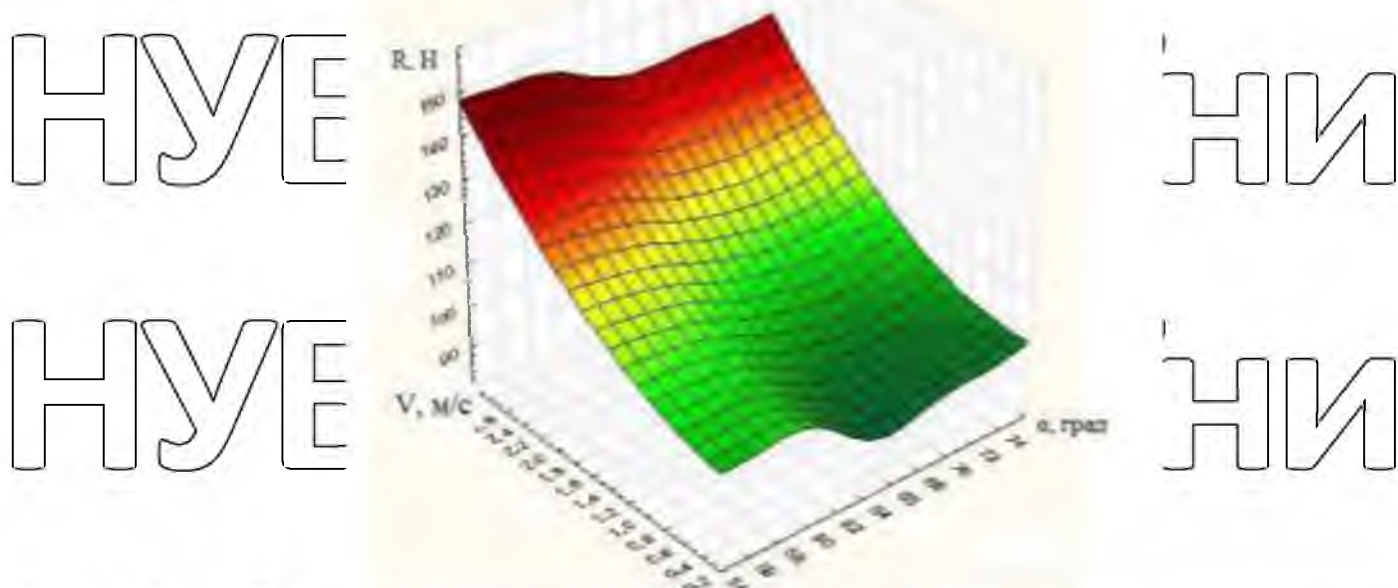


Рис. 3.14 Залежність тягового опору щілювача від кута встановлення ножів і швидкості руху при глибині 0,26 м

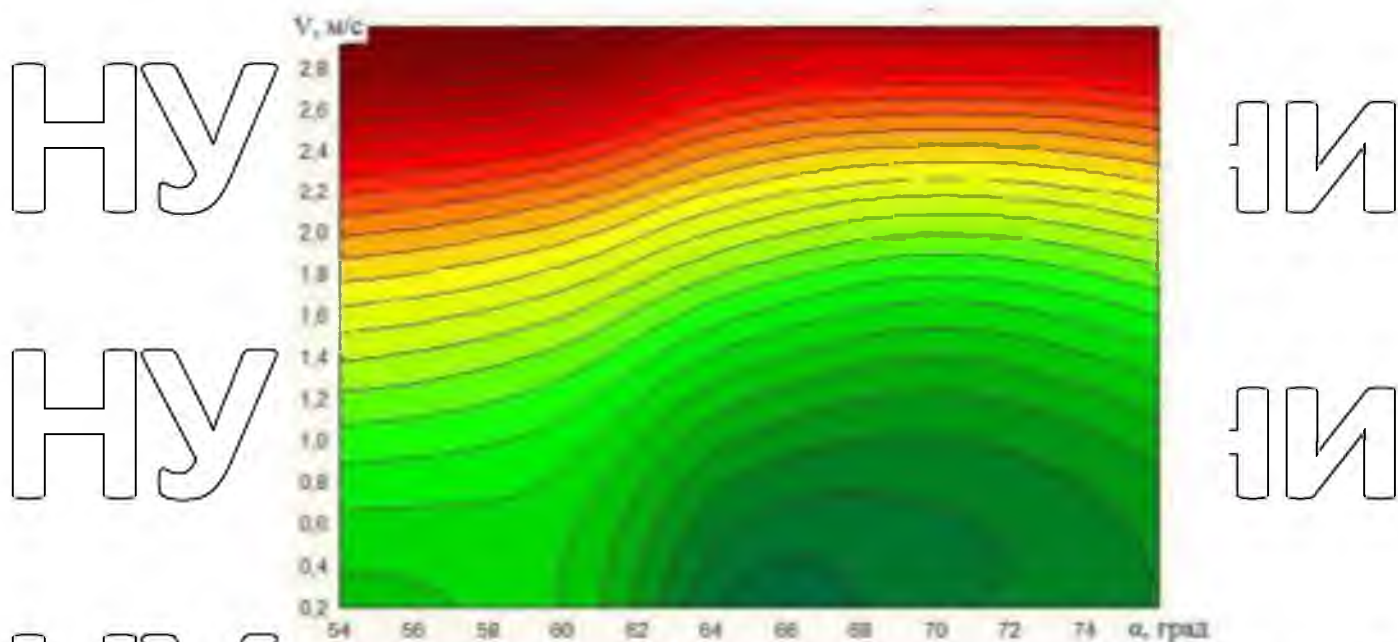


Рис. 3.15 Залежність тягового опору щілювача від кута встановлення ножів і швидкості руху при глибині 0,26 м

НУБІП УКРАЇНИ

На рисунках 3.16 і 3.17 показана залежність тягового опору щілювача від кута встановлення ножів і швидкості руху при глибині обробки 0,28 м.

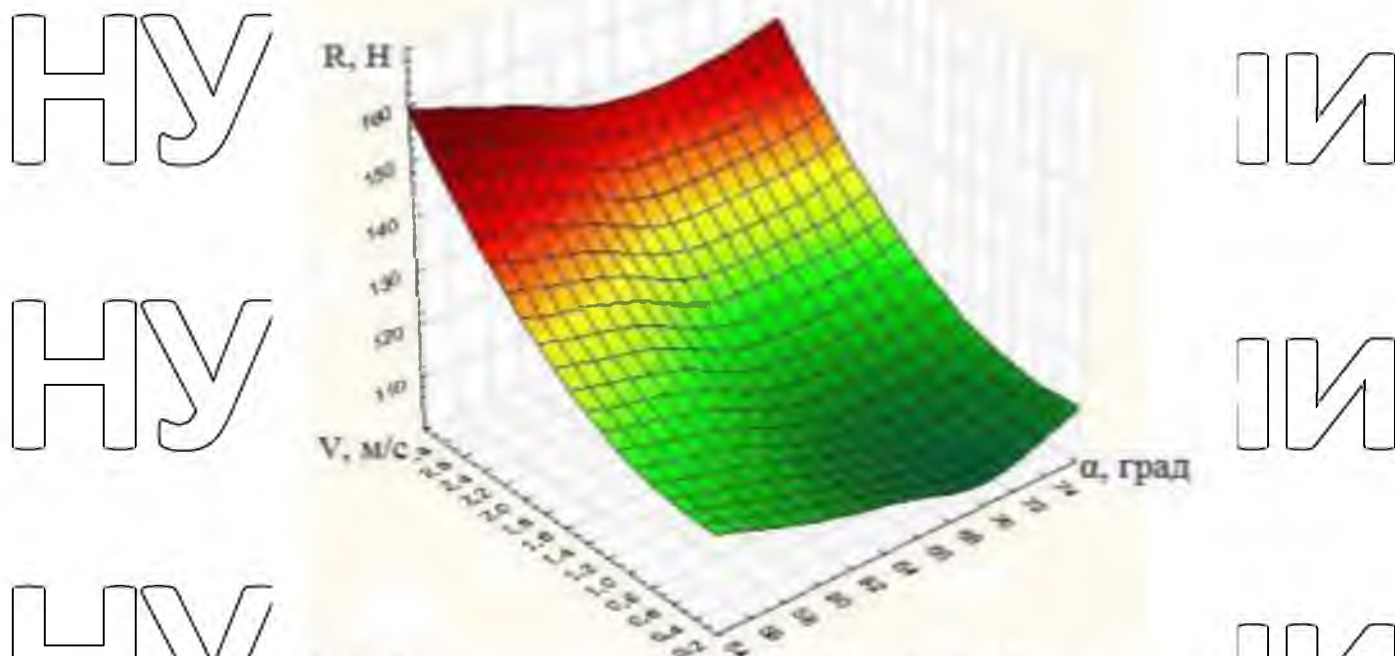


Рис. 3.16 Залежність тягового опору щілювача від кута встановлення ножів і швидкості руху при глибині 0,28 м

