

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**01.01 – КМР. 189"С" 2021.02.01. 027 ПЗ**

**КОЛОДЯЖНОГО ДМИТРА ОЛЕКСАНДРОВИЧА**

**2021**

**НУБІП України**

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**01.01 – КМР. 189"С" 2021.02.01. 027 ПЗ**

**КОЛОДЯЖНОГО ДМИТРА ОЛЕКСАНДРОВИЧА**

**2021**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

# НУБІП України

Механіко-технологічний факультет

УДК 636.54: 413

**ПОГОДЖЕНО** **ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

Декан механіко-технологічного факультету

Завідувач кафедри  
Сільськогосподарських машин  
та системотехніки ім акад. П.М.

Василенка

(назва кафедри)

В. Братішко

Гуменюк Ю.О.

“ ” 2021 р.

“ ” 2021 р.

# НУБІП України

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Обґрунтування технологічного процесу копіювання траєкторій рядків при  
обробітку захисних зон цукрових буряків

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітня програма: «Агроінженерія»

# НУБІП України

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми:**

Доктор технічних наук, с.н.с

В.В. Братішко

(підпис)

# НУБІП України

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:**

Д.с.-г.н., професор  
(науковий ступінь та вчене звання)

Теслюк В.В.

Виконав

Колодяжний Д.О.

(підпис)

(ІПБ студента)

# НУБІП України

КИЇВ – 2021

# НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

УДК 636.54: 413

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Сільськогосподарських  
машин та системотехніки

ім акад. П.М. Василенка

к.т.н., доцент

Гуменюк Ю.О.

2021 року

**ЗАВДАННЯ**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
СТУДЕНТУ**

Колодяжний Дмитро Олександрович

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Освітня програма: «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської роботи: «Обґрунтування технологічного процесу копіювання траєкторії рядків при обробі захисних зон цукрових буряків»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «01» лютого 2021р. № 189 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2021. 11. 25.

Вихідні дані до магістерської роботи: характеристика сировинної бази регіону, технологічна та технічна документації, стан механізації виробничих процесів по вирощуванню цукрових буряків.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Стан питання і задачі досліджень.
2. Теоретичне обґрунтування копіювання траєкторії рядків при обробі захисних зон рядків цукрових буряків.
3. Програма і методика експериментальних досліджень.
4. Результати лабораторно-польових досліджень і їхній аналіз.
5. Виробнича перевірка і економічна ефективність.

Дата видачі завдання «10» лютого 2021р.

Керівник магістерської роботи

Теслюк В.В.

Завдання прийняв до виконання

Колодяжний Д.О.

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається із вступу, 5 розділів розрахунково-пояснювальної записки, висновків, списку використаних джерел з 18 назв і 10 аркушів графічної частини. Основний зміст дипломного проекту викладено на 80 сторінках машинописного тексту, містить 23 рисунки і 4 таблиці.

Наукова новизна. Розроблено аналітичні залежності, на основі яких обґрунтовані методики технологічного налагодження механічних орієнтаторів і вибору установчої захисної зони на просапних культиваторах.

Практичне значення. Запропонований технологічний процес роботи просапного культиватора з використанням механічного орієнтатора дозволяє довести обробіток ґрунту міжряддя до 75-80 %, а використання методик налагодження орієнтаторів дозволяє більш ефективно застосовувати просапні агрегати в умовах реальної експлуатації.

В магістерській роботі розглянуті наступні питання:

1. Технологічний процес обробки захисних зон рядків цукрових буряків.
2. Методики налагоджування механічних орієнтаторів і вибору оптимальних захисних зон на культиваторах в залежності від конструктивних і кінематичних параметрів агрегату, степені кривизни траєкторії рядка, параметрів щілини, степені розвитку рослин і точності водіння робочих органів.
3. Експериментальна перевірка параметрів орієнтатора, оптимізація режимів роботи просапного культиватора в лабораторно-польових умовах;
4. Економічна ефективність впровадження технологічного процесу.

**Ключові слова:** Обробіток ґрунту, цукрові буряки, міжряддя, секція, диск лапа, захисна зона, рослина, продуктивність, ефективність.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	4
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ .....	6
ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ_1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	8
1.1 Агротехнічна ефективність механічного обробітку ґрунту в зоні рядків цукрових буряків.....	8
1.2 Аналіз тенденцій розвитку конструкцій просапних культиваторів і застосовуваних робочих органів .....	10
1.3 Аналіз критерію прямолінійності рядків і вибору захисних зон на культиваторах.....	18
РОЗДІЛ_2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОПИЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ РЯДКІВ ПРИ ОБРОБІТКУ ЗАХИСНИХ ЗОН ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ.....	22
2.1. Аналіз процесу копіювання траєкторії рядків культиватором, обладнаним механічним орієнтатором.....	23
2.2. Визначення величини захисної зони рядка.....	40
РОЗДІЛ_3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	47
3.1 Програма експериментальних досліджень.....	47
3.2. Засоби експериментування .....	48
3.3. Методика проведення досліджень .....	51
РОЗДІЛ_4 РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХНІЙ АНАЛІЗ.....	57
4.1 Оцінка точності копіювання рядків просапними культиваторами.....	57
4.2 Вибір оптимальних режимів роботи просапних культиваторів .....	64
РОЗДІЛ_5 ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА І ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	73
5.1 Результати порівняльної виробничої перевірки .....	73
5.2 Техніко-економічне обґрунтування застосування культиватора.....	74
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79

# НУБІП України

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

САПР – системи автоматизованого проектування.

ВВП – вал відбору потужності.

ККД – коефіцієнт корисної дії.

ПФЕ – повний факторний експеримент.

ДФЕ – дробовий факторний експеримент.

ЄСКД – єдина система конструкторської документації.

КФ-5,4 – фрезерний культиватор.

УКРП-5,4В – універсальний культиватор-рослинопідживлювач.

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

## ВСТУП

НУМБІП України  
 Висхідними причинами більшості факторів зниження ефективності бурякового виробництва та надмірного застосування пестицидів є недосконалість техніки для вирощування та збирання цукрових буряків.

НУМБІП України  
 Відомо, що найбільш трудомісткою операцією при вирощуванні цукрових буряків є знищення бур'янів, що складає 40.. 50 % всіх затрат праці. Якісно нові задачі обумовлені зростаючим дефіцитом трудових і матеріальних ресурсів, збільшенням вимог екологічних обмежень. Тому зниження затрат праці на вирощування цукрових буряків повинно йти шляхом удосконалення технологічного процесу догляду за рослинами, розробки робочих органів і конструкцій машин для його виконання [1, 2].

НУМБІП України  
 Мета роботи. Підвищення ефективності обробітку ґрунту в захисних зонах рядків цукрових буряків в початковий період вегетації шляхом удосконалення технологічного процесу роботи механічного орієнтатора по напрямних щілинах, утворених при сівбі.

Задачі досліджень.

1. Обґрунтувати технологічний процес обробітку захисних зон рядків цукрових буряків.
2. Обґрунтувати методику налагодження механічних орієнтаторів і вибору оптимальних захисних зон на культиваторах в залежності від конструктивних і кінематичних параметрів агрегату, степені кривизни траєкторії рядка, параметрів щілини, степені розвитку рослин і точності водіння робочих органів.
3. Провести експериментальну перевірку параметрів орієнтатора, оптимізувати режими роботи просапного культиватора в лабораторно-польових умовах;
4. Визначити економічну ефективність впровадження технологічного процесу обробітку захисних зон рядків культиватором обладнаним механічним орієнтатором.

## РОЗДІЛ I – СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

# НУВБІП України

### 1.1 Агротехнічна ефективність механічного обробітку ґрунту в зоні

#### рядків цукрових буряків

З усього комплексу агротехнічних заходів по догляду за посівами цукрових буряків особливе значення відводиться обробітку ґрунту в міжряддях. Сільськогосподарське виробництво в наш час нагромадило певний досвід і сформулювало основні агротехнічні цілі їх проведення: знищення бур'янів, покращення умов розвитку кореневої системи рослин, відновлення фізичного стану ґрунту тощо [1, 3].

В дослідженнях по вирощуванню цукрових буряків, поряд з проведенням боронувань, проріджувань, хімічної боротьби з бур'янами і шкідниками, автори в основному підтверджують необхідність проведення трьох-чотирьох розпушень ґрунту в міжряддях. Особливо підкреслюється важливість проведення розпушень в початковий період розвитку рослин механічним руйнуванням ґрунтової кірки і подрібнення поверхні ґрунту в зоні рядка. В цей період щільність ґрунту повинна знаходитись в межах 0,9...1,3 г/см<sup>3</sup>. при достатній розпушеності ґрунту прискорюється процес розростання молодого кореня, його „линька”, більш успішно проходить виживання рослин від коренеїду [4, 5, 6].

В дослідженнях Матушкіна С.І. і Іващенко О.О. робиться висновок, що спільна вегетація цукрових буряків і бур'янів до 30 днів не призводить до суттєвих недоборів коренеплодів. Збільшення цього періоду до 80 днів сильно пригнічує і знижує врожайність майже в два рази. Вказується також, що при утриманні посівів в чистому стані протягом 80 днів, знову пророслі бур'яни не впливали на продуктивність цукрових буряків. Це говорить про необхідність боротьби з бур'янами в початковій фазі їх розвитку [11, 12].

Оцінювальним показником роботи просапних агрегатів при обробітку ґрунту в міжряддях є ширина необробленої смуги в зоні рости рослини – захисна

# НУВБІП України

зона. В нашій країні рихлять ґрунт культиваторами в міжряддях з захисними зонами 0,18 – 0,20 м, оброблюючи трохи більше 50 % площі, а на іншій площі застосовують ручну працю.

Скорочення затрат ручної праці на вирощування цукрових буряків при знищенні бур'янів механічним способом пов'язано з вирішенням подвійної задачі. Перша – зменшення установочних захисних зон і робота безпосередньо прямим контактом в зоні рядка, що призводить до прорідження посівів і потребує підвищеної норми висіву насіння. Друга – наявність більше 5...6 рослин буряків на 1 м рядка потребує застосування ручної праці на проріджування. При цьому

для зниження затрат ручної праці необхідно шукати таке поєднання методів боротьби, яке без прямого контакту в зоні рядка дозволило б знищити бур'яни з мінімальними (допустимими) пошкодженнями рослин цукрових буряків [9, 10].

Таким чином, на основі агротехнічних вимог і проведеного аналізу можна сформулювати основні положення для досягнення агротехнічного ефекту в застосуванні механічного засобу (просапного культиватора) для боротьби з бур'янами в зонах рядків цукрових буряків в початковий період вегетації [7]:

- середня глибина розпушення не повинна перевищувати глибини заробки насіння цукрових буряків і бути не більше 50 мм, а середньоквадратичного відхилення від фактичної глибини розпушення не повинно перевищувати + 5 мм;
- розпушення ґрунту біля рядка рослини, обмеженої біологічною захисною зоною повинно забезпечувати повне знищення підрізаних бур'янів, яке виключає їх приживання (допускається не більше 5 %);
- загальна кількість рослин буряків знищених підрізанням, присипаних з сильно пошкодженою кореневою системою і листовим апаратом не повинно перевищувати 8 %.

Вищевказані вихідні вимоги можуть служити основою для вибору такої технології обробітку ґрунту в міжряддях посівів цукрових буряків, яка максимально відповідає агротехнічним цілям в створенні сприятливих умов росту і розвитку рослин. Найбільш виправдано в початковий період вегетації

наблизитись до рослин за рахунок точного копіювання осьової лінії рядка обмеженої шириною крони.

## 1.2 Аналіз тенденцій розвитку конструкцій просапних культиваторів і застосовуваних робочих органів

### 1.2.1. Основні шляхи удосконалення просапних культиваторів.

Відповідно викідним вимогам якісний обробіток ґрунту в зоні рядка може реалізуватися при вирішенні питань технічного забезпечення процесу. Як показав аналіз літературних джерел, а також наших спостережень існує три основних шляхи удосконалення сучасних конструкцій просапних культиваторів для підвищення ступеня механізації розпушення ґрунту в міжряддях посівів цукрових буряків [16, 18].

Головний шлях полягає в створенні надійних способів сталого водіння агрегату (робочих органів) вздовж осьової лінії рядків. В залежності від факторів, обумовлюючих ширину захисної зони при обробітку ґрунту в міжряддях, на базі культиватора УКРП-5,4 В при жорсткому з'єднанні з трактором, встановлена питома вага показника управління з врахуванням викривлення траєкторії складає 52 %.

Другий шлях удосконалення просапних культиваторів полягає в відшукуванні робочих органів, які б дозволяли на близькій відстані забезпечувати розпушення ґрунту в межах захисної зони рядка без прямого контакту з рослинами при нанесенні подрібненого шару на необроблену поверхню. Цей технологічний процес може виконуватись робочими органами, які забезпечують копіювання мікрорельєфу ґрунту в міжряддях, можливість вибору режимів і необхідних регулювань закладених в загальну конструкцію просапного культиватора. В значимості факторів важливість дозволяючої можливості застосовуваних робочих органів при існуючій системі водіння агрегату по колесу (гусениці) енергетичного засобу складає 22 %. Однак при застосуванні засобів орієнтування значимість цього показника збільшується до 46 %. Це говорить про те, що науково-дослідницькі роботи, направлені на відшукування робочих органів

з використанням систем водіння просапних культиваторів, являються актуальними [17].

Третій шлях удосконалення полягає в підвищенні надійності конструкції просапних культиваторів. Як показала практика, вже в перший рік експлуатації культиватора УКРП-5,4В відстань між крайніми (правим і лівим) положенням задньої частини гряди досягає 60..80 мм. Особливо пагубно впливає на технічний стан культиватора робота на передпосівній підготовці і глибоких розпушеннях. Універсалізація культиватора приводить до підвищення зносу секцій. А підвищення надійності шляхом зміцнення його конструкції веде до збільшення металосмкості, що впливає на динамічну стійкість агрегату. Тому рекомендують культиватор УКРП-5,4В використовувати для перших міжрядних розпушень не більше двох років, першочергово на передпосівному рихленні і в останню чергу – при глибокому.

Таким чином, універсальність культиватора приводить до зниження якості виконання технологічного процесу перших розпушень ґрунту в міжряддях. Створення одноопераційних культиваторів для розпушення ґрунту в початковий період вегетації – один з шляхів підвищення ступеня механізації процесу.