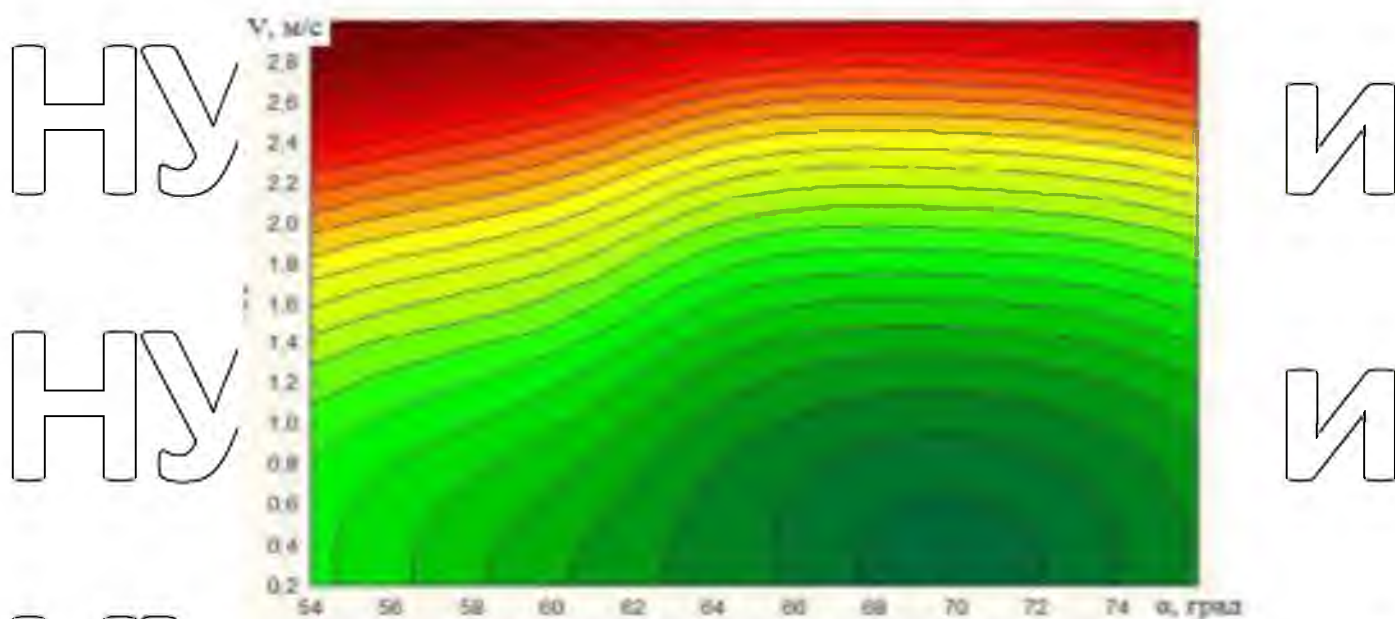


Рис. 3.17 Залежність тягового опору щілювача від кута встановлення ножів і швидкості руху при глибині 0,28 м

На рисунках 3.18 і 3.19 показана залежність тягового опору щіпсвача від кута встановлення ножів і швидкості руху при глибині обробки 0,28 м.

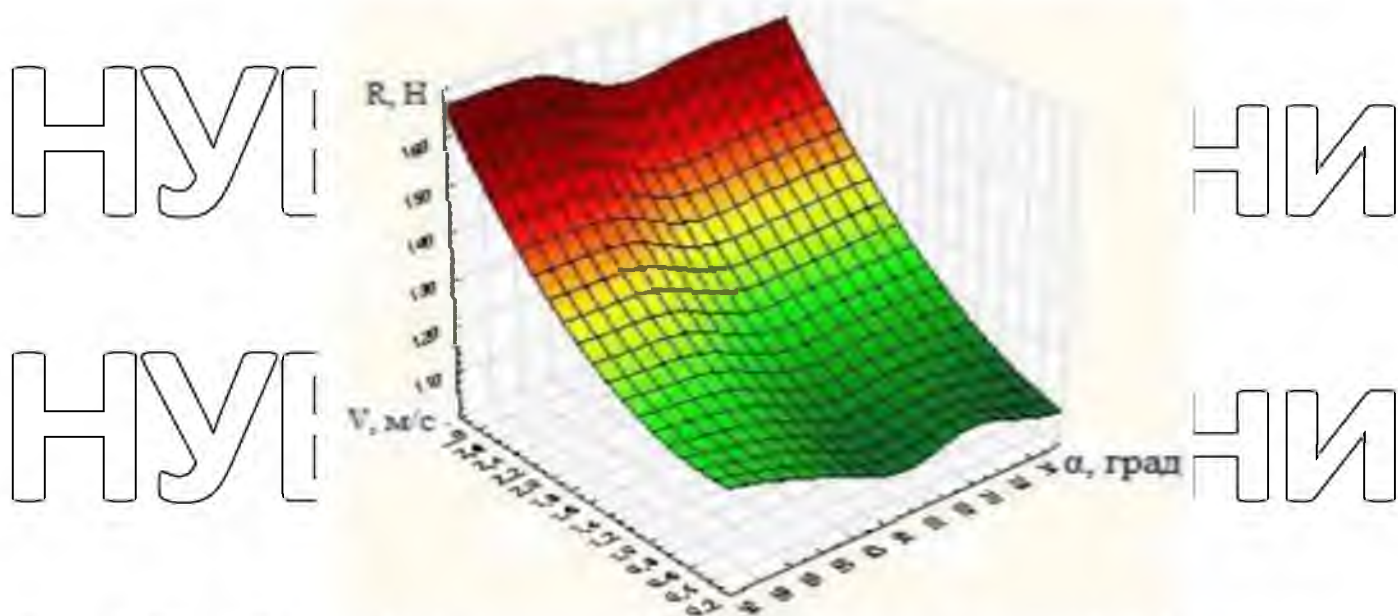


Рис. 3.18. Залежність тягового опору щіпсвача від кута встановлення ножів і швидкості руху при глибині 0,30 м

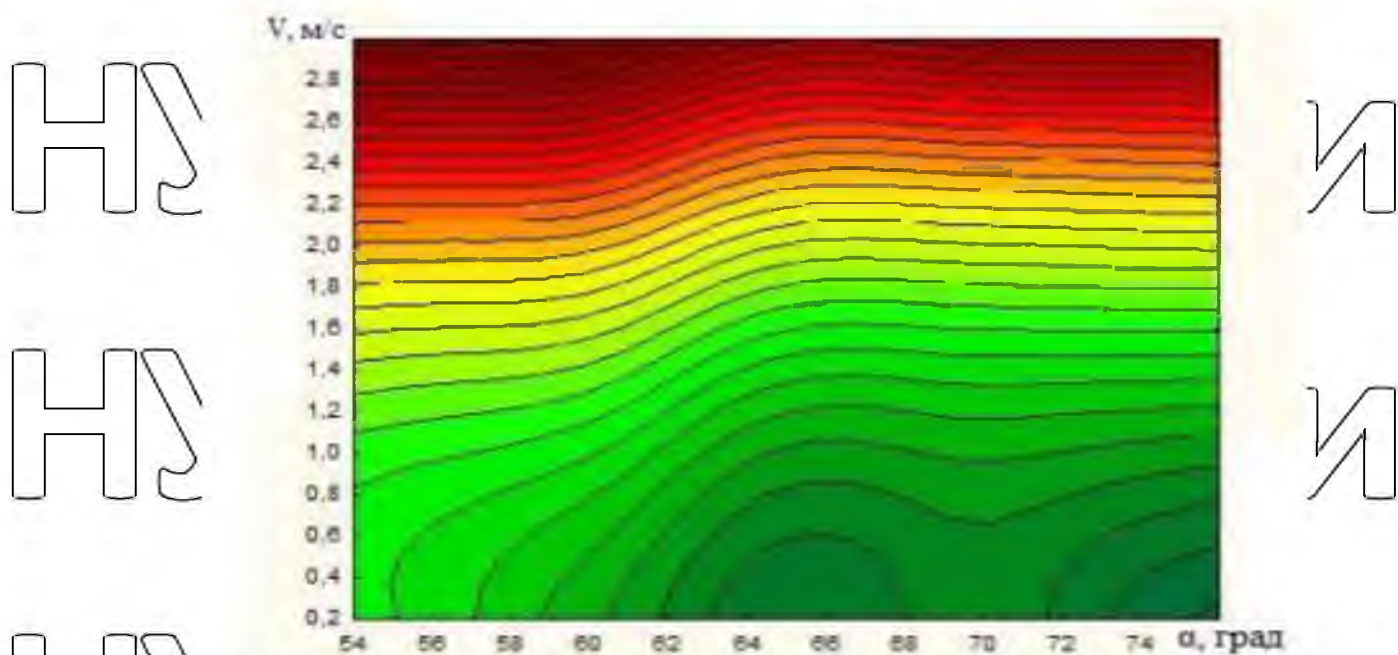


Рис. 3.19. Двовимірний перетин залежно тягового опору щіпсвача від кута встановлення ножів і швидкості руху при глибині 0,30 м

В результаті обробки результатів моделювання було виявлено, що зі збільшенням швидкості руху щільовача, тяговий опір збільшується за квадратичною залежністю, що відповідає загальноприйнятим уявленням. Однак

незалежно від швидкості руху щільовача, спостерігається значне зниження тягового опору при кутах встановлення щільовача $60^\circ \dots 75^\circ$.