### **1.1.1. Тенденція розвитку загальних конструкцій і систем управління просапних культиваторів.**

З аналізу викладеного вище видно, що основна вимога до конструкцій і систем управління просапних культиваторів – це здатність забезпечити нормальне функціонування робочих органів. В світовій практиці відомо велика кількість конструкторських рішень. На основі аналізу опублікованих робіт виявлені основні напрямки їх удосконалення. За конструкцією, яка забезпечує рівномірність ходу робочих органів за глибиною, йшло удосконалення за шляхом приєднання просапного культиватора до енергетичного засобу, підвіски робочих органів до рами, індивідуальних коніюючи пристосувань для робочих

органів, приводів для забезпечення оптимальних режимів роботи фрезерних робочих органів [6, 10, 11].

Забезпечення копіювання робочими органами осьової лінії рядка здійснювалось застосуванням засобів управління, які можна умовно розбити на 4 групи (рис. 1.1): орієнтування додатковими засобами; орієнтування енергетичними засобами; автоматичне орієнтування і орієнтування самонаведенням.

Загальні конструкції культиваторів і методи орієнтування розроблялись з метою покращення технологічного процесу, що дозволяє нам розглянути питання в підпорядкованості розвитку в історичному аспекті.

В Україні „Шепетівським культиваторним заводом” випускається фрезерний культиватор КФ-5,4 для обробітку ґрунту в міжряддях цукрових буряків і інших низькостебельних культур з міжряддями 0,45 м. Секційний пристрій культиватора хоч і значно покращив копіювання мікрорельєфу поля в порівнянні з загальним приводом, але застосований пасивний розпущувач, встановлений під картером секції не гарантує рівномірності ходу робочих органів за глибиною. Не достатньо ефективного регулювання глибини ходу гвинтовими механізмами встановленими на опорних колесах. Більш надійним

копіюючим пристроєм, який підтримує рівномірність глибини ходу робочих органів, є пневматичні котки, які застосовуються на вітчизняних моделях ФПН-2,8, ФПН-4,23, ФПН-4,2 М.

Для обробітку ґрунту в міжряддях цукрових буряків, як в нашій країні, так і за кордоном, фрезерні просапні культиватори мають конструктивно встановлену ширину захвату секції, рівну ширині міжряддя з врахуванням ширини установочної захисної зони 160...200 мм. Відсутність можливості регулювання захисної зони знижує ступінь механізації процесу обробітку площі міжрядь за рахунок точного копіювання траєкторії рядка. Відомі дослідно-

конструкційні роботи, які дозволяють усунути цей недолік. Так конструкція ВІМ в культиваторі КРН-1,4М має плавне регулювання установочної захисної зони в

межах 110...150 мм, що дозволило знизити прямі втрати на обробіток 1 га посівів з 11,8 до 5,57 грн. в порівнянні з нерегульованими захисними зонами.

Наступним недоліком існуючих конструкцій фрезерних просапних культиваторів є те, що обробіток значної площі в міжряддях призводить до підвищення вмісту ерозійнонебезпечних частин. При цьому робочі секції з пасивними робочими органами задовільно обробляють центр міжрядь (технологічні особливості обробітку зони рядка приводяться в наступному розділі). Тому перевага віддається комбінованим робочим органам. З просапних культиваторів з комбінованими робочими органами слід відмітити культиватор

„Потейтоватор” фірми Ф.А. Стенден (Англія), який складається з пасивних і активних органів, які дозволяють наносити мульчу в зону рядка. Відомі також технічні рішення, які дозволяють фрезами обробляти смугу біля рядка рослин, а пасивними в центрі міжряддя. Однак за літературними джерелами це питання по вирощуванню цукрових буряків висвітлено не достатньо.

Просапні фрезерні культиватори в США поставляються 6 фірмами в 24 модифікаціях. Майже всі машини навісні з симетричною навіскою. Для забезпечення рівномірності ходу робочих органів за глибиною застосовується індивідуальне копіювання кожної секції мікрорельєфу ґрунту колесом з можливістю регулювання. Важливим моментом в досягненні якісного обробітку ґрунту в міжряддях просапними культиваторами є забезпечення можливості регулювання режимів роботи в залежності від умов експлуатації. В культиваторі КФ-5,4 не передбачено таких регулювань.

Впровадження навісних і напівнавісних культиваторів не виключило можливість застосування орієнтування культиватора відносно рядків додатковими засобами. Так фірма „Рибуло” випускає навісні культиватори з рульовим управлінням, де опорною точкою є трактор, а через шарнірне з'єднання встановлений пересувний брус з закріпленими на ньому секціями робочих органів. В ІЦБ та біоенергетичних культур проводились дослідження з

обробітку захисних зон на фрезерній установці напівнавісного типу. Керування здійснювалось за допомогою важеля гідророзподільника.

Використання оператора на культиваторах навісного або напівнавісного типу, для направлення робочих органів і слідкування за технологічним процесом роботи, дозволяє працювати з захисними зонами 100 мм і менше. Але як свідчать дані МВС, ефективність ручного управління за допомогою додаткових засобів спостерігається на протязі 3-4 години роботи і його вигідно застосовувати на невеликих площах при надлишку обслуговуючого персоналу, хоча це знижує економічні показники проведення процесу розпушення ґрунту в міжряддях [14].

Вище наведені недоліки орієнтування просапних агрегатів призвели до розробки і створення пристроїв для автоматичного орієнтування просапних агрегатів відносно оброблюваних рядків, із застосуванням яких з'явилась можливість не тільки зменшити величину захисних зон, але і знизити втомлюваність механізатора, підвищити робочу швидкість агрегатів і їх продуктивність.

При замкнутій або комбінованій системі автоматичного орієнтування робочих органів просапного агрегату необхідно отримувати стійкіші сигнали про зміну координат опорної траєкторії по відношенню до траєкторії руху робочих органів. Джерелами інформації служать маячні культури, маркувальний слід, рядок рослин, накатаний слід, щілина, борозна. Перші три джерела використовуються в механічних і електромеханічних координатних пристроях при візуальному копіюванні. До конструктивного втілення такої системи відноситься розробка з задньою навіскою, а також просапні агрегати фірми „Деонд Ж.М.” із задньою і передньою навісками. Суть цього процесу пов'язана із зменшенням впливу кутових відхилень робочих органів при повороті енергетичного засобу. Корегувальні значення заздалегідь задаються і закладаються в конструкцію пристосування. Але ці системи актуальні в основному при колесового способу руху [16].

Найперспективнішим способом орієнтування агрегатів по рослинах буряків є водіння з допомогою оптичних систем слідування. Розроблена спільно з Пелтавським інженерно-будівельним інститутом, авто система водіння з оптичними датчиками по направляючим елементам у вигляді борозни, накатаної і рослин, дозволила почати лабораторні випробовування. Датчики встановлювались на лабораторну установку, електричний сигнал подавався через гідро розподільник на гідро розподільник шарнірної рами, на якій встановлювались робочі органи. При цьому швидкість спрацьовування система авто керування і відхилення від опорної лінії були цілком задовільні, що забезпечило обробіток рядків з малими захисними зонами. Однак дана система автокерування, хоча і перспективна, але потребує направлених пошуків виборчої здатності датчиків. В зв'язку з цим в даний час не має можливості її впровадження в виробництво [8].

Як відмічено в роботах, існують й інші датчики автосистем у вигляді щупів і коліс, які орієнтують культиватор по рослинам, а також по борознам і щілинам, які утворені на попередніх операціях. Але всі ці пристрої наділені і іншими недоліками, чим і пояснюється їх багатотипність.

Таким чином, автоматичне керування робочих органів по рядках із застосуванням щупів і безконтактних датчиків являється перспективним напрямком. Однак через їх низьку надійність і складність застосування в реальних умовах, високої вартості не отримало широкого розповсюдження в виробництві.

Ближче до рішення проблеми механізованого догляду за посівами буряків є в даний час спосіб керування просапними культиваторами методом самонаведення, або так названий метод „направляючої борозни” і „направляючих щілин”. Орієнтування робочих органів самонаведенням засноване на принципі управління по променю (А.І. Тимофеев), тобто з прив'язкою до координат опорної траєкторії. Прикладом такого руху може служити канатна тяга і рух по направляючим рейкам. Вперше метод по

напрямним борознам був реалізований фірмою „Вепки” (ФРГ), на системі під маркою „Унікон пілот”

ІІБ спільно з іншими науково-дослідницькими закладами відпрацьовувався технологічний процес обробітку ґрунту в міжряддях просапними культиваторами обладнаними орієнтирами. Створено декілька конструкцій в ОКБ НВО „Цукбуряк”, НВО „Казіньгоспмеханізації”, які принципово не відрізняється від інших конструкцій. Суть технологічного процесу полягає в двох операціях: утворення направляючих щілин при сівбі і орієнтуванні по них культиваторів з допомогою спеціальних коліс.

Нарізання щілин здійснюється двома ножами, які встановлюються на брус сівалки. Характерною особливістю утворення щілин при посівах цукрових буряків є те, що вони нарізаються в орному шарі на глибину до 200 мм в двох міжряддях.

Під час проведення міжрядних розпушень ґрунту встановлюються на бруси просапного культиватора орієнтатори у вигляді V- подібних коліс в ті міжряддя, де утворені борозни (рис. 1.1, б). При цьому проводиться додаткове регулювання трактора: блокуючи нижні тяги трактора необхідно розпустити так, щоб забезпечити вільне переміщення рамки авто зчипки відносно трактора вправо і вліво на 100-110 мм. Це дозволяє культиватору фіксуватися в двох щілинах незалежно від поперечного переміщення трактора, що знижує навантаження на тракториста і сприяє підвищенню швидкості [10].

В конструкціях фрезерних просапних культиваторів перевага надається роторам, осі яких розміщені горизонтально поверхні поля і перпендикулярно напрямку руху агрегату при прямому фрезеруванні.

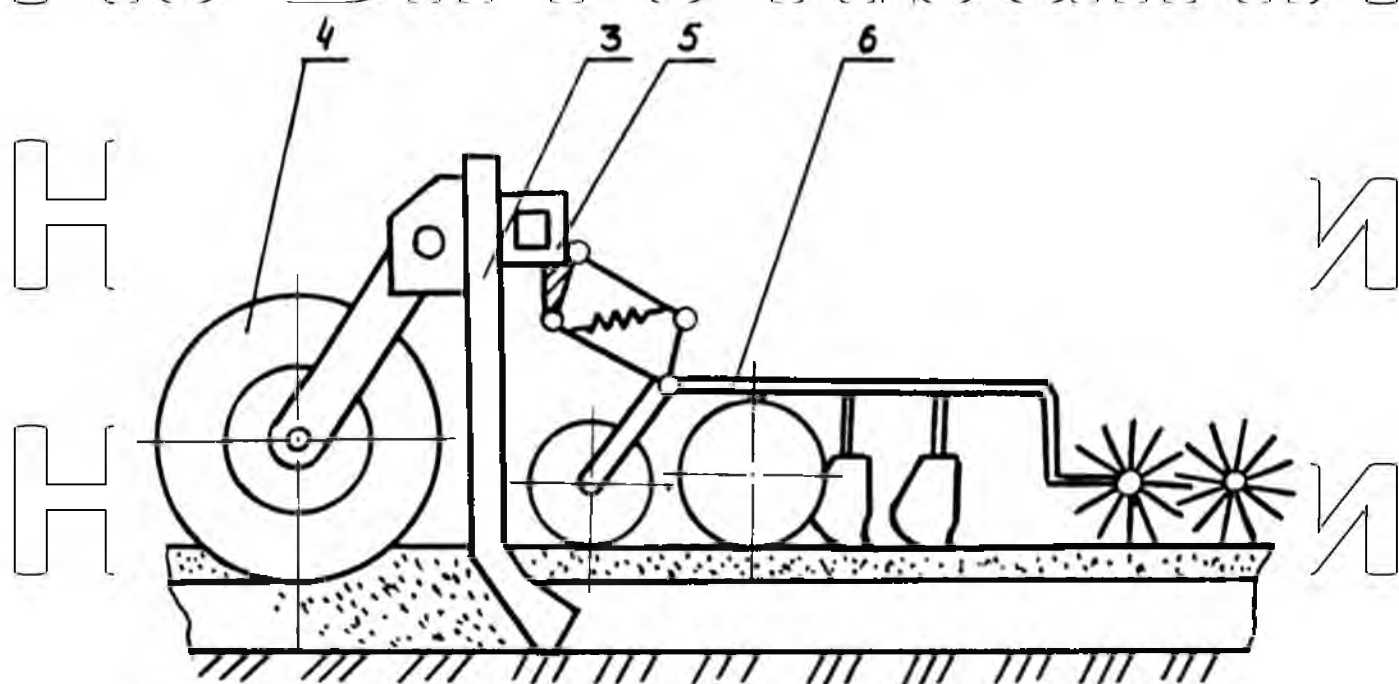
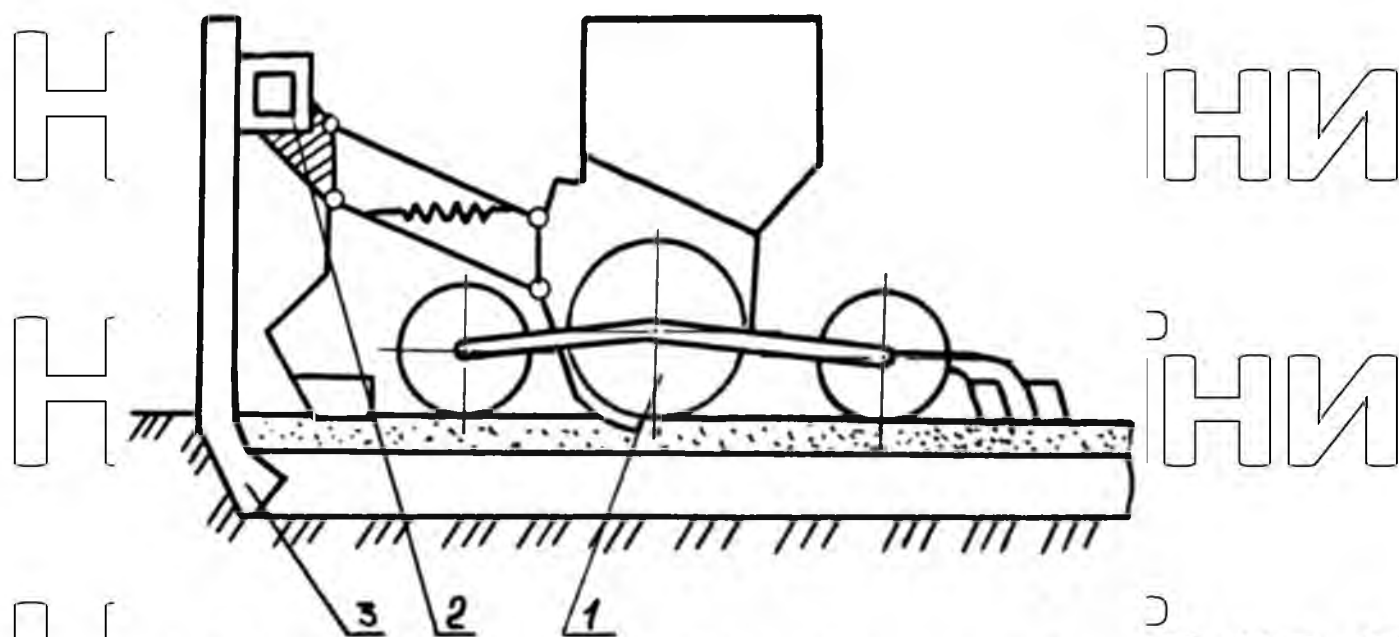


Рисунок 1.1 – Технологічна схема нарізання щільн при сівбі (а) і водіння по них культиватора (б): 1 – секція сівалки; 2 – рама сівалки; 3 – ніж орієнтатора; 4 – колесо-копір орієнтатора; 5 – рама культиватора; 6 – секція культиватора

Як показали пошукові випробування і виробнича перевірка, в даний час найпростішим і надійним видом напрямку просапних культиваторів вздовж осьової лінії рядка є самонаведення з допомогою орієнтаторів-направників по щілинам.