Саме цей діапазон кутів слід розглядати як раціонального конструктивного параметра щільовача. Зниження тягового опору спостерігається через зменшення площі тертя ґрунтового середовища під час руху. Після досягнення певного кута, іде підвищення тягового опору через те, що ґрунтове середовище починає збиратися попереду ножів.

3.4 Порівняльний аналіз результатів моделювання процесу внесення

РКД в програмному комплексі AFT Fathom та аналітичних розрахунків.

Моделювання процесу внесення РКД було здійснено двома способами:
 - за допомогою програмного комплексу AFT Fathom шляхом моделювання гідравлічної системи пристрою для пошарового розгортання внесення РКД;
 - за допомогою аналітичних обчислень.

В результаті моделювання в програмі AFT Fathom були отримані такі вихідні параметри на кордоні вприскувальних інжекторів (Рисунок 3.20)

All Junctions	Bend	Pump	Reservoir	Screen	Spray Discharge	Tee or Wye	Valve		
Spray Discharge	Name	P Static In (kPa)	P Static Out (kPa)	P Stag. In (kPa)	P Stag. Out (kPa)	Vol. Flow Rate Thru Jct (liter/hr)	Mass Flow Rate Thru Jct (kg/sec)	Loss Factor (K)	
12	Spray Discharge	124,5	101,0	124,5	101,0	6,282E+01	1,742E-02	2,535E+04	
17	Spray Discharge	124,6	101,0	124,6	101,0	6,293E+01	1,745E-02	2,535E+04	
18	Spray Discharge	124,7	101,0	124,7	101,0	6,306E+01	1,749E-02	2,535E+04	
19	Spray Discharge	124,8	101,0	124,8	101,0	6,318E+01	1,752E-02	2,535E+04	
26	Spray Discharge	125,4	101,0	125,4	101,0	2,336E-10	6,479E-14	1,900E+27	

Рис. 3.20. Вихідні параметри на кордоні вприскувальних інжекторів

Результати моделювання були оцінені за двома параметрами: гідростатичним тиском ("P Static In" на рисунку 3.20) та об'ємної витрати ("Об'ємна витрата через Jct" на рисунку 3.8) для чотирьох інжекторів. Аналітичні розрахунки також були проведені за допомогою вище описаного методу.

Порівняльні результати моделювання для зазначених методів наведені в таблиці 3.9

Порівняємо обидва зразки з урахуванням тиску в інжекторах та витрати рідкого РКД. Перевіримо гіпотезу про те, що відмінності у представлених вибірках є випадковими. Спочатку проаналізуємо тиск у форсунці . В результаті

аналізу виявилось, що t -критичне 3,18, а значення ймовірності-0,00068, що значно менше і знаходиться в межах t -критичного. Це вказує на випадковий характер існуючих відмінностей у представлених зразках.

Таблиця 3.9

Порівняльні результати моделювання процесу виєсення РКД в програмному комплексі AFT Fathom і аналітичних розрахунків

№ інж.	AFT Fathom		Аналітичні розрахунки	
	Робочий тиск у інжекторі, кПа	Витрата розчину РКД, л/ч	Робочий тиск в інжекторі, кПа	Витрата розчину РКД, л/ч
1	124,5	62,8	123,7	63
2	124,6	62,9	123,7	63
3	124,7	63,0	123,7	63
4	124,8	63,2	123,7	63

Проведемо аналіз за параметром витрати розчину РКД. В результаті аналізу , t -критичне значення було також 3,18, а значення ймовірності -0,79, що знаходиться в межах t -критичного значення, це дозволяє зробити висновок про випадковий характер наявних відмінностей у представлених зразках.

Для перевірки адекватності моделі процесу впровадження РКД було проведено експерименти для визначення рівномірності розподілу розчину РКД по ширині захвату культиватора. Критерієм оцінки рівномірності розподілу є варіація витрати добрив на виході з інжекторних форсунок.

В результаті випробувань (рисунки 3.15 та 3.16) зміни у споживанні добрив від інжекторних форсунок було визначено відхилення, яке склало 3,9%, що не перевищує зазначених агротехнічних вимог (Таблиця 3.10).



Рис. 3.21. Визначення величини варіації витрати розчину РКД

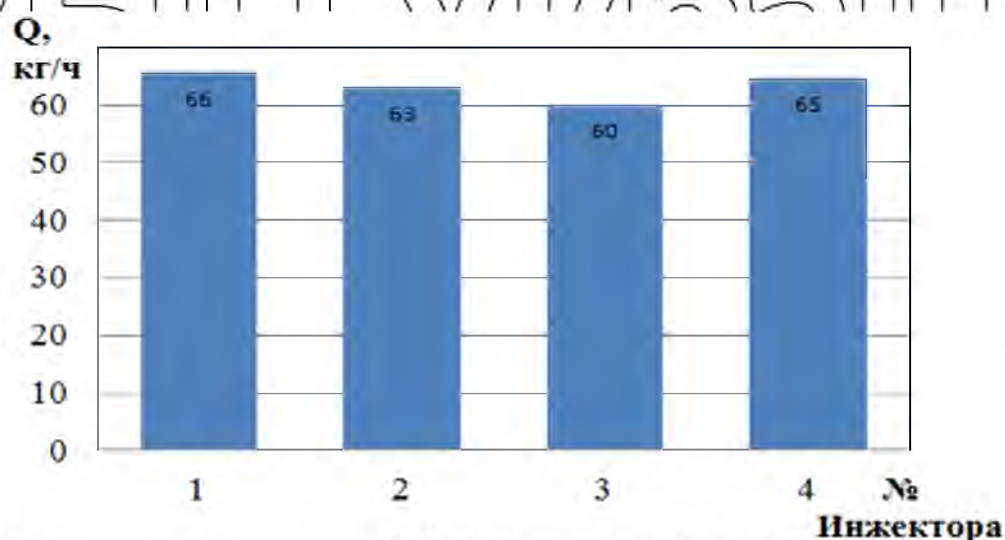


Рис. 3.22. Рівномірність розподілу рідких добрив по ширині захоплення культиватора

НУБІП України

Таблиця 3.10
Результати визначення рівномірності розподілу рідких добрив по ширині захвату культиватора

Номер інжектора	Витрата добрив, кг/год				Величина варіації, %
	Дослід №1	Дослід №2	Дослід №3	Середнє	
1	66	64	67	66	3,9
2	62	63	64	63	
3	61	60	59	60	
4	65	66	63	65	

Для оцінки адекватності моделі процесу внесення РКД порівняємо результати моделювання в програмному комплексі AFT Fathom, аналітичних розрахунків і експериментів (таблиця 3.11).

НУБІП України

Таблиця 3.11
Порівняльні результати моделювання процесу внесення РКД в програмному комплексі AFT Fathom, аналітичних розрахунків і експериментів за показником

№ Інж.	витрата розчину РКД		
	AFT Fathom	Аналітичні розрахунки	Експеримент
1	62,8	63	66
2	62,9	63	63
3	63,0	63	60
4	63,2	63	65

Скористаємось двовибірковим t-критерієм і перевіримо гіпотезу, що відмінності у представлених вибірках є випадковими. Спочатку оцінимо

результати моделювання у програмному комплексі AFT Fathom та результати експерименту. Після обчислень виявилось, що t -критичний становить 3,18 а величина ймовірності 0,72, що потрапляє в межі t -критичного.

Це дозволяє зробити висновок про те, що відмінності у поданих вибірках є випадковими.

3.5 Результати польових досліджень і агротехнічної оцінки розробленої секції для смугового обробітку.

На основі результатів теоретичних та лабораторних досліджень нами встановлено найважливіші конструктивні та технологічні параметри частини культиватора для смугового обробітку з одночасним внесенням добрив. За отриманими параметрами до польових випробувань було підготовлено експериментальну вибірку секції культиватора.

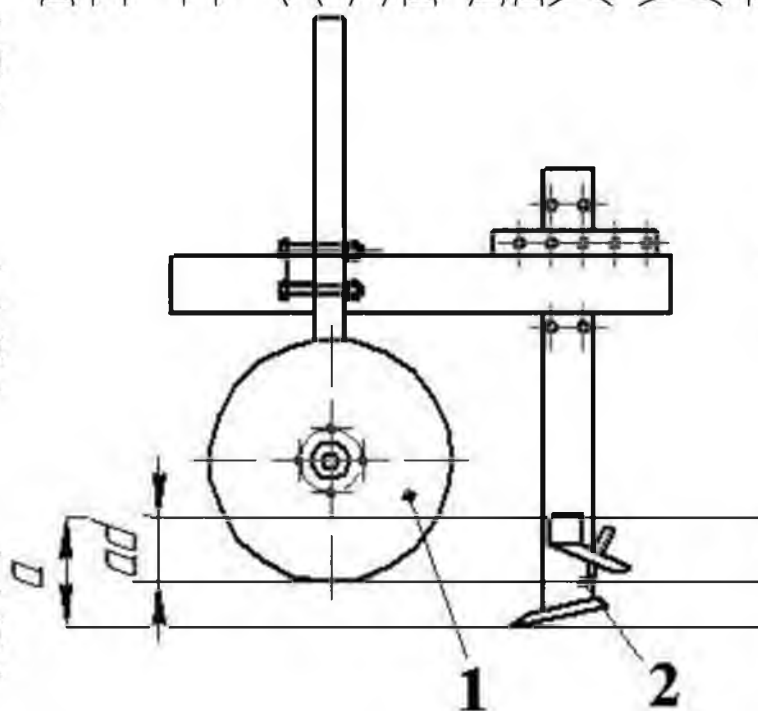


Рис. 3.23. Технологічна схема змінюваних параметрів глибини обробітку:

1 – підрізні диски, 2 – розпушуючий робочий орган

При випробуванні глибина обробки щілювача а варіювалася в діапазоні від 25 до 30 см, а підрізних дисків - в діапазоні від 7 до 10 см (рисунк 4.36). швидкість руху - від 0,8 до 3,4 м /с.

Як вихідні параметри при проведенні агротехнічної оцінки при різних швидкостях руху агрегату і глибини обробітку були обрані наступні показники: ступінь підрізання бур'янів, ступінь кришення ґрунту, глибинність. Параметри тягового опору, ступеня крошення і глибинності в залежності від швидкості руху при різних глибинах ходу щілювача і глибини ходу підрізних дисків = 0,1 м представлені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12

Залежність тягового опору, ступеня кришення і глибинності від швидкості руху при різних глибинах ходу щілювача.

Глибина Обробки a , м	Швидкість V , км/год	Тяговий опір N	Ступінь кришення $C_k, \%$	Глибинність $K_{gl}, \%$
0,25	3,20	1580,56	90	10
	4,50	1675,32	80	20
	7,70	1770,02	78	20
	9,50	1988,21	76	22
0,30	3,20	1620,56	92	9
	4,50	1875,32	78	12
	7,70	1970,02	72	18
	9,50	2358,21	80	20

Графічні залежності тягового опору від швидкості руху при глибинах обробітку щілювача 0,25 м і 0,35 м зображені на рисунку 3.17

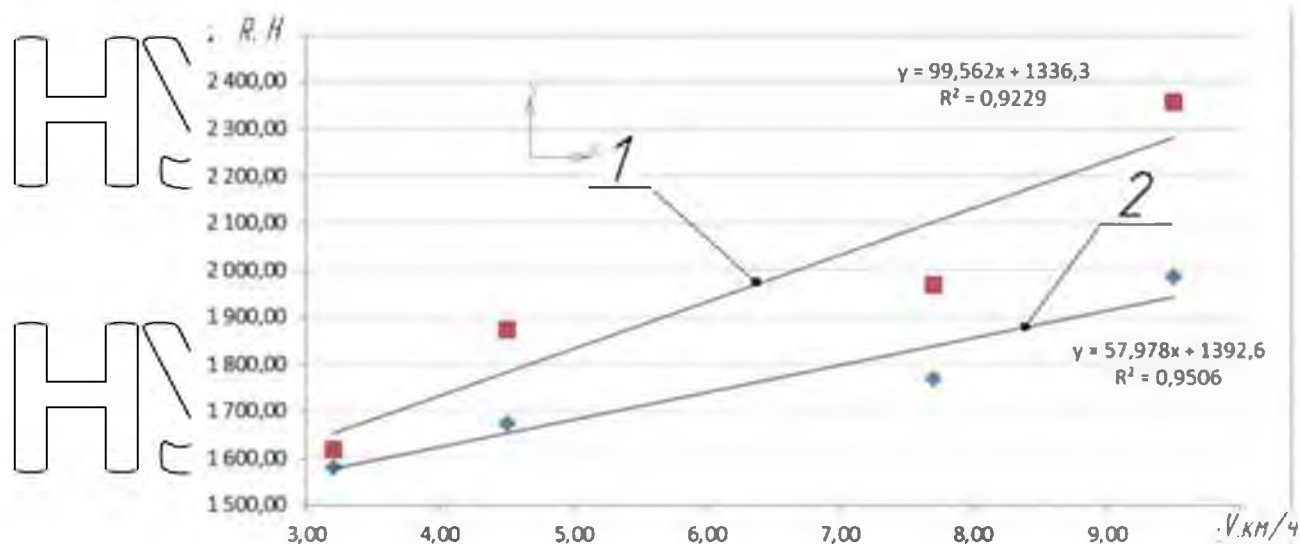


Рис. 3.24. Графік залежності тягового опору від швидкості.

Очевидно, що при зростанні швидкості руху робочого органу і глибини обробітки зростає і тяговий опір знаряддя. 1 - тяговий опір при глибині обробітки 0,30 м, 2 - тяговий опір при глибині обробітки 0,25 м.

Залежність ступеня кришення ґрунту від швидкості руху знаряддя при глибинах обробітки щільвача 0,25 і 0,3 м показані на рисунку 3.25.

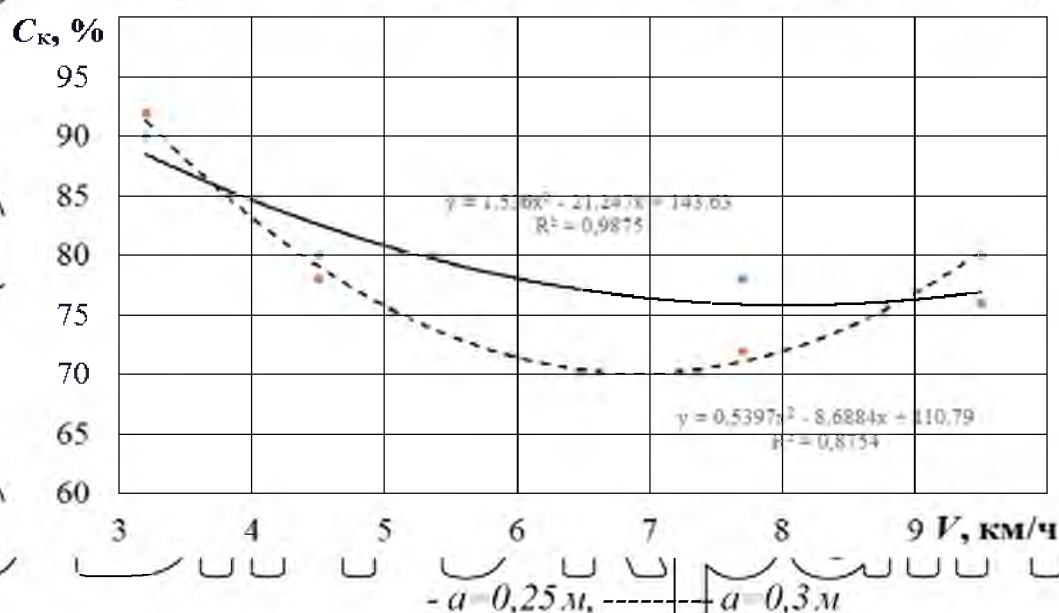


Рис. 3.25. Залежність ступеня кришення від швидкості руху при глибині обробітки 0,25 і 0,3 м

З графіка видно, що ступінь кришення ґрунту розробленої секцією культиватора для смугового обробітку ґрунту знижується при робочих швидкостях руху знаряддя 4,5 ... 7,7 км / год. Особливо це помітно при збільшенні глибини обробки до 0,3 м. Ступінь кришення ґрунту культиватором відповідає агротехнічним вимогам ($С_k > 75\%$) при глибині обробки 0,25 м.

Графічні залежності глибинності ґрунту від швидкості руху знаряддя при глибинах обробки шліювача 0,25 і 0,3 м показані на рисунку 3.26.

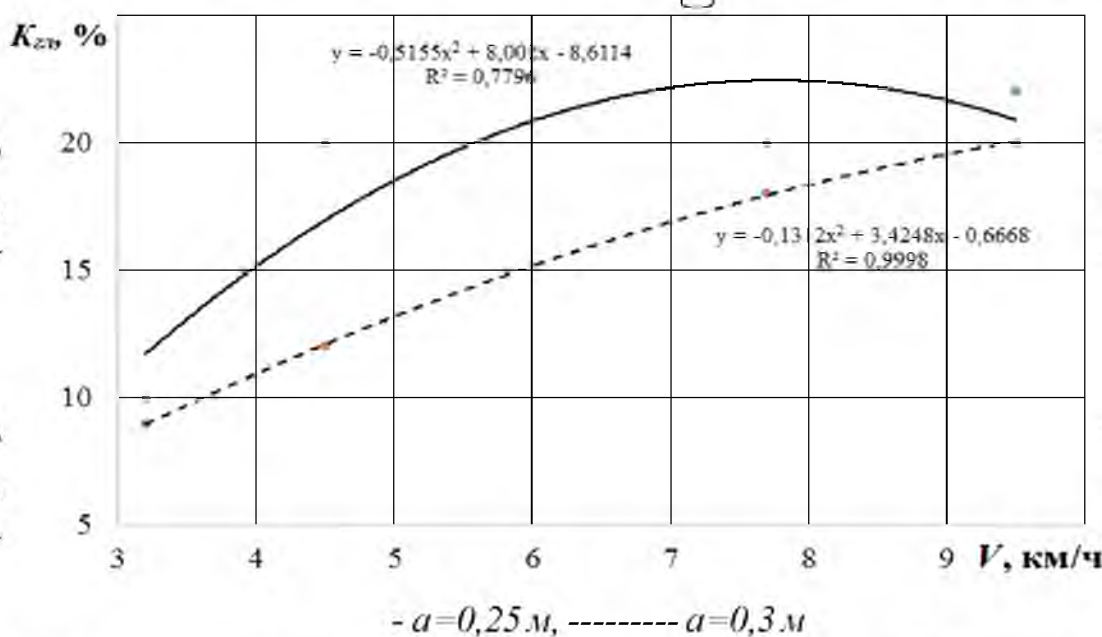


Рис. 3.26. Залежність глибинності від швидкості руху при глибині обробки 0,25 і 0,3 м

Як видно з даних залежностей із збільшенням швидкості роботи знаряддя збільшується глибинність ґрунту.