### 1.3 Аналіз критерію прямолінійності рядків і вибору захисних зон на культиваторах

Вирішення питання зменшення захисної зони при обробці ґрунту в міжряддях просапних культур мобільними агрегатами, як було відзначено вище, у першу чергу залежить від точності копіювання умовної осьової лінії рядка (опорної траєкторії) [18].

Перш ніж перейти до аналізу науково-дослідних робіт з орієнтування робочих органів щодо рядка рослин з метою вибору захисних зон, розглянемо існуючі теоретичні описи його траєкторії.

Оцінка прямолінійності поздовжніх рядків рослин виробляється на довжині рядка 25 м через 1 м з характеристикою середнього значення й дисперсії відхилення від прямої. Однак, як указує Дворцов Е.Ф., Морозов П.А., Хачатрян Х.А., Ужидасєв С.П., і Марупов І., цей подвійний показник не дає вичерпної характеристики траєкторії. Відзначається, що оцінка розмаху кривої відносно прямої лінії не визначає ступінь її скривлення.

У теоретичних дослідженнях зазначених авторів траєкторія рядка задається синусоїдальною кривою. Опис двома показниками прямолінійності рядка (періодом й амплітудою), дозволяє скористатися геометричною інтерполяцією для побудови траєкторій руху точок МТА (включаючи і робочі органи). Разом з тим наявність двох показників, що характеризують, затрудняє рішення питання моделювання технологічного процесу в польових умовах для оптимізації систем водіння.

У результаті теоретичного аналізу, за умови синусоїдальної траєкторії, пропонується визначити інтенсивність зміни кривизни рядка по формулі [15]:

$$\omega_k = 8\pi A/T^2, \quad (1.1)$$

де  $A$  - амплітуда кривої;

$T$  - період коливань.

З огляду на аналіз вищевикладених показників прямолінійності, вважаємо за доцільне застосовувати показник, обумовлений по залежності (1). До аналогічного висновку приходять і Пожидаєв О.П., що способом інтерполяції доводить, що елементарна ділянка випадкової кривої рядка змінюється по синусоїдальній залежності, при цьому оцінний критерій прямолінійності рядка визначається відношенням амплітуди (розмаху) до періоду (довжині хвилі) [16].

Питанню руху МТА в міжряддях просапних культур із задньою начіпною системою присвячено багато робіт.

У ряді робіт Василенка П.М., Тимофєєва А.І., Лур'є А.Б., Горячова Л.В., Давшана С.М., нехтуючи деформаціями ланок агрегату трактор-культиватор і представивши систему у вигляді твердих тіл, з'єднаних між собою твердими зв'язками, розглядалося питання стійкості руху й керованості його в міжряддях. Опис проводився диференціальними рівняннями траєкторії руху при дослідженні діючих на нього сил. Обумовлюючись характером діючих сил на систему, визначалася величина бічного зсуву робочих органів культиваторів при відхиленні поздовжньої осі агрегату на елементарний кут при прямолінійності руху [13].

Теоретичні основи кінематика трактора з начіпними знаряддями із жорстким з'єднанням при роботі в міжряддях викладені Чудаковим Д.А.

Відзначається, що оцінку точності копіювання відтворено кривій необхідно проводити по характерній точці. Такою точкою є кінематичний центр агрегату. Проведені дослідження дозволяють одержати результати загального характеру.

Показано, що траєкторія руху робочих органів культиватора залежить від місця розташування їх уздовж поздовжньої осі агрегату.

Розвиваючи теорію Чудакова Д.А., Антоновецьким Б.М. зроблена спроба визначення якісних показників технологічного процесу на підставі дослідження руху кінематичного центра. Опис руху робочих органів виконувався при дослідженні гармонійних скривлень. На підставі рівності в описі траєкторії вихідної (осьової) лінії рядка) і відтвореної (лінією руху робочих органів), можна визначити величину настановної захисної зони по максимальних відхиленнях.

Кінематичний аналіз руху просапного агрегату при вогніюванні рядка дозволяє описати взаємозв'язок його елементів і визначити максимальне відхилення робочих органів, за значенням якого визначається величина захисної зони. Як приклад можна привести характерну формулу (Сергієнко В.А.) для визначення ширини обробленої смуги ґрунту в міжряддях:

$$B_{обр} = B - 2\epsilon', \quad (1.2)$$

де  $B_{обр}$  - ширина обробленої смуги ґрунту;

$B$  - ширина міжряддя;

$\epsilon'$  - захисна зона з однієї сторони рядка (відхилення робочих органів від осьової лінії рядка).

Впроваджувана система машин із самонаведенням робочих органів за допомогою орієнтаторів по щілинах, як відомо, передбачає звільнення задньої начіпної системи від блокувальних тяг, що змінює характер кінематичних зв'язків. Однак у наведених дослідженнях Якименко К.Н. при вивченні утворення захисних зон культиватором, обладнаним механічними орієнтаторами такі кінематичні зв'язки не розглядалися. При цьому Лур'є А.Б., Чудаков Д.А. вказують, що при вивченні питання утворення захисної зони рядків культиватор не можна розглядати окремо від трактора [26].

Розглянутий вище кінематичний підхід у дослідженнях передбачає накладення багатьох обмежень на обрану модель і еквівалентну схему агрегату, що не дозволяє розкрити сутність у визначенні захисної зони в цілому. У дійсності, як відзначає Лур'є А.Б., всі фактори носять випадковий характер.

Тому, необхідно враховувати перемінність зовнішніх умов роботи, динамічних факторів, які впливають на агрегат, нерівномірність глибини ходу робочих органів та ін. На рух агрегату в міжряддях дуже сильно впливають фізико-психологічні особливості оператора. Все це дозволяє при оцінці зв'язку між рядками рослин і траєкторією руху робочих органів застосовувати статистично-ймовірні методи.

Марчук І.Ф. вивчав утворення захисної зони при роботі просапних культураторів. Як допущення він приймає, що середньоквадратичні відхилення розсіву рослин і відхилення робочих органів рівні між собою. На підставі цієї гіпотези встановлена закономірність імовірності ушкодження рослин із двох сторін рядка при заході крайньої точки (кінець крила лапи) у зону розсіву рослин залежно від ширини захисної зони. Показано, що для кожної сукупності обумовлених параметрів оптимальну ширину захисної зони, при якій сума витрат на однократну обробіток просапної культури буде мінімальною.

При рішенні вибору захисної зони Хачатрян ХАО базується на експериментальних значеннях статистичних даних при цьому, середньоквадратичні відхилення робочих органів щодо осьової лінії рядка. На підставі отриманої залежності побудована номограма вибору захисної зони.

У роботі Земських В.Т. зроблена спроба обґрунтувати величину захисної зони залежно від ступеня розвитку рослин цукрових буряків. Розгляд імовірнісної моделі виробляється відносно прямій лінії, де вимірюється розкид точок росту рослин, крони й траєкторії руху робочих органів. Однак при цьому не враховується той факт, що рядки рослини мають криволінійну форму, і рослини в рядку розташовані з певним інтервалом [8].

## РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОПІЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ РЯДКІВ ПРИ ОБРОБІТКУ ЗАХИСНИХ ЗОН РЯДКІВ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

### 2.1. Аналіз процесу копіювання траєкторії рядків культиватором, обладнаним механічним орієнтатором

#### 2.1.1. Копіювання напрямних щілин орієнтатором

Як показала виробнича перевірка й аналіз робіт ряду авторів, одним із шляхів підвищення ефективності обробітку захисних зон рядків є оснащення просапних культиваторів направляючими орієнтаторами. Хоча механічні орієнтатори вже одержують поширення при обробітку цукрових буряків, однак ефект від їхнього застосування невисокий через неправильно обрані технологічні параметри настроювання: у випадку коли глибина ходу копіра завишена, він нарізає нову щілину не ідентичну напрямку рядків, а при заниженій глибині збивається з напрямку внаслідок неможливості їхнього копіювання через недостатнє бічне коригувальне зусилля орієнтатора. Тому для забезпечення водіння культиваторів необхідно провести теоретичні дослідження умов копіювання напрямних щілин механічними орієнтаторами.

У процесі самонаведення по щілинах застосування орієнтаторів припускає виключення впливу лінійних бічних відхилень робочих органів, наслідок повороту поздовжньої осі трактора на певний кут. Найбільш повно розкриває процес копіювання кінематичний аналіз. Як об'єкт для досліджень прийнятий просапний агрегат складається з культиватора, що обладнаний механічним орієнтатором і приєднаний до трактора за допомогою поздовжніх тяг заднього навішення з відпущеними стяжками (рис. 2.1). Це дає можливість вільного переміщення культиватора перпендикулярно напрямку руху.

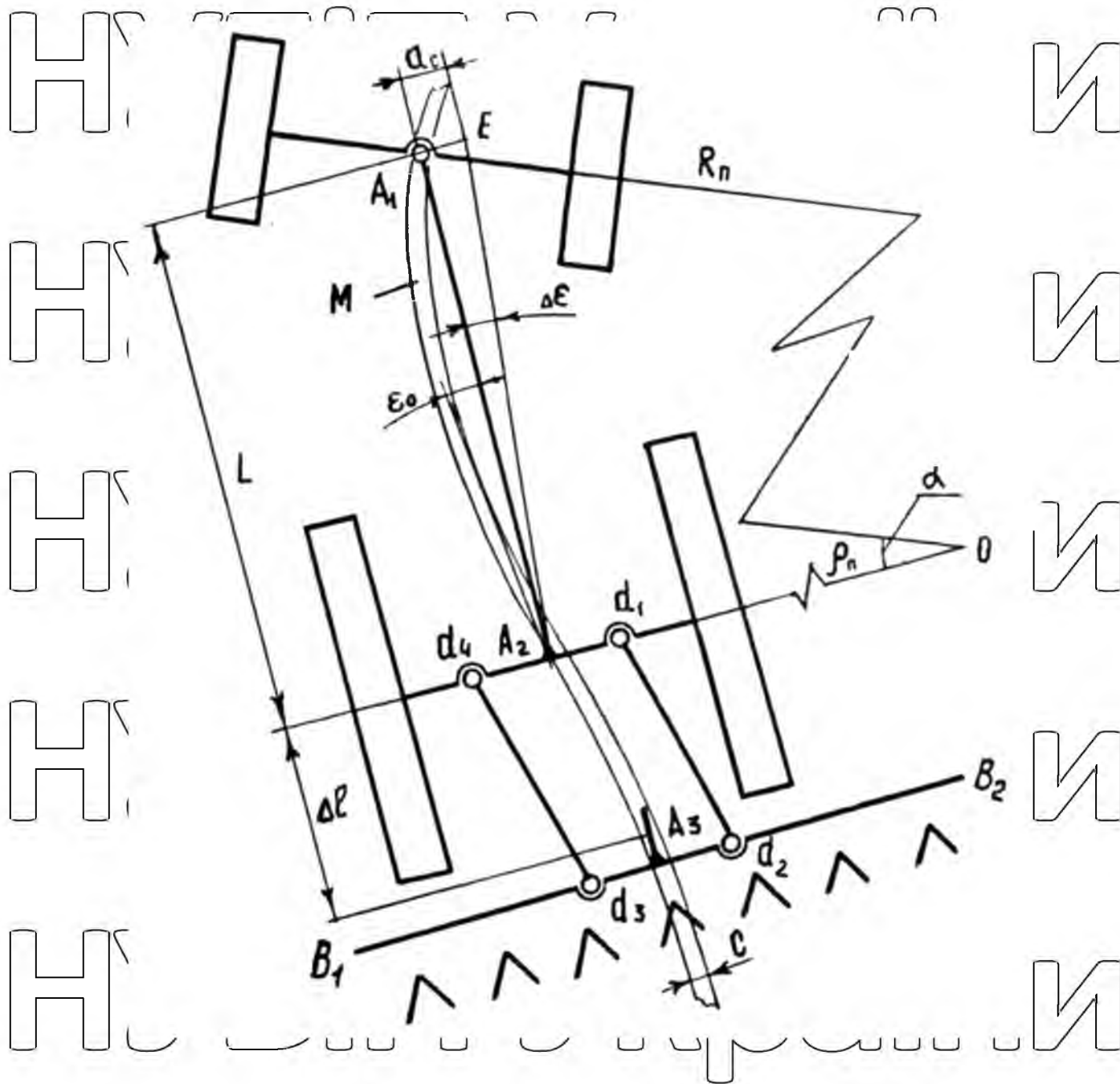


Рисунок 2.1 – Еквівалентна схема копіювання траєкторії щілини просапним агрегатом, який обладнаний механічним орієнтагором

НУБІП України

Припускаємо, що щільна в ґрунті збережена після попередньої операції й розташована по центрі агрегату; кінематична довжина (від центра агрегату до елемента, що копіює) постійна, незважаючи на незначне укорочування її за рахунок зсуву начіпного пристрою; траєкторія кривої на елементарній ділянці рівному довжині копіра прирівнюється до елементарної хорди [20].

При звільненні поздовжніх тяг заднього навішення трактора від блокування, і одержання брусом культиватора (рис. 2/1) вільного переміщення перпендикулярно поздовжньої осі  $A_1A_2$  завдяки паралелограму, бічні лінійні зсуви енергетичного засобу щодо осьових ліній рядків не передаються на культиватор і елемент, що копіює. Рух по базовій лінії  $M$  з певним радіусом повороту передніх коліс трактора приводить до повороту поздовжньої осі ( $A_1A_2$ ) і в цілому всього енергетичного засобу на кут  $\alpha$  щодо первісного положення.

Крім кутових відхилень поздовжньої осі енергетичного засобу, пов'язаних з копіюванням осьової лінії рядка, існують відхилення, обумовлені кваліфікацією оператора, бічним ковзанням і відведенням коліс, інерцією мас агрегату й ін. Ці відхилення можна оцінити максимальною величиною зсуву передніх коліс від середини міжряддя (за даними досліджень передніх коліс 70 мм - для колісних й 50 мм – для гусеничних тракторів при ширині міжряддя 450 мм), або додатковим поворотом поздовжньої осі енергетичного засобу  $A_1A_2$  на кут  $\Delta\varepsilon$  [18].

Таким чином, максимальний кут повороту поздовжньої осі трактора щодо вихідного положення буде рівним:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon \quad (2.1)$$

Кут повороту  $\varepsilon_0$  визначається по відомій залежності Іофінова С.А.

$$\varepsilon_0 = \frac{S_T}{2\rho_n}, \quad (2.2)$$

де  $S_T$  – довжина пройденого шляху агрегатом;

$\rho_n$  – радіус повороту  $OA_2$  трактора відносно центру  $O$ .

Згідно рис. 2.1 радіус повороту

$$\rho_{II} = L \cdot \operatorname{ctg} \alpha, \quad (2.3)$$

де  $L$  - відстань від передньої осі трактора до центра агрегату (база трактора для колісного й пів бази для гусеничного);

$\alpha$  - кут повороту передніх коліс або гусениць трактора щодо центра повороту  $O$ .

Зробимо спочатку допущення, що керовані колеса перекочуються по дотичній до базової траєкторії  $M$ . Тоді радіус руху передніх коліс  $R_{II}$  щодо центра

$O$  відповідає радіусу самої траєкторії в цій точці. Звідси можна виразити кут повороту передніх коліс  $\alpha$  через кривизну рядка  $K$ :

$$\alpha = \arcsin \left( \frac{L}{R_{II}} \right) = \arcsin(L \cdot K), \quad (2.4)$$

де  $K = \frac{1}{R_{II}}$  - кривизна траєкторії рядка рослин у визначеній точці.

Для визначення кута повороту  $\varepsilon_0$  поздовжньої осі трактора  $A_1A_2$  в процесі копіювання траєкторії  $M$  підставимо залежності (2.3) і (2.4) у вираз (2.2). Після відповідних перетворень одержимо:

$$\varepsilon = S_T \cdot K / 2\sqrt{1 - L^2 \cdot K^2} \quad (2.5)$$

А величина повороту поздовжньої осі енергетичного засобу  $A_1A_2$  на додатковий кут  $\Delta\varepsilon$  визначається із трикутника  $AA_2E$ :

$$\Delta\varepsilon = \operatorname{arctg} \left( \frac{a_c}{L} \right). \quad (2.6)$$

Тоді максимальний кут повороту поздовжньої осі енергетичного засобу при копіюванні траєкторії рядків буде мати вигляд:

$$\varepsilon = S_T \cdot K / 2\sqrt{1 - L^2 K^2} + \operatorname{arctg} a_c / L \quad (2.7)$$

На відміну від лінійних бічних зсувів кутів  $\varepsilon$  відхилення поздовжньої осі трактора  $A_1A_2$ , при копіюванні рядків буряка, передаються за допомогою

паралелограма на раму культиватора й елемент, що копіює, із центром  $A_3$ . Цей елемент, що копіює, рухаючись по щілині, здійснює орієнтування прорсащого

культиватора по рядках незалежно від лінійного бічного зсуву енергетичного засобу.

Розглянемо систему копир-щілина (рис 2.2). Як відомо, при нарізці борозни на попередній операції (наприклад, при посіві) ножами на глибину  $h_{ш}$  відбувається сколювання у верхній частині шаруючи ґрунту на глибину  $\Delta h_k$ .

Деформація нижнього шару 3 на глибині полягає в ущільненні стінок щілини 2, що покривається розпушеним ґрунтом 4. Це виключає пряме влучення сонячних променів на ущільнену частину щілини й тим самим запобігає інтенсивному

випаровуванню вологи. При русі копіра 1 у щілині 2 він взаємодіє з ущільненим

ґрунтом із сектором довжиною  $B_k$ . Задовільна робота копіра може бути

забезпечена тільки у тому випадку, якщо лінія  $AB$  ( $B_k$ ) не буде перетинати стінок щілини, тобто повинна дотримуватися умова  $\varepsilon$ . Тоді при відомій ширині щілини

$c$  визначимо максимально допустимий кут повороту  $\varepsilon_k$ , при якому копир буде

перебувати в її межах, не руйнуючи стінок:

$$\varepsilon = \arcsin c/B_k \quad (2.8)$$

Прирівнюємо праві частини рівняння 2.7 і 2.8, зробивши відповідні

перетворення, отримаємо граничне значення кривизни траєкторії рядка, при якій

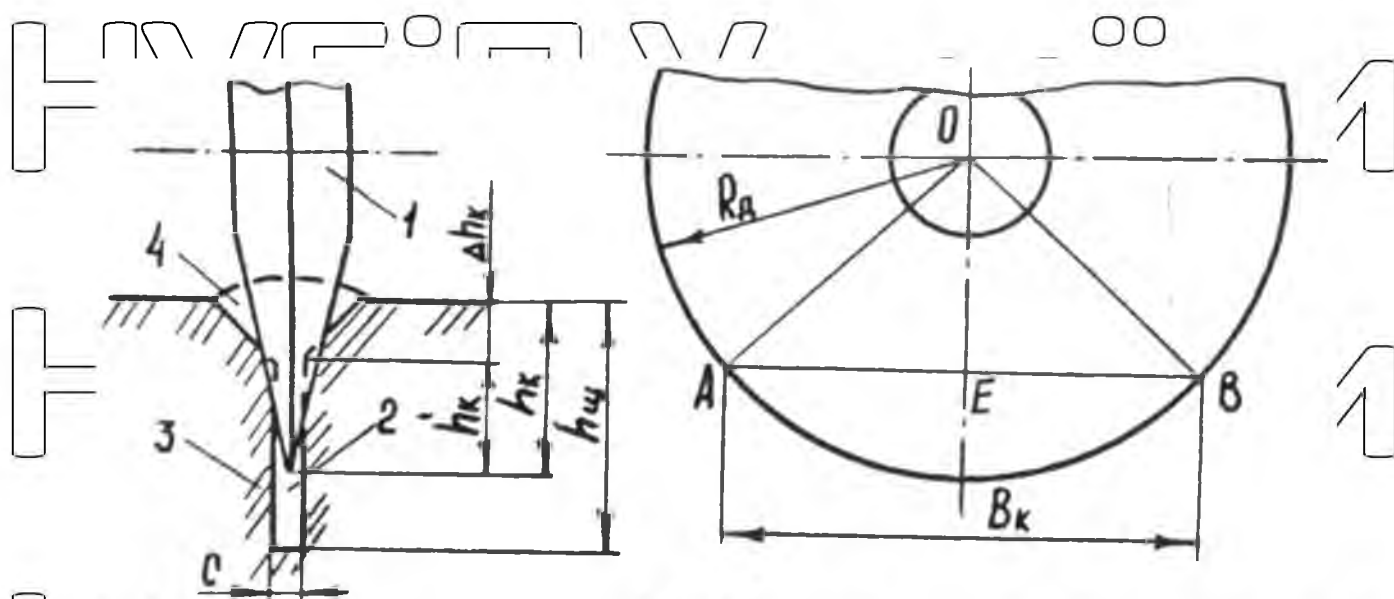
можливе його копіювання механічним орієнтатором:

$$K = 2 \sqrt{4L^2 + S_T^2 \left( \arcsin \frac{c}{B_k} - \arctg \frac{a_c}{L} \right)^2 + 1} \quad (2.9)$$

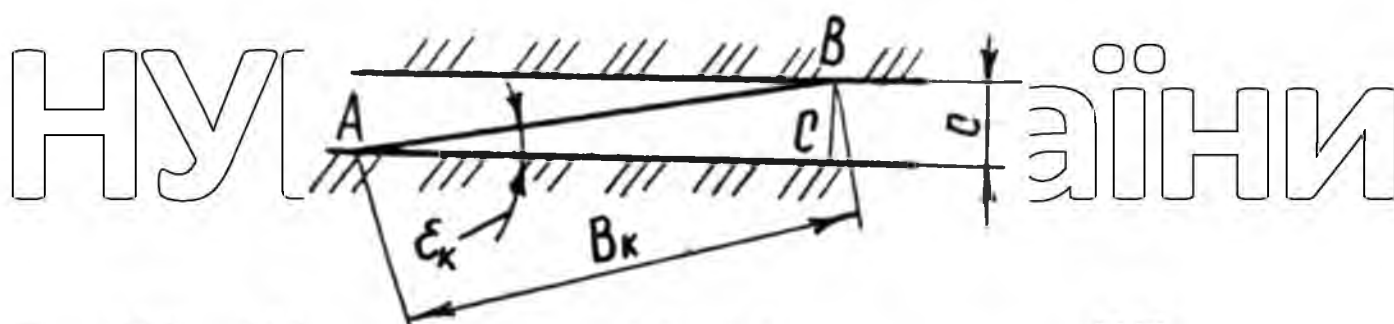
Однак, як показали результати досліджень, середнє значення кривизни рядка не є повною характеристикою визначальної умови роботи просянних

агрегатів, тому що кривизна траєкторії рядка в більшості випадків є величиною

змінною.



НУБІП У<sup>а</sup>КРАЇНИ



НУБІП У<sup>б</sup>КРАЇНИ

Рисунок 2.2 – Схема до розрахунку максимально допустимого кута повороту

копіра/орієнтатора  $\varepsilon_k$  в щільні: 1 – дисковий копир; 2 – щільна в ґрунті; 3 – ущільнені стінки щілини; 4 – розпушений ґрунт;  $B_k$  – максимальна довжина копіра, що знаходиться в ущільненій щільні

НУБІП УКРАЇНИ

На технологічний процес роботи, як вказує Хачатрян Х.А., більш сильно й безпосередньо впливає інший показник - інтенсивність (швидкість) зміни кривизни траєкторії на пройденому агрегатом шляху, при чому настільки значно, що вплив середнього значення кривизни траєкторії стає малозначним. Тоді інтенсивність зміни кривизни на елементарній ділянці можна визначити:

$$\omega_k = dK/dS_T \quad (2.10)$$

В нашому випадку інтенсивність зміни кривизни

$$\omega_k = 2S_T \left( \operatorname{arctg} \frac{a_c}{L} - \operatorname{arcsin} \frac{c}{B_k} \right) \cdot 4\Delta^2 \left( \operatorname{arcsin} \frac{c}{B_k} - \operatorname{arctg} \frac{a_c}{L} \right)^2 = S_T^2 \quad (2.11)$$

Тому що інтенсивність зміни кривизни рядка є величиною змінної, визначити її необхідно на визначений інтервалі (межі інтегрування  $\beta$ ):

$$\omega_{кр} = 1/\beta \int_0^\beta \omega_k dS_T \quad (2.12)$$

Межа інтегрування вибирається з наступних міркувань. При водінні агрегату, у нашому випадку, процес орієнтування по рядках можна умовно розділити на два шаблі: візуальне - енергетичного засобу й за допомогою орієнаторів - правителів просапного культиватора. Відстань від точки візуального орієнтування тобто перетинання поздовжньої осі енергетичного засобу з віссю обертання передніх коліс (рис.2.1) до центра копіра А приймаємо за межу інтегрування. Саме ступінь зміни кривизни траєкторії на цій ділянці саме і характеризує умови копіювання і входження орієнатора в щільну. Отже, межа інтегрування залежить від місця встановлення просапного культиватора на енергетичний засіб. При навішуванні на трактор  $\beta = L + \Delta l$  (де  $\Delta l$  відстань від центра агрегату до центра копіра). Тоді гранична швидкість  $\omega_{кр}$ , при якій не порушується надійність руху копіра по щільнах, після інтегрування буде рівнятися:

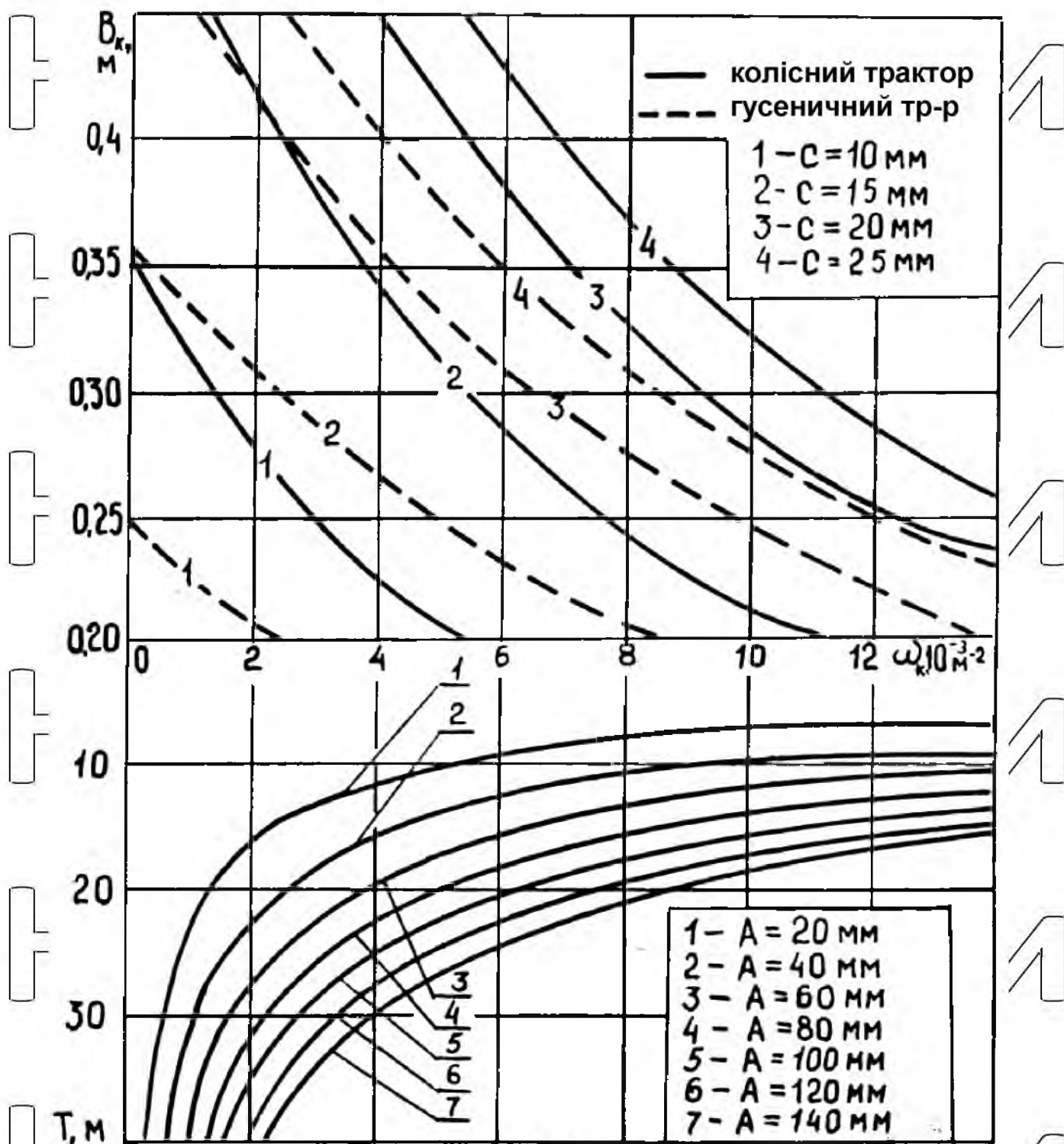


Рисунок 2.3 – Номограма для визначення максимальної довжини копіра-орієнтатора  $B_k$  в залежності від  $A$ ,  $T$ ,  $\omega_k$ ,  $c$ ,  $\Delta l$  і  $L$

НУБІП України

(2.11)

Для аналізу вписуваності копіра в щілину, а так само швидкого розрахунку його технологічних параметрів у виробничих умовах побудована номограма (рис. 2.3).

На нижньому квадранті номограми побудованої по залежності (1.1), отриманої Хачатряном Х.А. показаний взаємозв'язок інтенсивності зміни кривизни рядків, амплітуди  $A$  и періоду  $T$ . Верхній квадрант відображає залежність (2.11), де показаний зв'язок параметрів  $\omega$ , довжини копіра  $B$  ширини щілини  $c$  при певних кінематичних довжинах агрегату  $L$  й  $\Delta l$ . Для прикладу обрані просапні агрегати, що застосовуються, до складу яких входять колісні трактори МТЗ-80, ЮМЗ-6Д, гусеничний - Т-70С і просапний культиватор УКРП-5,4У, обладнаний механічними орієнтаторами [15].

Експериментальними дослідженнями у виробничих умовах встановлено, що інтенсивність зміни кривизни рядків перебуває в межах  $\omega_k = 1..15 \text{ мм}^{-1}$ . Параметри щілини в ґрунті прийняті по даних вимірів  $c = 10; 15; 20$  і  $25 \text{ мм}$ . Порядок користування номограмою, для спрощення аналізу, розглянемо на наступному прикладі. Нехай період коливань траєкторії рядка становить  $T = 25 \text{ м}$  із середнім відхиленням  $A = 1,0 \text{ м}$ . Ширина збереженої щілини утвореної при посіві становить  $c = 15 \text{ мм}$ . Тоді проводимо розв'язку пряму в нижньому квадранті від значення періоду коливань ( $T = 25 \text{ м}$ ) до перетину з кривою величини відхилення ( $A = 0,1 \text{ м}$ ) і спроектувавши точку перетинання на вісь інтенсивності зміни кривизни рядків одержимо  $\omega_k = 4 \text{ мм}^{-1}$ . Якщо, допустимо, просапний агрегат складений з гусеничним трактором, тоді продовжимо розв'язку пряму до перетинання із кривою  $\omega_k$  ( $c = 15 \text{ мм}$ ) і спроектуємо точку перетинання на вісь  $B_k$ . Максимальна довжина копіра, який знаходиться в щілині при агрегуванні з гусеничним трактором становить  $265 \text{ мм}$ , а з колісним при тих же початкових умовах, складе  $340 \text{ мм}$ .

Таким чином, забезпечення умови входження копіра в щілину при копіюванні тракторної її з колісним трактором може вироблятися при більшій довжині копіра, як з гусеничним трактором. Спостерігається, що підвищення інтенсивності зміни кривизни рядків призводить до необхідності зменшення довжини копіра, що перебуває в ущільненій частині щілини. Значний вплив на вибір технологічних параметрів робить ширина щілини  $c$ .

На обробітку цукрових буряків одержали поширення орієнтатори просапних культиваторів з дисковими копірами. Тому є необхідність визначення глибини його ходу при відомих значеннях граничної довжини  $AB$  (рис. 2.2):

$$B_k = 2\sqrt{2R_d(h_k - \Delta h_k) - (h_k - \Delta h_k)^2}. \quad (2.12)$$

Вирішивши квадратне рівняння відносно  $h_k$ , одержимо

$$h_{k1} = R_d - \sqrt{R_d^2 - \frac{B_k^2}{4} + \Delta h_k}; \quad (2.13)$$

$$h_{k2} = R_d + \sqrt{R_d^2 - \frac{B_k^2}{4} + \Delta h_k}; \quad (2.14)$$

Тому що значення  $h_{k2}$  завжди більше радіуса копіра, формула (2.14) втрачає зміст. Для розрахунків і побудови номограми показаної на рис. 2.4 використаємо залежність (2.13).

На номограмі стрілками показаний порядок визначення граничної глибини ходу копіра  $h_k$  за заданим значенням  $B_k$ ,  $R_d$  і  $\Delta h_k$ . Відповідно до розглянутого вище прикладу глибина ходу дискового копіра при агрегуванні з гусеничним трактором не повинна перевищувати  $h_k = 88$  мм, а з колісним  $h_k = 114$  мм.

Таким чином, забезпечення умови входження копіра орієнтатора в щілину дає можливість вибору максимальної величини його заглиблення.

Розглянемо питання вибору допустимої мінімальної (критичної) глибини ходу копіра в щілині з урахуванням діючих бічних зусиль на робочі органи культиватора й копір орієнтатора. Відомо, що в процесі впливу на ґрунт, як

копіра, так і робочих органів виникають поля нормальних і дотичних напружень. Напрямку дії їх для копіра поширюються вбік центра щільни, а поля напруг для робочих органів - у протилежну сторону. Отже, успішне копіювання опорної траєкторії буде в тому випадку, якщо дотримується наступна умова:

$$P_{op} > P_k \quad (2.15)$$

де  $P_{op}$ ,  $P_k$  - бічне зусилля, відповідно прикладене до орієнтатора і робочих органів культиватора.

У процесі руху копіра по щільні ґрунту вона повинна піддаватися тільки деформації на стиск, тому що при зруйнуванні ґрунту її процес копіювання порушується. Тому будемо розглядати тільки нормальні напруги

$$\Sigma_c = kh_c,$$

де  $k$  - коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, а  $h_c$  - бічний зсув. При відомій бічній площі  $S_H$  бічне зусилля  $P_c$  створюване робочими органами культиватора або копіра, визначається по відомій формулі:

$$P_c = kh_c \cdot S_H \quad (2.16)$$

Тоді умова копіювання має вигляд:

$$k_H \cdot h_c \cdot S_{op} > k_B \cdot h_c \cdot \sum_{i=1}^n S_{pi} \quad (2.17)$$

де  $k_H$ ,  $k_B$  - коефіцієнти об'ємного зняття ґрунту відповідно в зоні роботи сектора дискового копіра й робочих органів культиватора;

$S_{op}$ ,  $S_{pi}$  - бічна площа контакту відповідно копіра орієнтатора з ущільненою частиною щільни і  $i$ -го робочого органа в шарі, який підлягає обробітці.

Так як зв'язок орієнтатора з культиватором жорсткий, то зсув копіра орієнтатора і робочих органів рівні між собою. Тоді умову (2.17) представимо в

наступному виді

$$k_H / k_B > \frac{\sum_{i=1}^n S p_i}{S_{op}} \quad (2.18)$$

Однак більше розповсюдженим показником при випробуваннях сільськогосподарських машин є показник твердості ґрунту. Як указує В.М.

Мапагуро [20], коли опір зняття штампом твердоміра пропорційно його зануренню, можна апроксимувати в наведену вище залежність (2.16) тільки в першій фазі зняття ґрунту. У той же час відношення коефіцієнтів об'ємного

зняття ґрунту  $k_H/k_B$  на даній ділянці діаграми твердоміра відповідає відношенню

твердостей ґрунту  $p_n/p_g$  ( $p_g$  - твердість ґрунту в зоні розпушування робочими органами культиватора,  $p_n$  - твердість ґрунту в зоні роботи копіра орієнтатора).

Тоді умову (2.18) запишемо:

$$\frac{p_n}{p_g} > \frac{\sum_{i=1}^n S p_i}{S_{op}} \quad (2.19)$$

Характерною рисою є те, що окремо визначаються значення твердості ґрунту у верхньому шарі ґрунту, який обробляється робочими органами

культиватора  $p_g$  і у зоні ущільненої частини щілини  $h_k$  (рис.2.1)  $p_n$ . На просапних

культиваторах устанавлюються два дискових орієнтатора (рис. 1.2), тоді площа контакту сегментів з ущільненою частиною щілини можна визначити за спрощеною формулою:

$$S_{op} = \frac{4}{3} \cdot h_k \cdot B_k = \frac{4}{3} (h_k - \Delta h_k) \cdot \sqrt{2R_d (h_k - \Delta h_k) - (h_k - \Delta h_k)^2} \quad (2.20)$$

Розрахунок площі бічної поверхні робочих органів культиватора виконується залежно від їхнього виду і глибини пророблення ґрунту.

Для полегшення розрахунків на основі нерівності (2.19) побудована

номограма (рис. 2.4), що забезпечує вибір значення критичної мінімальної

величини заглиблення копіра по значеннях  $p_g, p_n, \sum_{i=1}^n S p_i, R_d, \Delta h_k$ . По даних наших

досліджень твердість, який обробляється робочими органами поверхневого шару перебуває в межах  $p_v = 0,1 \dots 0,3$  МПа, а для шару, де взаємодіє копір з ущільненим ґрунтом  $p_n = 0,7 \dots 1,6$  МПа. Бічна площа робочих органів при змінюваних на культиваторах для перших міжрядних обробок (УКРП-5,4В) у повному комплекті при глибині обробітку 40 мм  $\sum S_{pi} = 0,280 \text{ м}^2$ . У тому числі плоскоріжучих лап  $0,11 \text{ м}^2$  захисних дисків  $\phi 250 \text{ мм} = 0,13 \text{ м}^2$  і ротатійних батарей  $0,040 \text{ м}^2$ . При установці фрезерних робочих органів (прийнятих з конструктивних міркувань) і одnobічних плоскоріжучих лап бічна плоскоріжучих складала  $0,150 \text{ м}^2$ . Порядок визначення значень  $h_{kk}$  показаний стрілками.

Продовжимо розгляд прикладу. Припустимо, що значення твердості ґрунту  $p_v$  і  $p_n$  відповідно рівні  $0,15$  й  $1,18$  МПа. Тоді при повному комплекті просапного культиватора ( ) мінімально можлива глибина ходу копіра складе  $h_{kk} = 110$  мм. Якщо ж будемо обробляти ґрунт фрезерно-лаповим культиватором ( )  $h_{kk} = 85$  мм. Це свідчить про те, що при агрегуванні колісного трактора, як одним, так й іншим культиваторам буде забезпечуватися стійке водіння, тобто допустима максимальна величина заглиблення копіра в щілину  $h_k = 114$  мм. У той же час гусеничний трактор може працювати тільки із фрезерно-лаповим культиватором ( $h_k = 88$  мм).

Таким чином, як показали теоретичні дослідження, стійке копіювання тракторії щілини буде забезпечено при виконанні умов по вписуваності копіра в щілину й при достатнім бічному утримуючому зусиллі орієнтатора.