Відповідно до агротехнічних вимог ступінь кришення має бути не менше 75%, а глибинність в межах 10 ... 15%. Результати польових досліджень показали, що при роботі на глибину 0,25 м необхідний ступінь кришення гарантується при будь-якій робочій швидкості пристрою від 3,0 до 9,5 км / год.

У разі збільшення глибини обробітку на 0,3 м, швидкість руху має бути збільшена на понад 8 км / год.

РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

НУБІП України

4.1 Техніко-економічна ефективність застосування технології
смугового обробітку ґрунту

НУБІП України

Економічна ефективність запропонованої смугової технології обробітку ґрунту оцінювали за такими показниками:

- Визначення економічного ефекту за рахунок зниження експлуатаційних витрат при використанні смугової технології;

НУБІП України

- Визначення економічного ефекту шляхом збільшення врожайності зеленої маси кукурудзи при вирощуванні за допомогою смугової технології;

- Визначення економічного ефекту за рахунок поєднання операцій культивування та різнорівневого внесення добрив.

НУБІП України

Визначення економічної ефективності від впровадження у виробництво Розроблений культиватор здійснювався на основі методики [20, 21].

Спочатку визначимо витрати на виготовлення секції культиватора для смугового обробітку ґрунту:

НУБІП України

$$Z_{ul} = Z_{к.д} + Z_{о.д} + Z_{п.д} + Z_{з.б.н} + Z_{оп}. \quad (4.1)$$

де: $Z_{к.д}$ - витрати на виготовлення корпусних деталей, грн;

$Z_{о.д}$ - витрати на виготовлення оригінальних деталей, грн;

$Z_{п.д}$ - витрати на покупні деталі, вироби, грн;

$Z_{з.б.н}$ - заробітна плата (з відрахуваннями) виробничих робітників, зайнятих на збірці конструкції, грн;

$Z_{оп}$ - загальновиробничі витрати, грн;

Вартість виготовлення корпусних деталей визначається за формулою:

НУБІП України

$$Z_{к.д} = M_k \cdot C_{т.д}. \quad (4.2)$$

де M_k - маса матеріалу, витраченого на виготовлення корпусних деталей (рама; паралелограмний механізм з пружинами; коток; щілювач; кріплення для дисків)

$M_K = 110$ кг; $C_{TД}$ - середня вартість одного кілограма готових деталей, грн/ кг;
 $C_{T.Д} = 30$ грн/ кг

Витрати на виготовлення оригінальних деталей визначаються:

$$Z_{o.d} = Z_M + Z_{np} \quad (4.3)$$

де Z_M - вартість матеріалу заготовок для виготовлення оригінальних деталей, грн;

$$Z_M = M_3 \cdot C_3 \quad (4.4)$$

де M_3 - маса заготовок, кг; C_3 - вартість одного кілограма матеріалу заготовки, грн;

Z_{np} - заробітна плата робітників, зайнятих на виготовленні оригінальних деталей, грн;

Визначимо заробітну плату робітників, зайнятих на виготовленні оригінальних деталей по формулі:

$$Z_{np} = Z_{np1} + Z_{d1} + Z_{соц} \quad (4.5)$$

де Z_{np1} - заробітна плата робітників, зайнятих на виготовленні оригінальних деталей, грн; Z_{d1} - додаткова заробітна плата, грн; $Z_{соц}$ - нарахування по соціальному страхуванню, грн;

$$Z_{np1} = Z_v \cdot t_1 \cdot K_d \cdot N \quad (4.6)$$

де Z_v - годинна ставка робітників по середньому розряду, грн; t_1 - середня трудомісткість виготовлення окремо оригінальних деталей, чол · год; K_d - коефіцієнт, що враховує додаткову оплату до заробітної платі ($K_d = 1,03$); N - кількість виготовлених деталей, шт.

4.2 Техніко-економічна ефективність застосування культиватора для смугового обробітку ґрунту

У розрахунках за визначенням прямих експлуатаційних витрат розглядалося 3 варіанти дослідів з використанням культиватора для смугового

обробітку ґрунту за технологією Strip-till: контроль (проста обробка без внесення добрив); з внесенням води; з внесенням добрив.

Для контрольного варіанту $\text{КК} = 300 + 61 + 510 + 740 + 1100 = 2700$ грн.

Для варіанту з водою $\text{ВВ} = 350 + 80 + 497 + 78 + 1100 = 2095$ грн.

Для варіанту з добривами $\text{іуд} = 357 + 78 + 510 + 79 + 1440 = 2464$ грн.

Витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу з урахуванням виконання всіх операцій з обробки ґрунту за смуговою технологією будуть рівні:

- для контрольного варіанта $\text{Зп} = 305$ грн / га,

- для варіанту з водою $\text{Зп} = 350$ грн / га,

- для варіанту з добривами $\text{Зп} = 350$ грн / га.

При застосуванні технології Strip-till використовувалася наступна техніка: трактор МТЗ - 82, розроблений культиватор, обприскувач Туман-2.

Амортизаційні відрахування при виконанні робіт по смуговій технології

будуть рівні:

- для контрольного варіанту $\text{А} = 61$ грн / га,

- для варіанту з водою $\text{А} = 65$ грн / га,

- для варіанту з добривами $\text{А} = 61$ грн / га.

Витрати на паливно-мастильні матеріали тощо та обробки ґрунту за допомогою пропонованого знаряддя дорівнюватимуть:

- для контрольного варіанта $\text{Г} = 510$ грн / га,

- для варіанту з водою $\text{Г} = 535$ грн / га,

- для варіанту з добривами $\text{Г} = 535$ грн / га.

Витрати на ремонт і технічне обслуговування техніки при виконанні робіт по смуговій технології будуть рівні: - для контрольного варіанта $\text{Р} =$

74 грн / га,

- для варіанту з водою $\text{Р} = 76$ грн / га,

- для варіанту з добривами $\text{Р} = 76$ грн / га.

Інші прямі витрати на різні допоміжні матеріали будуть рівні:

- для контрольного варіанта $\text{Ф} = 504 + 710 = 1214$ грн,

- для варіанту з водою $\text{Ф} = 504 + 710 = 1214$ грн,

- для варіанту з добривами $\Phi = 504 + 710 + 320 = 1534$ грн.

Таким чином, економічний ефект для тесту з водою на основі варіанту контролю становив 1214 грн/га, економічний ефект для тесту з добривами

порівняно з варіантом контролю становив 1534 грн/га. Загальна річна економія

для випробування з водою порівняно з контрольним варіантом склала 468000

грн, а для випробування добривами порівняно з варіантом контролю 760000 грн.

Період окупності виконання механізованих робіт за смуговою технологією для варіанту з водою порівняно з контролем склав 0,32 роки ≈ 1 рік. А для

експерименту з добривами порівняно з варіантом контролю період окупності

становив 0,21 рік ≈ 1 рік.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовані конструктивні та технологічні параметри секції культиватора для смугового обробітку ґрунту: ширина похилих ножів щілювача 0,18 м, відстань між щілювачем і підрізними дисками 0,3 м, глибина ходу розрізних дисків 0,1 м при ширині смуги, що формується 0,25 м, діаметр котка 0,4 м.

2. Визначено основні фізико-механічні властивості та параметри частинок ґрунту для моделювання методом дискретних елементів. Частинки ґрунту утворюються з окремих сфер, число Пуассона $\nu=0,22...0,27$, коефіцієнт статичного тертя $f=0,45$, модуль зсуву $G=10...12$ МПа, модуль пружності $E=30...35$ МПа, щільність частинок $\rho_n=2600$ кг/м³. В результаті моделювання було встановлено, що при кутах кришення 60...75° спостерігається значне зниження тягового опору.

3. В результаті польових досліджень культиватора було встановлено, що ступінь кришення, що відповідає агротехнічним вимогам (>75%), при обробітку на глибину 0,25 м забезпечується при робочій швидкості агрегату 3,0...9,5 км/год. Виробничі випробування показали переваги смугової технології та культиватора, розробленого для об'ємного внутрішньогрунтового внесення добрив. збільшення врожаю зеленої маси кукурудзи порівняно з традиційною технологією склало 83 ц/га.

4. Встановлено, що впровадження технології смугового обробітку ґрунту допомагає досягти економічного ефекту від скорочення експлуатаційних витрат на 1476 грн./га, а загальна економія від використання смугової технології і збільшення врожайності становить 3521 грн/га.

5. Річний економічний ефект становить 62018 грн., а з урахуванням збільшення врожайності - 85892 грн.