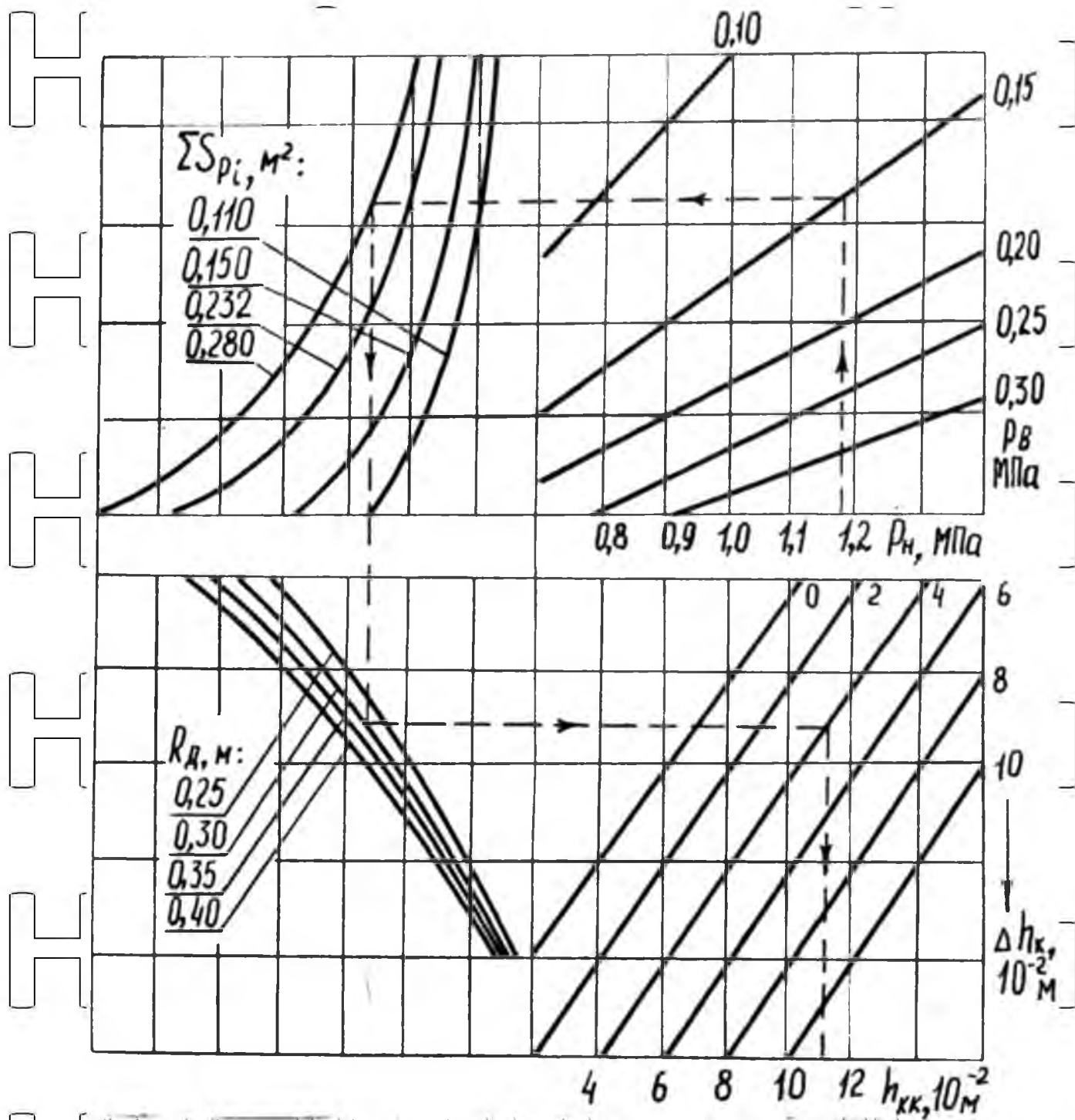


Рисунок 2.4 – Номограма для визначення мінімальної глибини ходу дискового

копіра  $h_{kk}$  в залежності від  $R_D, \sum_{i=1}^n S_{pi}, p_H, p_B, \Delta h_k$

НУБІП УКРАЇНИ

Отримані аналітичні вирази і побудовані по них номограми дозволяють визначати технологічні параметри настроювання орієнтаторів просапних культиваторів залежно від розмірів і траєкторії шілини, твердості ґрунту, кінематичних розмірів агрегату й розмірів копіра орієнтатора. Аналіз виразів і номограм показав, що більше стійке копіювання при однакових параметрах шілини буде забезпечуватися з колісним трактором, чим з гусеничним і при агрегуванні з культиватором обладнаним фрезерними робочими органами, чим обладнаного пасивними робочими органами.

### 2.1.2. Відхилення розпушуючих робочих органів при копіюванні шілини

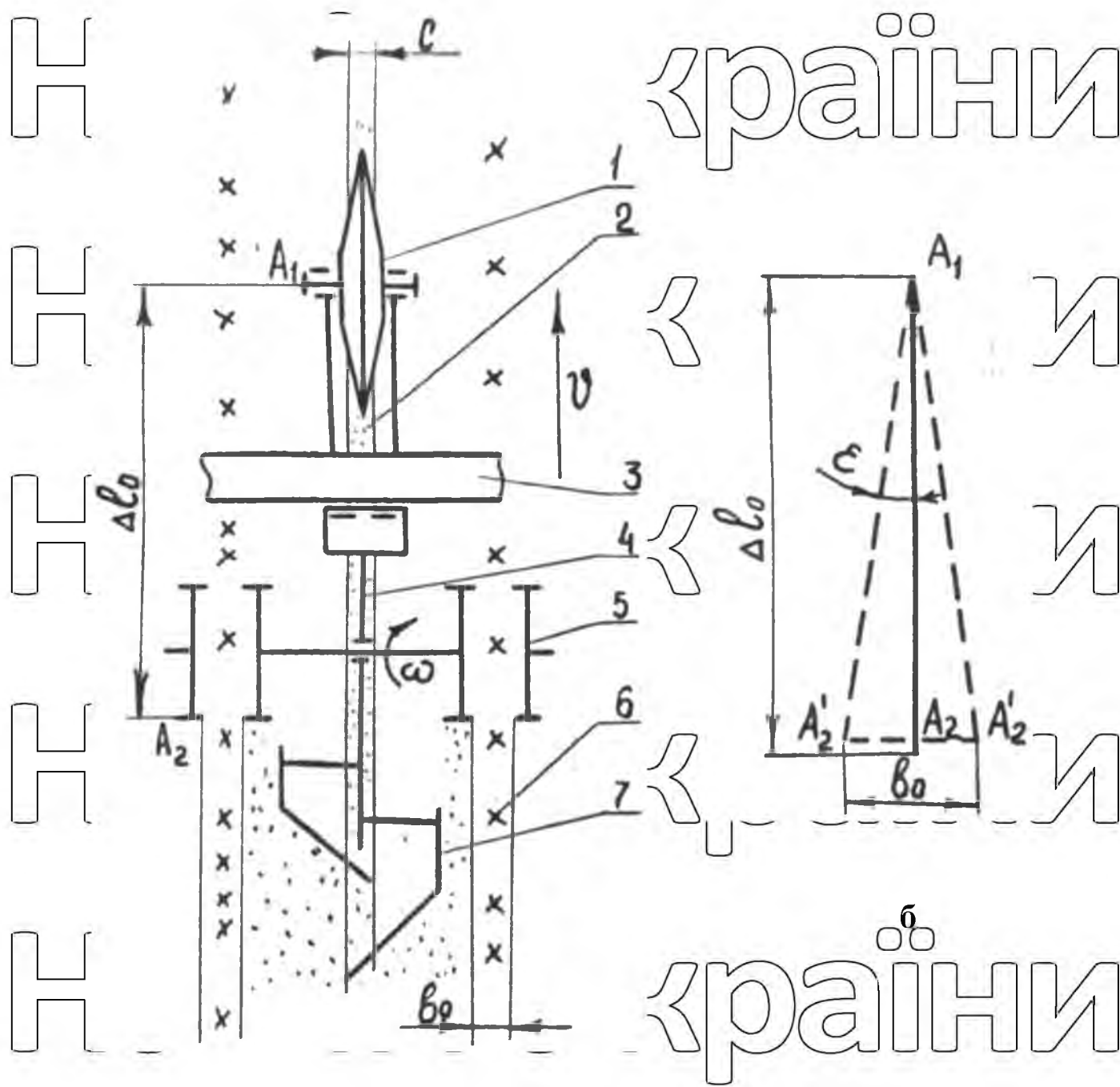
Розглянемо утворення відхилень робочих органів, пов'язаних з копіюванням опорної траєкторії. Якщо копір 1 рухається по шілині 2 шириною  $c$ , а крайні від рядка рослин 6 точки робочих органів 3 розташовані від нього на конструктивній відстані  $\Delta l_0$  (рис. 2.5), тоді гряділь 4, встановлений на рамі культиватора 3, повертається щодо точки копіювання  $A$  на кут  $\varepsilon$  (рис. 2.5, б), який рівний куту повороту енергетичного засобу. Поворот гряділя приводить до бічного зсуву робочих органів у дві сторони на відстань  $\delta_0$ . Ця відстань і становить захисну зону від копіювання осьової лінії рядка робочими органами.

Кут повороту копіра  $\varepsilon$  можна виразити через конструктивну відстань  $\Delta l_0$  відхилення робочих органів від опорної лінії  $\delta_0$  (2.5, б).

$$\varepsilon = \arcsin \frac{\delta_0}{2\Delta l_0}. \quad (2.21)$$

Прирівняємо праві частини залежностей (2.7) і (2.21) тоді одержимо:

$$\arcsin \frac{\delta_0}{2\Delta l_0} = \frac{S_T \cdot K}{2\sqrt{1 - I^2 K^2}} + \operatorname{arctg} \frac{a_c}{L}. \quad (2.22)$$



а

Рисунок 2.5 – Схема розташування робочих органів і копіра культиватора (а) і відхилення робочих органів (б). 1 – дисковий копір; 2 – щілина; 3 – рама культиватора; 4 – гряділь; 5 – фрезерні робочі органи; 6 – рослина; 7 – плоскоріжучі полольні лапи

НУБІП України

Для того, щоб відхилення робочих органів виразити через інтенсивність зміни кривизни рядків, зробимо аналогічні перетворення й розрахунки, виконані при визначенні  $\omega_k$  (2.11).

Кривизна рядків при визначеннях, які входять в залежність (2.22)

параметрів

$$K = 2 \sqrt{4L^2 + S_T^2 \left( \arcsin \frac{\theta_o}{2\Delta l_o} - \arctg \frac{a_c}{L} \right)^2} \quad (2.23)$$

Інтенсивність зміни кривизни рядків

$$\omega_k = 2S_T \left( \arctg \frac{a_c}{L} - \arcsin \frac{\theta_o}{2\Delta l_o} \right) \cdot \left[ 4L^2 \left( \arcsin \frac{\theta_o}{2\Delta l_o} - \arctg \frac{a_c}{L} \right)^2 - S_T^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.24)$$

Визначення середньої інтенсивності рядка варто проводити на довжині агрегату від точки візуального копіювання (перетинання поздовжньої осі агрегату з передньою віссю трактора) до точки найвіддаленішого робочого органу, який визначає захисну зону, тобто межу інтегрування в залежності (2.12). Знак (+) приймається у випадку якщо робочі органи розташовані по ходу агрегату позаду копіра, а знак (-) у протилежному випадку. Тоді середнє значення

буде рівнятися

$$\omega_{кр} = \frac{2}{L + \Delta l \pm \Delta l_o} \int_0^{L + \Delta l \pm \Delta l_o} S_T \left( \arctg \frac{a_c}{L} - \arcsin \frac{\theta_o}{2\Delta l_o} \right) \left[ 4L^2 \left( \arcsin \frac{\theta_o}{2\Delta l_o} - \arctg \frac{a_c}{L} \right)^2 - S_T^2 \right]^{-\frac{3}{2}} dS_T \quad (2.25)$$

Звідси

$$\omega_n = \frac{2}{L + \Delta l \pm \Delta l_o} \sqrt{4L^2 + (L + \Delta l \pm \Delta l_o)^2 \left( \arcsin \frac{\theta_o}{2\Delta l_o} - \arctg \frac{a_c}{L} \right)^2} \quad (2.26)$$

НУБІП УКРАЇНИ

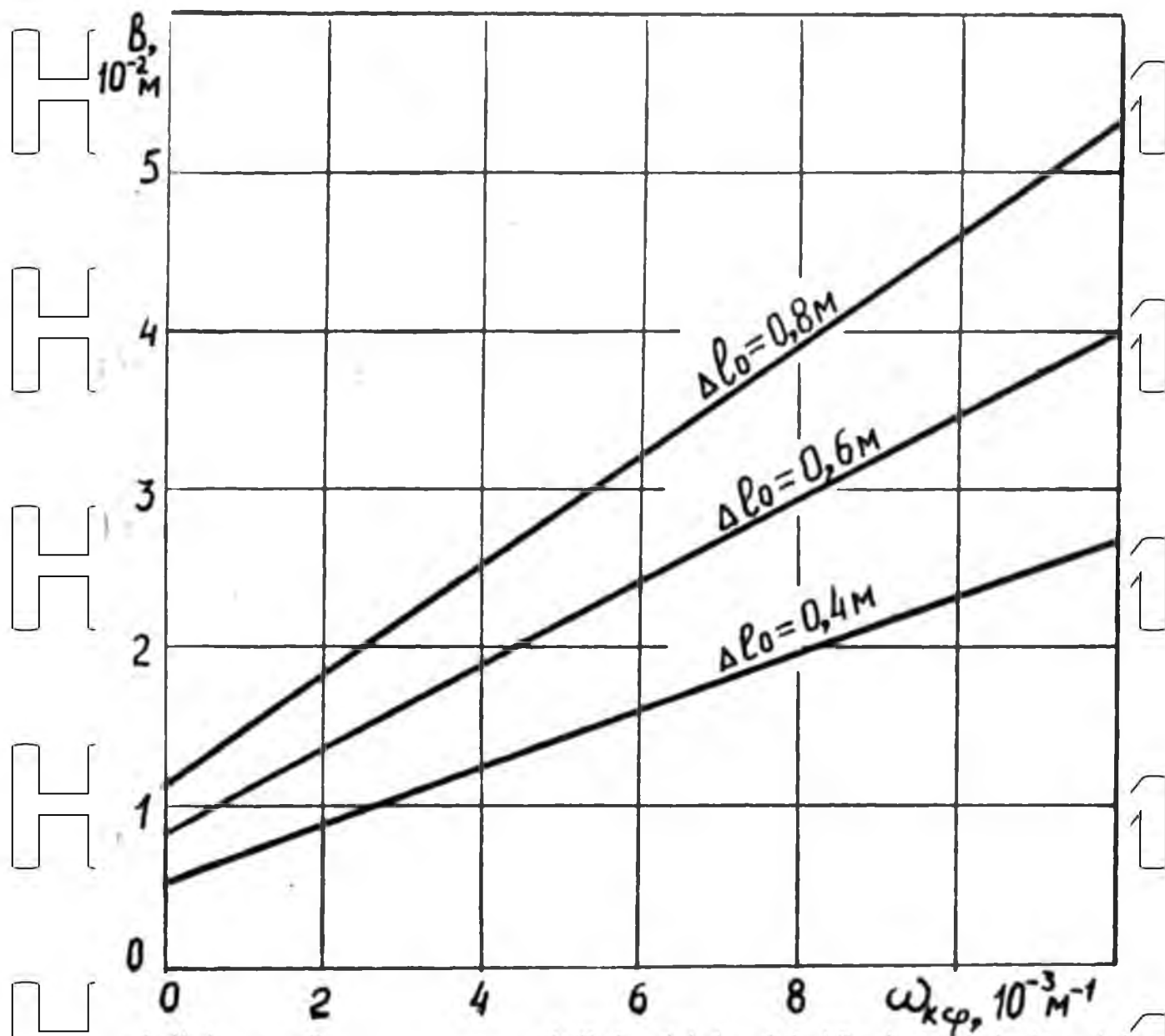


Рисунок 2.6 – Вплив інтенсивності зміни кривизни рядків  $\omega_{kcp}$  на величину відхилення робочих органів  $\Delta \rho_0$

НУБІП України

НУБІП України

Після розв'язання залежності (2.26) відносно  $\epsilon_o$  отримаємо

$$\epsilon_o = 2 \cdot \Delta l_o \cdot \sin(0.5 \omega_k (L + \Delta l \pm \Delta l_o)^2 \sqrt{1 - L^2 \omega_k^2 (L + \Delta l \pm \Delta l_o)^2})^{0.5} + \arctg \frac{a_c}{L} \quad (2.27)$$

Аналіз отриманого виразу і графічної залежності, поданої на рис. 2.6, дозволяє зробити висновок, що збільшення інтенсивності зміни кривизни траєкторії щілини призводить до збільшення величини відхилень робочих органів від опорної траєкторії (умовної осьової лінії рядка). Звідси виходить, що для роботи культиваторів з мінімальними захисними зонами необхідно збільшувати точність прямолінійності посівів. Зменшення впливу параметрів траєкторії щілини на величину відхилень робочих органів досягається зменшенням до відстані від центра копіра до кінця розшнурувальних робочих органів, що визначають захисну зону (при  $\Delta l_o = 0$ ,  $\epsilon_o = 0$ ).