6. Економічний ефект від використання розробленого культиватора у порівнянні з традиційною технологією становить 1756 грн/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента / Ю. П. Адлер. – Москва: изд-во Металлургия, 1968. – 155 с.
2. Аминов Р.И. Рабочий орган для полосовой обработки почвы подтехнические культуры [Текст] / С.Г. Мударисов, В.В. Тихонов // Совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники. – Уфа, 2016. – С. 25-31.
3. Аминов Р.И. Рабочая секция для Strip-till технологии / Аминов Р.И., Фархутдинов И.М. – В сборнике: Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК. Материалы международной научно-практической конференции в рамках XXVIII Международной специализированной выставки "Агрокомплекс-2018". Башкирский государственный аграрный университет. – Уфа, 2018. – С. 7-10.
4. Аминов Р.И. Обоснование параметров и разработка культиватора для полосовой обработки почвы и послойного внесения удобрений / Мударисов С.Г., Аминов Р.И., // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 3 (32). С. 33-42.
5. Аминов Р.И. Культиватор для полосовой обработки почвы с прикатывающим катком / Аминов Р.И., Фархутдинов И.М., Мухаметдинов А.М., Шарафутдинов А.В., Ямалетдинов М.М. // Сельский механизатор. 2020. № 5-6. С. 16-17.
6. Аминов Р.И. Самостоятельная работа студента / Аминов Р.И., Мухаметдинов А.М. // В сборнике: научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Сборник докладов XIII международной научно-практической конференции молодых ученых. – Уфа, 2018. С. 207-210.
7. Аминов Р.И. Некоторые качественные показатели работы секции культиватора для полосовой обработки почвы / Аминов Р.И., Мухаметдинов А.М., Танылбаев М.В. В сборнике: Наука молодых – инновационному развитию АПК // Материалы X Юбилейной Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Башкирский государственный аграрный университет. – Уфа, 2017. С. 173-177.

8. Аминов Р.И. Разработанная рабочая секция культиватора и результаты агротехнической оценки / Аминов Р.И., Фархутдинов И.М., Мухаметдинов А.М. В сборнике: наука молодых – инновационному развитию АПК // Материалы X юбилейной всероссийской научно-практической конференции молодых ученых.

Башкирский государственный аграрный университет. – Уфа, 2017. С. 177-182.

9. Аминов Р.И. Результаты компьютерных экспериментов по определению энергетических показателей рабочего органа для полосовой обработки почвы / Аминов Р.И., Ардисламов Д.Д., Фархутдинов И.М. в сборнике: современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК // Материалы

международной научно-практической конференции в рамках XXVII международной специализированной выставки «Агрокомплекс2017». Башкирский государственный аграрный университет. – Уфа, 2017. С. 147-

10. Аминов Р.И. Анализ современных технических средств для посева по почвозащитной технологии / Мухаметдинов А.М., Аминов Р.И. в сборнике: совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники // Материалы всероссийской научно-практической конференции, посвященной 120-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки БАСССР, профессора Александра Петровича Ланге.

– Уфа, 2016. с. 240-246.

11. Аминов Р.И. Рабочий орган для полосовой обработки почвы под технические культуры / Аминов Р.И., Мударисов С.Д., Тихонов В.В. в сборнике: совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники // Материалы всероссийской научно-практической конференции, посвященной 120-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки БАСССР, профессора Александра Петровича Ланге.

– Уфа, 2016. с. 25-31.

12. Аминов Р.И. Теоретическая оценка тягового сопротивления секции рабочих органов культиватора для полосной обработки почвы под посев технических культур / Танылбаев М.В., Рахимов З.С., Аминов Р.И. // В сборнике: наука

молодых – инновационному развитию АПК. материалы IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. – Уфа, 2016. с. 112-115.

13. Аминов Р.И. Рабочий орган для полосовой обработки почвы с одновременным разноуровневым Р.И. Аминов, И.М. Фархутдинов, А.М.

Мухаметдинов // В сборнике: наука молодых – инновационному развитию АПК.

Материалы IX всероссийской научно-практической конференции молодых ученых – Уфа, 2016. С. 3-6.

14. Аминов Р.И. Конструктивные особенности рабочих органов чизельных орудий / Аминов Р.И., Мударисов С.Г. // В сборнике: наука молодых –

инновационному развитию АПК. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. – Уфа, 2015. с. 258-262.

15. Аминов Р.И. Рабочий орган для полосовой обработки почвы под технические культуры [Текст] / С.Г. Мударисов, В.В. Тихонов // Совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники. – Уфа, 2016. С. 25-31.

16. Аминов Р.И. Рабочие органы и обоснование конструктивной схемы для полосовой обработки почвы под технические культуры / Аминов Р.И., Фархутдинов И.М., Мударисов С.Г. В сборнике: Достижения науки и инновации

– аграрному производству // Материалы национальной научной конференции. – Уфа, 2017. С. 94-99.

17. Гараев Р.Р. Разработка и обоснование параметров устройства для приготовления и внесения жидких комплексных удобрений в почву / Гараев Р.Р.

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Башкирский государственный аграрный университет. Уфа, 2017.

18. Гареев, Р.Т. Экспериментальная посевная секция сеялки для посева по нулевой технологии / Р.Т. Гареев, И.М. Фархутдинов, Р.Ф. Юсупов, А.М.

Мухаметдинов // Молодежная наука и АПК: проблемы и перспективы материалы

VII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Башкирский государственный аграрный университет. – Уфа, 2014. – С. 16-21.

19. Горячкин В.П. Собрание сочинений. М. Колос, 1965 – Т.2 - 480 с.

20. ГОСТ Р 53056 – 2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – Введ. 17.12.2008. – М.: Стандартинформ, 2009. – 10 с.

21. ГОСТ 23729 – 88. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки специализированных машин. – Введ. 30.03.1988. – М.: Издво стандартов, 1988. – 12 с.

22. Ефимов, В.Н. Система удобрения / В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко // Под ред. В.Н. Ефимова. – М.: КолосС. – 2003. – 320 с.

23. Коренькова Д.А. Удобрения, их свойства и способы использования / Д.А. Коренькова. – М.: Колос, 1982. – 415 с.

24. Клишин, С.В. Применение метода дискретных элементов при анализе гравитационного движения гранулированного материала в сходящемся канале / С.В. Клишин // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2009, №12. С.273-27732.

25. Кулен А. Современная земледельческая механика. / Кулен А., Куиперс Х. – М.: Агропроиздат, 1986. – 349 с.

26. Мударисов С.Г., Юсупов Р.Ф. Аналитический обзор и обоснование конструктивной схемы посевной секции для посева по нулевой технологии / С.Г.

Мударисов, И.М. Фархутдинов, Р.Ф. Юсупов // В сборнике: Достижения науки - агропромышленному производству материалы LIII Международной научнотехнической конференции. – Челябинск, 2014. С. 202-208.

27. Мударисов С.Г. Чизельные плуги и глубокорыхлители (монография) / Мударисов С.Г., Давлетшин М.М., Тихонов В.В., Фархутдинов И.М. – Уфа: 2014. – 152 с.

28. Мударисов С.Г., Аминов Р.И. Результаты агротехнической и энергетической оценки культиватора для полосовой обработки почвы под технические культуры / Мударисов С.Г., Аминов Р.И., Мухаметдинов А.М., Фархутдинов И.М., Реймер В.В. Известия оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (82). С. 141-144.

29. Мударисов С.Г., Аминов Р.И. Рабочий орган для разноуровневого внесения удобрений и посева семян / Мударисов С.Г., Аминов Р.И., Фархутдинов И.М., Мухаметдинов А.М. // Сельский механизатор. 2019. № 5. С. 8-9.

30. Мударисов С.Г., Аминов Р.И. Моделирование технологического процесса обработки почвы MDE и CFD - методами / Мударисов С.Г., Фархутдинов И.М., Аминов Р.И. // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 3 (32). С. 147-155.

31. Мударисов С.Г., Аминов Р.И. Рабочий орган для внесения удобрений в технологии Strip-till при выращивании технических культур / Мударисов С.Г.,

Аминов Р.И., Фархутдинов И.М., Ямалетдинов М.М. Сельский механизатор. – Уфа, 2017. № 9. С. 10-11.

32. Мударисов, С.Г. Компьютерные исследования рабочего органа в программном комплексе FlowVision. [Текст] / С.Г. Мударисов, Д.Д. Ардисламов,

А.В. Ардисламова и др. // Совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники:

Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 120-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки БАСССР, профессора Александра Петровича Ланге. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2016. - 424 с.

33. Мухаметдинов А.М. Обзор конструктивных схем прикатывающих катков после посева / Гареев Р.Т., Мухаметдинов А.М. // В сборнике: Наука молодых - инновационному развитию АПК. Материалы международной молодежной научно-практической конференции – Уфа, 2016. С. 188-192.

34. Насибуллин Р.Я., Аминов Р.И. Обзор существующих конструкций прикатывающих катков / Мухаметдинов А.М., Насибуллин Р.Я., Аминов Р.И. //

В сборнике: современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию башкирского государственного аграрного университета

(в рамках XXX международной специализированной выставки «Агрокомплекс-

2020»). Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Министерство сельского хозяйства Республики Башкортостан; федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Башкирский государственный аграрный университет»; ООО «Башкирская выставочная компания». – Уфа, 2020. – С. 295-299

35. Панов И.М. Современное состояние и перспективы развития земледельческой механики в свете трудов В. П. Горячкина / И.М. Панов, В.И.

Ветохин // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ №2. – Москва, 2008. С.9 - 14.

36. Пановко Я.Г. Механика деформируемого твёрдого тела: Современные концепции, ошибки и парадоксы / Я.Г. Пановко. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 288 с.

37. Пат. 193597 Российская Федерация, МПК А01В 49/02. Культиватор для полосовой обработки почвы с разноуровневым внесением удобрений / Аминов

Р.И., Мударисов С.Г., Фархутдинов И.М., Ямалетдинов М.М. (Россия); патентообладатель Аминов Р.И. (Россия) – 2019122890; заявл. 16.07.2019; опубл. 06.11.2019, Бюл. № 31.

38. Пат. 152987 Российская Федерация, МПК А01В 49/02. Рабочая секция для полосовой обработки почвы / Мударисов С.Г., Рахимов З.С., Юсупов Р.Ф.,

Валиуллин И.Э., Тихонов В.В., Фархутдинов И.М., Ямалетдинов М.М. (Россия); патентообладатель Рахимов З.С. (Россия) - 2015107078/13; заявл. 02.03.2015; опубл. 27.06.2015, бюл. № 18.

39. Пат. 169547 Российская Федерация, МПК А01В 49/06. Рабочий орган для разноуровневого внесения жидких удобрений: / Аминов Р.И., Мударисов С.Г.,

Тихонов В.В., Рахимов З.С., Фархутдинов И.М., Ямалетдинов М.М. (Россия); патентообладатель Аминов Р.И. (Россия) - 2016121546; заявл. 31.05.2016; опубл. 22.03.2017, Бюл. № 7.

40. Пат. 174703 Российская Федерация, МПК А01В 49/02. Рабочая секция для полосовой обработки почвы с разноуровневым внесением удобрений / Аминов

Р.И., Мударисов С.Г., Фархутдинов И.М., Ямалетдинов М.М. (Россия); патентообладатель Аминов Р.И. (Россия) – 2017116112; заявл. 05.05.2017; опубл. 30.10.2017, Бюл. № 31.

41. Пат. 192525 Российская Федерация, МПК А01С 7/20. Сошник-удобритель / Иванов А.В., Фархутдинов И.М., Танылбаев М.В., Рахимов З.С., Мударисов С.Г.,

Ямалетдинов М.М., Сафин Х.М., Аминов Р.И. (Россия); патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Башкирский государственный аграрный университет" (Россия) – 2019111819; заявл. 19.09.2019; опубл. 19.09.2019, Бюл. № 26.

42. Пат. 179651 Российская Федерация, МПК А01С 7/00. Посевная секция
Мударисов С.Г., Камалетдинов Р.Р., Рахимов З.С., Фархутдинов И.М., Ямалетдинов М.М., Аминов Р.И. (Россия), патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Башкирский государственный аграрный университет" (Россия) – 2017136908; заявл. 19.10.2017; опубл. 21.05.2018, Бюл. № 15.

43. Раймер У.Т. Обоснование полосовой обработки почвы при возделывании сельскохозяйственных культур: дис. ... канд. техн. наук. 05.20.01 / У.Т. Раймер. – г.Барнаул, 2017 – 158 с.

44. Рахимов З.С. Секция для полосовой обработки / Рахимов З.С., Танылбаев М.В., Ардисламов Д.Д. // Наука молодых – инновационному развитию АПК. Материалы VIII Всероссийского научно-практического конференции молодых ученых. – Уфа, 2015. - С. 346-350.

45. Романенко А.А. Технология возделывания кукурузы. Рекомендации / Романенко А.А., Супрунов А.И., Лавренчук Н.Ф., Толорая С.Р., Пацкан В.Ю., Петрова М.В. – Краснодар, 2016. – 40 с.

46. Сафин Х.М. Агротехнические особенности использования Strip-Till технологии в растениеводстве (рекомендации производству) / Х.М. Сафин, Р.С. Фахрисламов, Л.С. Шварц, Ф.М. Давлетшин, С.Г. Мударисов, З.С. Рахимов, Д.С. Аюпов, А.Ш. Уметбаев. – Уфа, Мир печати, 2017. – 44 с.

47. Сафин Х.М. Технология Strip-Till в системе сберегающего земледелия: теория и практика внедрения. – Уфа: Мир печати, 2013. - 72с.

48. Татаров Н.Т. Разработка и обоснование конструктивно-технологических параметров плуга-плоскореза для почвозащитной технологии обработки почвы (монография) // Татаров Н.Т., Урханов Н.А., Лабаров Д.Б. – Улан-Удэ, 2006. – 152 с.

49. Тихонов В.В. Исследование чизельного рабочего органа с дополнительным крошителем / Давлетшин М.М., Тихонов В.В. // Материалы 19-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Агро-комплекс-2009». Часть 1. – Уфа: Изд-во БГАУ, 2009. – С.60-61.

50. Тихонов В.В. Совершенствование рабочего органа чизеля для дополнительного крошения почвы и обоснование его параметров: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / В.В. Тихонов. – Уфа, 2012. – С. 40-43

51. Тихонов В.В. Обзор и обоснование конструктивной схемы рабочего органа для полосовой обработки почвы под технические культуры / В.В. Тихонов, И.М.

Фархутдинов, Р.Ф. Юсупов, И.Э. Валиуллин. // В сборнике: Совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники Материалы Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2013. - С. 358-364.

52. Трусов А.С. Технология No-Till и Strip-Till – основные преимущества (опыт ООО «Зерно Белогорья») / А.С. Трусов // Достижения науки и техники АПК. Уфа, 2012. - №12. – С.20.

53. Фёдоров Д.И. Повышение эффективности работы ротационного плуга с эллиптическими лопастями: дис. ...канд. тех. наук: 05.20.01 / Д.И. Фёдоров – Чебоксары, 2016) – 234 с.

54. Юсупов Р.Ф. Обоснование параметров и разработка комбинированной сеялки для нулевого посева: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / Р.Ф. Юсупов. – г. Уфа, 2017 – 186 с.

55. Ягодин Б. А., Жуков Ю. П., Кобзаренко В. И. Агрехимия / Под ред. Б. А. Ягодина. – М.: Колос, 2002. – 584 с.

56. Ямалетдинов М.М. Оценка технологического процесса взаимодействия дискового рабочего органа с почвой / Ямалетдинов М.М., Мударисов С.Г., Фархутдинов И.М. // Вестник Башкирского ГАУ.- 2015.-№ 2 (34).- С.84-87.

57. AFT Fathom product [Электронный ресурс]: AFT Fathom demo. – Colorado Springs: Applied Flow Technology Corporation, 2015. – URL: <http://www.aft.com>

58. AFT Fathom Quick Start Guide: Incompressible Pipe Flow Modeling. – Colorado Springs: Applied Flow Technology Corporation, 2008. – 107 e.

59. Abo Elnor M., et al. “Simulation of soil-blade interaction for sandy soil using advanced 3D finite element analysis”. *Soil and Tillage Research* 75.1 (2004): 61-73.

60. Ahmad, F., Weimin, D., Qishud, D., Huimin, F., Hassan, M. 3-D DEM modeling of single disc furrow opener draft force in no-till paddy soil (2015) *International Agricultural Engineering Journal*, 24 (2), pp. 17-29.

61. Ani, O.A., Uzoejinwa, B.B., Ezeama, A.O., Onwualu, A.P., Ugwu, S.N., Ohagwu, C.J. Overview of soil-machine interaction studies in soil bins (2018) *Soil and Tillage Research*, 175, pp. 13-27.

62. Anandarajah, A., 1994. Discrete element method for simulation behavior of cohesive soil. *J. Geotech. Eng.* 120 (9), 1593–1613.

63. Ayadi Ibrahim, Hatem Bentaher and Aref Maalej (2014), Soil-blade orientation effect on tillage forces determined by 3D finite element models Spanish. *Journal of Agricultural Research*. pp. 941-951, 2014

64. Ayadi Ibrahim, Hatem Bentaher, Elyes Hamza, Aref Maalej, Abdul-M. Mouazen (2017), 3D finite element simulation of the effect of mouldboard plough's design on both the energy consumption and the tillage quality, *Int J Adv Manuf Technol* (2017)

90: pp. 473–487.

65. Bartzanas, T., Kacira, M., Zhu, H., Karmakar, S., Tamimi, E., Katsoulas, N., Lee, L.B., (...), Kittas, C. Computational fluid dynamics applications to improve crop production systems (2013) *Computers and Electronics in Agriculture*, 93, pp. 151-167.

66. Barr, J.B., Ucgul, M., Desbiolles, J.M.A., Fielke, J.M. Simulating the effect of rake angle on narrow opener performance with the discrete element method (2018) *Biosystems Engineering*, 171, pp. 1-15.

67. Barr, et al. 2018 J. B. Barr, M. Ucgul, J.M.A. Desbiolles, John M. Fielke / Simulating the effect of rake angle on narrow opener performance with the discrete element method // *Agricultural Machinery Research and Design Centre, School of Engineering, University of South Australia, Mawson Lakes, SA 5095, Australia.*, 1-14. (2018)

68. H. Bentaher, A. Ibrahim, E. Hamza, M. H. baieb, G. Kantchev, A. Maalej, W. Arnold
Finite Element simulation of moldboard-soil interaction. *Soil and Tillage Research*
Volume 134, November 2013, Pages 11-16

69. Bezverkhova and, 2010 E. V. Bezverkhova, V. G. / Ресурсосберегающие
технологии как основа инновационного развития отрасли растениеводства // *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. - 2010. - №
9. - С. 45-47.