## 2.2 Визначення величини захисної зони рядка

Висока прямолінійність опорної траєкторії не гарантує точного копіювання робочими органами умовної осьової лінії рядка і природно не дає досить повної підстави для вибору установчої захисної зони  $v$  (рис.2.7).

Відомо, що величина установчої захисної зони обумовлюється більшою кількістю фактором. З однієї сторони розміщенням рослин у рядку й шириною крони в процесі вегетації. А з іншого боку - різноманіття факторів, що роблять вплив на відхилення робочих органів щодо базової траєкторії, пов'язаних зі станом ґрунту, характером орієнтації культиватора уздовж рядків, з різним бічним опором робочих органів, інерцією маси агрегату та з іншими динамічними навантаженнями. Не дає підставу всі фактори представити як випадкові величини й розбити на дві групи. Перша група характеризує стан розміщення й розвитку рослин у рядку, а друга - відхилення робочих органів щодо осьової лінії рядка. Тому для опису процесів скористаємося ймовірнісними залежностями.

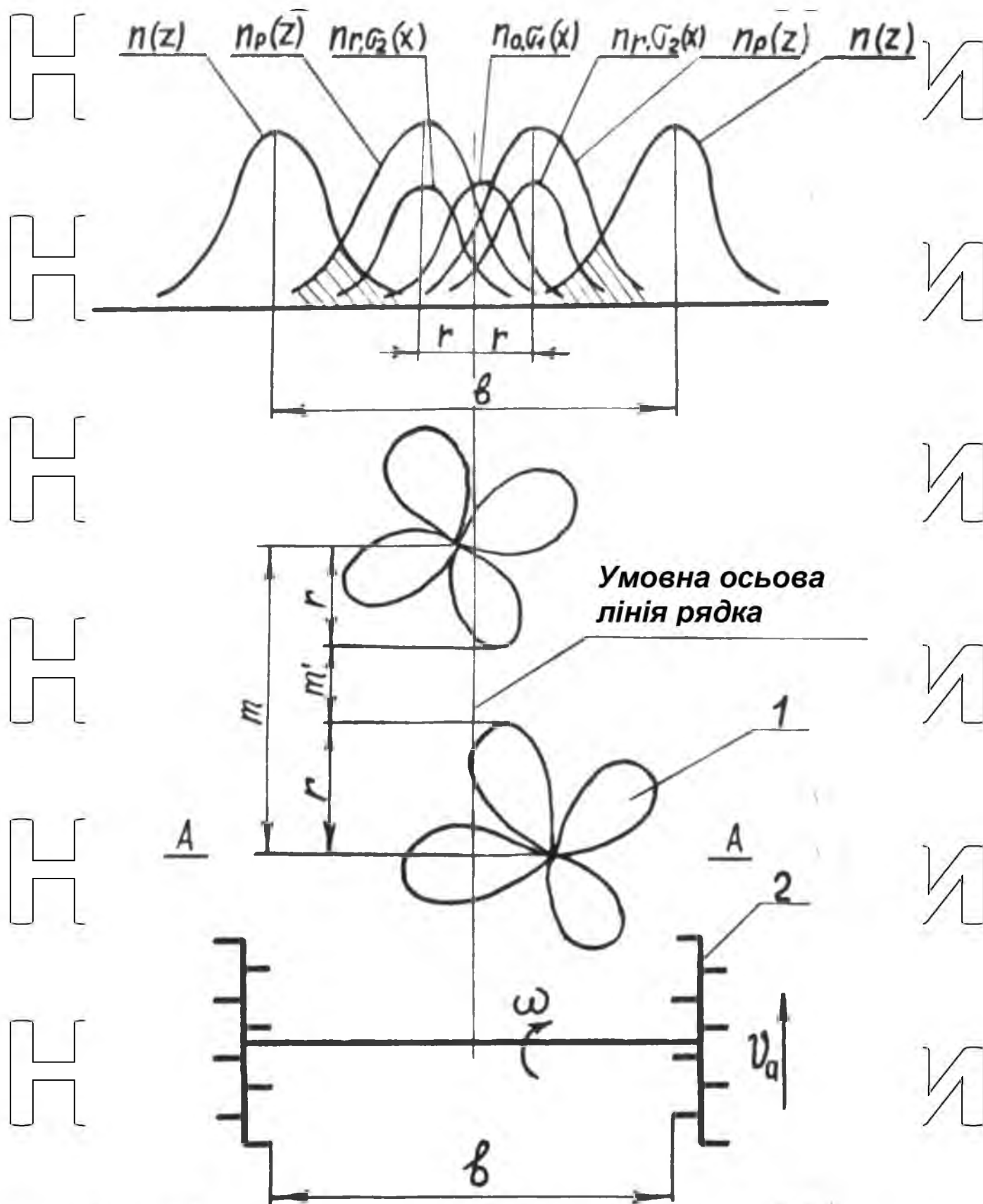


Рисунок 2.7 – Схема до визначення установочної захисної зони рядка:

1 – рослина; 2 – робочий орган

Для теоретичного дослідження розглянемо розподіл рослин у рядку. Допустимо, що на січній, проведеній перпендикулярно осьовій лінії рядка  $A-A$ , розташована точка росту рослини (рис. 2.7). Дослідженнями [7, 28] установлено і нами підтверджується, що розподіл точок росту щодо осьової лінії рядка не суперечить нормальному закону і характеризується середнім квадратичним відхиленням  $\sigma_1$  із щільністю розподілу [7]:

$$n_{o, \sigma_1} = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{x_1^2}{2\sigma_1^2}\right], \quad (2.28)$$

де  $x_1$  - можливе значення величини відхилення центра рослини щодо осьової лінії рядка.

Також встановлено, що розподіл радіуса крони рослин цукрових буряків  $r$  (рис. 2.7), також не суперечить нормальному закону і характеризується середнім радіусом крони із середнім квадратичним відхиленням  $\sigma_2$ . Щільність розподілу буде мати вигляд:

$$n_{r, \sigma_2}(x_2) = \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x_2 - r)^2}{2\sigma_2^2}\right], \quad (2.29)$$

де  $x_2$  - поточне значення радіуса крони.

Тоді використовуючи правила теорії імовірності про комбізації нормальних законів розподілу двох незалежних величин [21], одержимо функцію розподілу крони рослин щодо осьової лінії рядка на січній  $A-A$ :

$$N_p(z) = \frac{1}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left[-\frac{(z-r)^2}{2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}\right] dz, \quad (2.30)$$

де  $z$  - поточне значення величини відхилення крони рослини щодо осьової лінії рядка.

Експериментальне вивчення руху робочих органів просапного культиватора як із жорсткою системою навіски на трактор, так і при вільному переміщенні в бічному напрямку із застосуванням орієнтатора-напрямяча

показало, що відхилення робочих органів щодо осьової лінії рядка підлягають нормальному закону розподілу. Якщо робочий орган  $\lambda$  (рис. 2.7) встановлений щодо осьової лінії рядка на деякій відстані  $\delta/2$  (де  $\delta$  устаткована захисна зона), то ця відстань буде математичним очікуванням центра розсіювання відхилень робочого органа при середньому квадратичному відхиленні  $\sigma_3$ . Останнє є критерієм точності руху робочих органів щодо рядка рослин.

Обладнання просапних культиваторів механічними орієнтаторами-направителями, за умови надійного копіювання, загальне середнє квадратичне відхилення

$$\sigma_3 = \sqrt{(\sigma_3')^2 + (\sigma_3'')^2 + (\sigma_3''')^2}, \quad (2.31)$$

де  $\sigma_3'$ ,  $\sigma_3''$ ,  $\sigma_3'''$  – середні квадратичні відхилення обумовлені відповідно копіюванням опорної траєкторії рядка, бічним переміщенням у щілині в наслідок деформації ґрунту й пов'язаних з технічним станом конструкції культиватора.

Через складність теоретичного визначення,  $\sigma_3$  для настроювання просапних культиваторів при виконанні технологічного процесу необхідно визначати досвідченим шляхом. Для цього виконується один - два проходи агрегату й визначається відстань від рослин до лінії руху робочого органа (захисного диска або іншої маркерної лінії в зоні діючого робочого органа, що визначає ширину захисної зони). Необхідно виконати не менш 50 вимірів при точності виміру 5 мм. Після чого визначається  $\sigma_3$ . Функція нормально розподіленої величини відхилень робочих органів буде мати вид:

$$M_\lambda(z) = \frac{1}{\sigma_3 \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left[-\frac{(z-\delta/2)^2}{2\sigma_3^2}\right] dz. \quad (2.32)$$

Для визначення ймовірності пошкодження рослин скористаємося однією із задач теорії ймовірностей попадання випадкової величини на задану ділянку [22]. Ймовірність знаходження рослини на січній А-А в смузі обробітку можна

визначити за нормальними функціями розподілу за умови (заштрихована частина із правої сторони рядка):

$$P_1' \left( \frac{6}{2} - 3\sigma_3 < z < r + 3\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right) = \Phi^* \left( \frac{r + 3\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \right) - \Phi^* \left( \frac{6/2 - 3\sigma_3}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \right). \quad (2.33)$$

Ймовірність знаходження рослини вздовж рядка визначається з теорії альтернативних процесів:

$$\Pi = \frac{2r}{2r + m} = \frac{2r}{m}, \quad (2.34)$$

де  $m$ ,  $m$  - середня лінійна відстань уздовж рядка відповідно між кронами і точками росту рослин (рис. 2.7).

Тоді ймовірність знаходження рослин уздовж рядка в смузі обробки з однієї сторони:

$$P_1 = P_1' \cdot \Pi \quad (2.35)$$

Ймовірність заходу робочого органа в смугу знаходження рослин визначається за нормальними функціями розподілу за умови попадання на задану ділянку:

$$P_2' \left( 3\sigma_3 < z < \frac{6}{2} - r - 3\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right) = \Phi^* \left( \frac{3\sigma_3}{\sigma_3} \right) - \Phi^* \left( \frac{6/2 - (r - 3\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2})}{\sigma_3} \right). \quad (2.36)$$

Тоді для визначення пошкодження рослин використаємо теорему множення ймовірностей двох незалежних величин. Так як рослини пошкоджуються із двох сторін рядка (рис. 2.7 - заштрихована область), тоді можна подвоїти ймовірність пошкодження:

$$P = 2 \cdot P_1 \cdot P_2. \quad (2.37)$$

Таким чином, після підставлення в рівняння (2.37) залежностей (2.33...2.36), використавши особливість симетричності нормального розподілу і те, що при аргументі рівному три і більше, функція нормального розподілу

приймає значення одиниці [21] можна записати залежність для визначення ймовірності нешкодження рослин у такому вигляді:

$$P = \Phi^* \left( \frac{3\sigma_3 - \epsilon/2}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \right) \cdot \Phi^* \left( \frac{r + 3\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} - \epsilon/2}{\sigma_3} \right) \cdot \frac{2r}{m} \quad (2.38)$$

За допомогою математичного моделювання параметрів, які входять у залежність, визначаємо установчу захисну зону  $\epsilon$ . Для розрахунків приймаємо наступне значення величин:  $P = 0,08$  — припустимо згідно агрономіч

пошкодження рослин цукрових буряків при перших міжрядних обробках

дорівнює 8 %;  $\sigma_1$  і  $\sigma_2$  — за даними досліджень відповідно рівні  $0,6 \dots 0,8 \cdot 10^{-2}$  м і  $0,3 \dots 0,7 \cdot 10^{-2}$  м (для моделювання приймаємо середні значення  $\sigma_1 = 0,7 \cdot 10^{-2}$  м і  $\sigma_2 = 0,5 \cdot 10^{-2}$  м).

Результати розрахунків залежностей (2.39) зображені у вигляді графіка на

рис. 2.8.

Нехай, наприклад, визначене в польових умовах середнє квадратичне відхилення  $\sigma_3 = 1,0 \cdot 10^{-2}$  м. Тоді із точки, розташованої на осі абсцис, яка відповідає цьому значенню проводимо пряму до перетинання із значенням кривої радіуса крони  $r = 2 \cdot 10^{-2}$  м. Далі із точки перетинання проводимо пряму на вісь ординат і знаходимо значення установчої захисної зони  $\epsilon = 7,6 \cdot 10^{-2}$  м.

За графіком можна, також, визначити з якою точністю необхідно копіювати опорну траєкторію, щоб забезпечити розпушування ґрунту в міжряддях з мінімальною (до  $9 \cdot 10^{-2}$  м), зменшеною (до  $15 \cdot 10^{-2}$  м) і стандартною (більше  $15 \cdot 10^{-2}$  м) захисними зонами. Так, наприклад, з тим же ступенем розвитку  $r = 2 \cdot 10^{-2}$  м мінімальна захисна зона буде при точності руху до  $\sigma_3 = 1,3 \cdot 10^{-2}$  м; зменшена  $\sigma_3 = 1,3 \dots 2,8 \cdot 10^{-2}$  м і стандартна — вище  $\sigma_3 = 2,8 \cdot 10^{-2}$  м.