70. Bravo, E.L., Tijskens, E., Suárez, M.H., González Cueto, O., Ramon, H. Prediction
model for non-inversion soil tillage implemented on discrete element method (2014)
Computers and Electronics in Agriculture, 106, pp. 120-127.

71. Coetzee and Els, 2009 C.J. Coetzee, D.N.J. Els / Calibration of granular material
parameters for DEM modelling and numerical verification by blade – granular material
interaction // *Els / Journal of Terramechanics* 46 (2009) pp.15-26.

72. Cundall P A, Strack O D L. A discrete numerical model for granular assemblies.
Geotechnique, 1979; 29(1): 47-65.

73. Davoudi S., et al. “A two-dimensional finite element analysis of a plane tillage tool
in soil using a nonlinear elasto-plastic model”. *American-Eurasian Journal of*
Agricultural and Environmental Sciences 3 (2008): 498-505.

74. Duran, J., 1999 *Sand, Powder and Grains, an Introduction to the Physics of*
Granular Materials. Springer, New York.

75. Dzyuba, O., Dzyuba, A., Polyakov, A., Volokh, V., Antoshchenkov, R.,
Mykhailov, A. Studying the influence of structural-mode parameters on energy
efficiency of the plough PLN-3-35 (Открытый доступ) (2019) *Eastern-European*
Journal of Enterprise Technologies, 3 (1-99), pp. 55-65.

76. Fleischmann, J., Serban, R., Negrut, D., Jayakumar, P. On the Importance of
Displacement History in Soft-Body Contact Models (2016) *Journal of Computational*
and Nonlinear Dynamics, 11 (4), art. no. 044502.

77. A. Formato, S. Faugno, G. Paolillo “Numerical simulation of soil-plough
moldboard interaction”. *Biosystems Engineering* 92 (2005): 309-316.

78. Fleischmann et al., 2016 J. Fleischmann, R. Serban, D. Negrut / On the Importance of Displacement History in Soft-Body Contact Models // Journal of Computational and Nonlinear Dynamics (2016).

79. Gabitov et al., 2018 Gabitov, I., Mudarisov, S., Gafurov, I., Ableeva, A., Negovora, A., Davletshin, M., Rakhimov, Z., Khamaletdinov, R., Martynov, V., Yukhin, G. / Evaluation of the efficiency of mechanized technological processes of agricultural production // (2018) Journal of Engineering and Applied Sciences, 13 (Special issue 10), pp. 8338-8345.

80. Govers, G. and J. Poesen, 1998. Field experiments on the transport of rock fragments by animal trampling on scree slopes. *Geomorphology*, 23: 193-203.

81. Guerra, A.J.T., M.A. Fullen, M.D.C.O. Jorge, J.F.R. Bezerra and M.S. Shokri, 2017. Slope processes, mass movement and soil erosion: A review. *Pedosphere*, 27:

27-41. Heckrath, G., U. Halekoh, J. Djurhuus and G. Govers, 2006. The effect of tillage direction on soil redistribution by mouldboard ploughing on complex slopes. *Soil Tillage Res.*, 88: 225-241.

82. R. Jafari, T. Tavakoli Hashjin, S. Minaee, M.H. Raoufat (2006), Large-deformation modeling in soil-tillage tool interaction using advanced 3D nonlinear finite element approach, Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Simulation,

Modelling and Optimization, Lisbon, Portugal, September 22-24, 2006, Pages 246-251.

83. Karmakar and Kushwaha, 2005 S. Karmakar, R.L. Kushwaha / Simulation of soil deformation around a tillage tool using computational fluid dynamics // *Trans. ASAE*, 48 (2005), pp. 923-932.

84. Karmakar, S., Ashrafizadeh, S.R., Kushwaha, R.L. Experimental validation of computational fluid dynamics modeling for narrow tillage tool draft (2009) *Journal of Terramechanics*, 46 (6), pp. 277-283

85. Karmakar, S., Kushwaha, R.L. Simulation of soil deformation around a tillage tool using computational fluid dynamics (2005) *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 48 (3), pp. 923-932.

86. Kosmas, C., S. Gerontidis, M. Marathanou, B. Detsis and T. Zafiriou et al., 2001. The effects of tillage displaced soil on soil properties and wheat biomass. *Soil Tillage Res.*, 58: 31-44.

87. Laniar, J., Jean, M., 2000. Experiments and numerical simulation with 2D disks assembly. *J. Powder Technol.* 109, 206–221.

88. Mak et al., 2012 J. Mak, Y. Chen , M.A. Sadek. / Determining parameters of a discrete element model for soil–tool interaction // *Soil & Tillage Research* 118 (2012) pp.117-122.

89. Mak, J., Chen, Y., Sadek, M.A. Determining parameters of a discrete element model for soil–tool interaction (2012) *Soil and Tillage Research*, 118, pp. 117-122.

90. Milkevych, V., Munkholm, L.J., Chen, Y., Nyord, T. Modelling approach for soil displacement in tillage using discrete element method (2018) *Soil and Tillage Research*, 183, pp. 60-71.

91. Moreau, J.J., 1994. Some numerical methods in multibody dynamics. Application to granular materials. *Eur. J. Mech. A: Solids* 13 (4), pp. 93–114.

92. Mudarisov, S.G., Rakhimov, Z.S., Iamaletdinov, M.M., Farkhutdinov I.M. Estimation of technological process of soil tillage based on continuous media dynamics equation (2010) *Achievements of Science and Technology of Agribusiness*, 1, pp. 63-65.

93. Mudarisov S., Aminov R. Comparative assessment of discrete element methods and computational fluid dynamics for energy estimation of the cultivator working bodies

/ Mudarisov S., Farkhutdinov I., Aminov R., Rakhimov Z., Bagautdinov R., Rakhimov I., Gainullin I. *Journal of applied engineering science*. 2020. T. 18, № 2. С. 198-206.

94. Mudarisov, S.G., Gabitov, I.I., Lobachevsky, Y.P., Mazitov, N.K., Rakhimov, R.S., Khamaletdinov, R.R., Rakhimov, I.R., Gareev, R.T. Modeling the technological process of tillage (2019) *Soil and Tillage Research*, 190, pp. 70-77.

95. Mudarisov, 2005 S.G. Mudarisov / Modeling the process of interaction of working bodies with the soil // *Tractors Agric. Mach.*, 7 (2005), pp. 27-30

96. Mudarisov, et al. 2005, S.G. Mudarisov, Z.S. Rakhimov, M.M. Jamaletdinov, I.M. Farkhutdinov / Estimation of technological process of soil tillage based on continuous media dynamics equation // *Achiev. Sci. Eng. Agro-Ind. Complex*, 1 (2010), pp. 63

97. Mudarisov, S.G. Modeling the process of interaction of working bodies with the soil (2005) *Tractors and Agricultural Machine*, 7, pp. 27-30.

98. Mudarisov, et al. 2019 S.G. Mudarisov, I.I. Gabitov, Y.P. Lobachevsky, N.K. Mazitov, R.S. Rakhimov, R.R. Khamaletdinov, I.R. Rakhimov, I.M. Farkhutdinov, A.M. Mukhametdinov, R.T. Gareev. / Modeling the technological process of tillage // *Soil and Tillage Research*. Volume 190, July 2019, Pages 70-77.

99. Mustafa, U., John, F., Chris, S., 2014. Three Dimensional Discrete Element Modelling of Tillage: Determination of a Suitable Contact Model and Parameters for a Cohesionless Soil. *Biosystem Engineering* 10, 106-117.

100. Peng, C., Zhou, M., Wu, W. Large deformation modeling of soil-machine interaction in clay (2015) *Bifurcation and degradation of geomaterials with engineering applications. Proceedings of the 11th International workshop on bifurcation and degradation in geomaterials dedicated to Hans Muhllhaus*, pp. 249-257.

101. Papamichos, E., Papanastasiou, P., Pasternak, E., Dyskin, A. (Eds), Limassol, Cyprus, 21-25 May 2017.

102. Rakhimov, et al 2018 Z. Rakhimov, S. Mudarisov, I. Gabitov, I. Rakhimov, R. Rakhimov, I. Farkhutdinov, M. Tanylbaev, I. Valiullin, M. Yamaletdinov and R. Aminov, 2018 / *Mathematical Description of the Mechanical Erosion Process in Sloping Fields // Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13

103. Rakhimov, Z. Mudarisov, S., Gabitov, I., Rakhimov, I., Rakhimov, R., Farkhutdinov, I., Tanylbaev, M., (.), Aminov, R. Mathematical description of the mechanical erosion process in sloping fields (2018) *Journal of Engineering and Applied- Sciences*, 13, pp. 6505-6511.

НУБІП України

НУБІП Додатки України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Додаток А Секція культиватора у ґрунтовому каналі



Додаток Б Визначення вологості у ґрунтовому каналі



Додаток В Профіль борозни після проходу щільвача



Додаток Г Сходи кукурудзи



НУБІП України