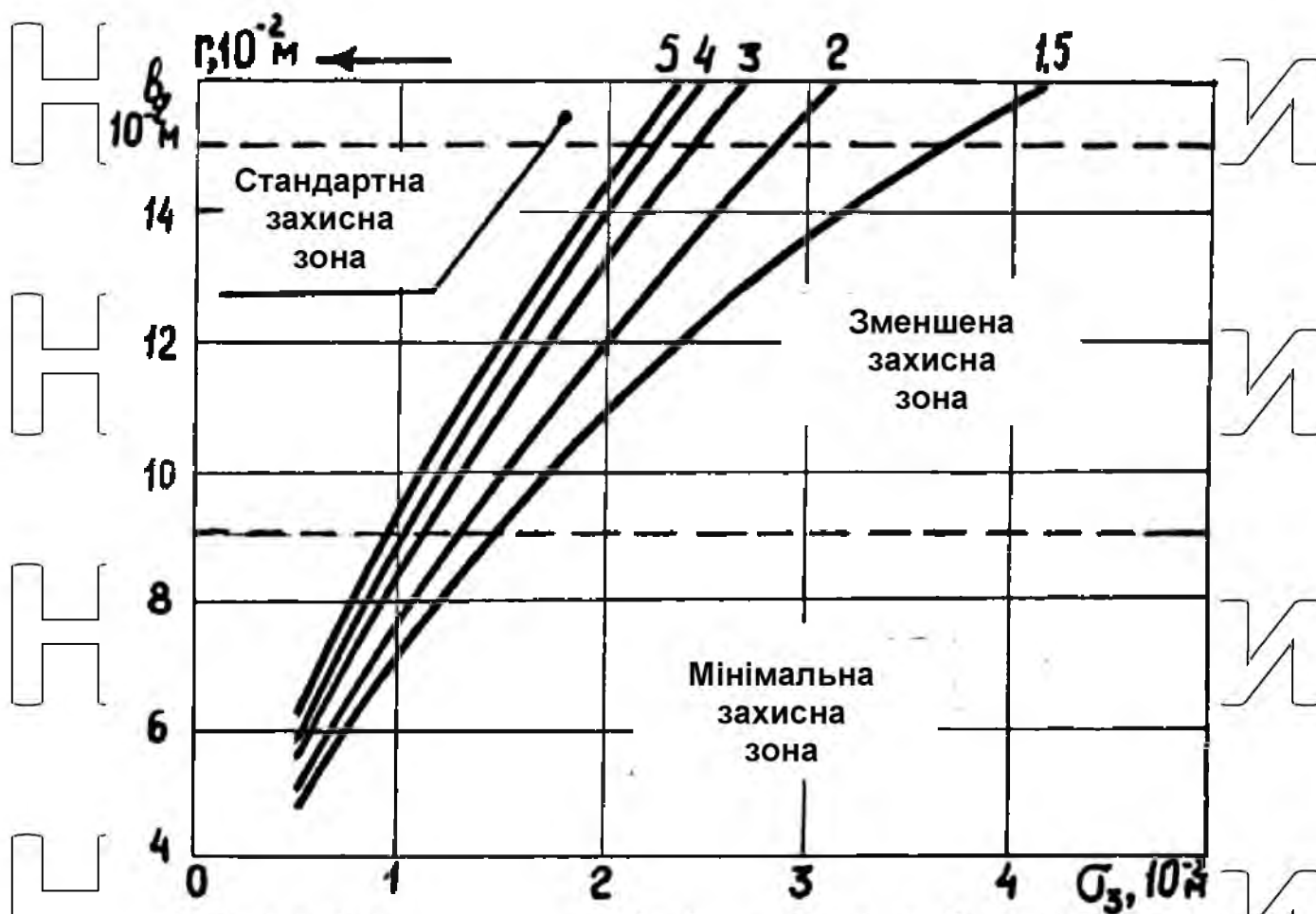


Рисунок 2.8 – Графік для визначення установчої захисної зони при заданому середньоквадратичному відхиленні робочих органів культиватора

Таким чином, аналіз отриманого виразу (2.38) і графічної залежності (рис. 2.8) дозволяє зробити висновок, що мінімізація установчої захисної зони

можлива при зменшенні величини середнього квадратичного відхилення робочих органів культиватора. Причому точність відстеження умовної осьової

лінії рядка повинна підвищуватися при меншій густоті стояння рослин і зі збільшенням ступеня розвитку рослин. Отримана графічна залежність може бути рекомендована також як методика вибору установчих захисних зон на

культиваторах у польових умовах.

## РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Програма експериментальних досліджень

Процес забезпечення розпушування ґрунту в міжряддях цукрових буряків з мінімальними захисними зонами носить складний характер, обумовлений технологічною схемою просапного агрегату, параметрами робочих органів, умовами експлуатації, а також іншими факторами. Аналіз науково-технічної інформації показав, що багато параметрів просапних культиваторів і робочих органів прийняті за результатами експериментів, конструктивно або апріорно. Окремі параметри просапного агрегату можуть бути обґрунтовані теоретично. Однак у зв'язку з тим, що в літературі питання утворення технологічної захисної зони рядка при обладнанні просапного культиватора механічним орієнтатором висвітлені недостатньо, необхідно провести експериментальне підтвердження теоретичних передумов [31, 30].

Відповідно до поставлених задач досліджень, програмою передбачалося вирішити наступні питання:

1. Експериментально визначити точність копіювання траєкторії умовної осьової лінії рядка просапними культиваторами залежно від інтенсивності зміни кривизни щілини і її параметрів, типу трактора і способу його приєднання до культиватора, місця установки дискового копіра відносно розпушувальних робочих органів і параметрів його технологічного настроювання.

2. Дослідити вплив режимів роботи культиватора на якісні показники обробітку захисних зон рядків і провести порівняльний аналіз із аналогічними показниками серійних просапних культиваторів.

Експериментальні дослідження передбачалося провести в два етапи: лабораторно-польові і виробничі.

Для здійснення лабораторно-польових досліджень проводився модельний посів цукрових буряків із заданою інтенсивністю зміни кривизни рядка, а також використалися дослідні ділянки виробничих посівів. У процесі досліджень

установлювалася можливість відстеження траєкторії рядків рослин культиватором разом із серійними просапними культиваторами та оцінки показників якості обробітку ґрунту в захисних зонах робочими органами.

Реалізація програми експериментальних досліджень передбачають розробку наступних питань: розробку пристосувань для оцінки якості роботи культиватора з використанням стандартних приладів і устаткування; обґрунтування і розробку приватних методик по проведенню досліджень на перерахованому вище устаткуванні; методика планування і проведення експериментів і обробітку дослідних даних.

### 3.2. Засоби експериментування

#### 3.2.1. Склад і принцип дії лабораторно-польової установки.

Для забезпечення проведення лабораторно-польових досліджень, а також виробничих випробувань і порівняльного аналізу якості виконання технологічного процесу обробітку захисних зон рядків цукрових буряків використалися два типи агрегатів, серед яких: культиватор УКРП-5,4В з орієнтаторами і без орієнтаторів.

Для забезпечення копіювання щілин, утворених у ґрунті при сівбі, установлювалися два орієнтатора по центрі третього й дев'ятого міжряддя конструкції на раму культиватора. Конструкція культиватора передбачає регулювання відстані установки орієнтатора відносно розпушувальних робочих органів.

Лабораторно-польові дослідження здійснювалися агрегатами, до складу яких входили просапний культиватор УКРП-5,4В, при жорсткому з'єднанні з трактором класу 1,4, обладнаний механічними орієнтаторами для водіння по щілинах.

Розглянемо агрегат (рис. 3.1), культиватор якого обладнаний орієнтатором. Комплектація і розміщення робочих органів проводиться відповідно до рекомендацій для перших міжрядних обробітку ґрунту на виробничих і

модельних посівах культиватор обладнався захисними сферичними дисками 2, які встановлювалися на валик-тримач довжиною 190 мм 1, правосторонніми 7 і лівосторонніми 6 плоско ріжучими лапами із шириною захвата 150 мм, що йдуть у міжряддях. Обробіток стикового міжряддя проводиться правосторонньою плоскорізальною лапою 7, яка встановлена на валик-тримач довжиною 460 мм 5.

Крім зазначених робочих органів для інтенсивного розпушування і знищення бур'янів у центрі міжряддя при роботі у виробничих умовах встановлюються ротаційні батареї.

Водіння культиватора по щілинах, утвореним при сівбі, проводиться встановленням орієнтаторів 4 на раму культиватора по центрі третього і дев'ятого міжряддя. Для можливості фіксації орієнтаторів у щілинах і вільному переміщенні культиватора щодо трактора перпендикулярно напрямку руху необхідно розпустити стяжки 9, що блокують нижні тяги навішення 8.

Орієнтатори конструкції ЩБ УААН (рис. 3.2) кріпляться на раму культиватора за допомогою кронштейна, і фіксуються П-подібними хомутами. Стійка колеса копіра вільно обертається у вертикальній площині щодо пальця. Фіксування глибини ходу колеса-копіра здійснюється за допомогою регульовального штиря. Для поновлення щілини встановлюється ніж, що встановлюється на задану глибину фіксуючими болтами.

Комплектація і будова агрегату класичного компоновання (ЮМЗ-6Л+УКРП-5,4В) не відрізняється від агрегату, обладнаного орієнтаторами.

Тільки необхідно розтяжками 9 (рис. 3.1) заблокувати нижні тяги 8 таким чином, щоб культиватор перебував по центрі осьової лінії трактора. Для перевірки правильності встановлення необхідно, щоб різниця відстаней від рами

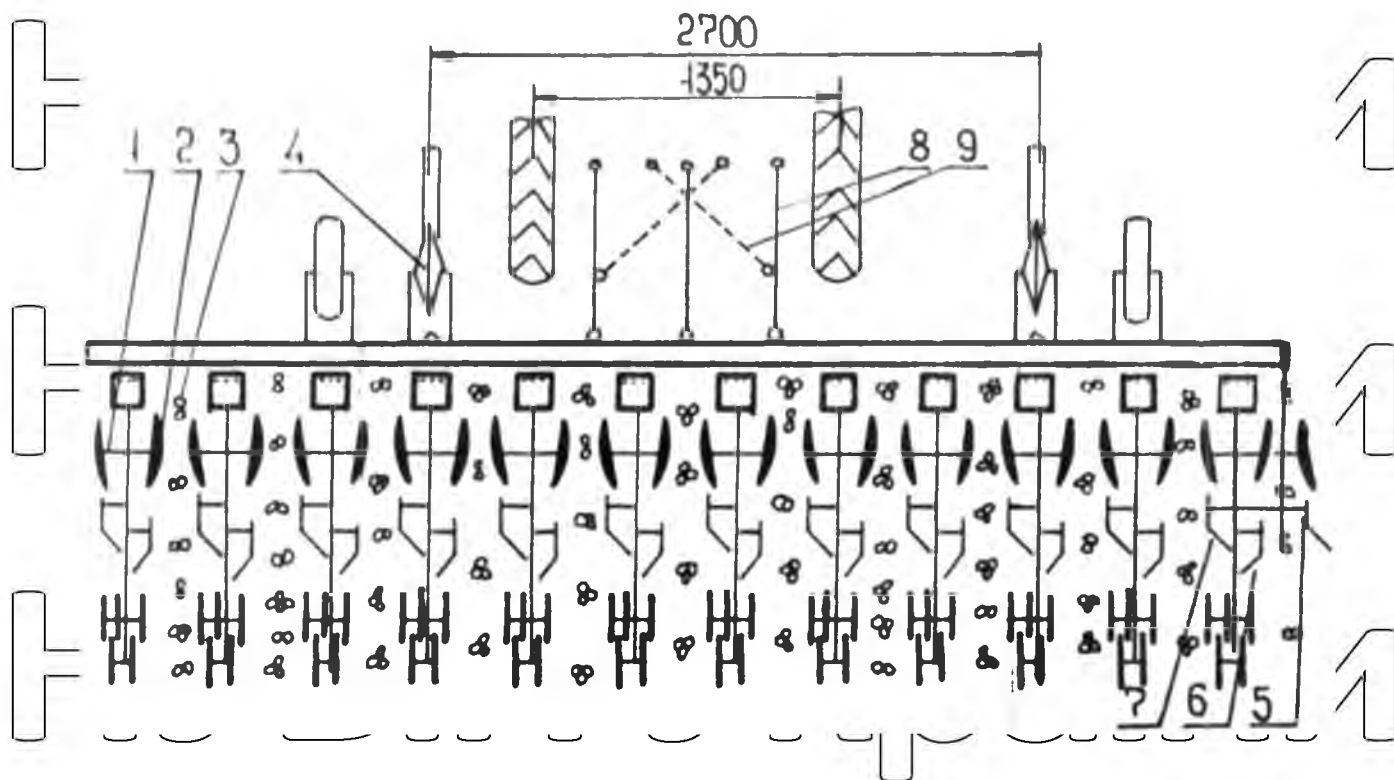


Рисунок 3.1 – Схема просапного культиватора обладаного механічним орієнтатором



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд механічного орієнтатора

культиватора до центрів задніх півосей трактора із двох сторін не перевищувала 20 мм.

Змінні параметри: поступальна швидкість, частота обертання фрез барабана, інтенсивність зміни кривизни рядків, величина установчої захисної зони.

Обумовлені параметри: поступальна швидкість, середнє квадратичне відхилення робочих органів і орієнтатора від умовної осьової лінії рядка, коефіцієнт варіації глибини обробітку ґрунту, коефіцієнт подрібнення ґрунту, ступінь знищення бур'янів, ступінь пошкодження.

### 3.3 Методика проведення досліджень

#### 3.3.1. Методика проведення лабораторно-польових досліджень

Проведення дослідів в польових умовах проводилося трьома етапами: дослідження точності копіювання рядків рослин робочими органами на модельних посівах; дослідження якісних показників обробітку захисних зон рядків на дослідах виробничих посівів і оптимізація режимів роботи просапних культиваторів на модельних посівах [27, 29].

Випробування проводилися відповідно до стандартів: „Машини й знаряддя для обробітку просапних культур”; „Програма і методи випробувань” і методики досліджень по цукрових буряках, а також по розроблених нами методиках.

Для вибору технологічної схеми секції просапного культиватора проводилися дослідження якісних показників обробітку захисних зон рядків цукрових буряків дослідних посівів на полях. Мінімальна довжина облікової ділянки становила 100 м ширина 5,4 м при трикратному повторенні. Величина захисної зони на просапному культиваторі встановлювалася різна по фронту обробітку  $B = 60, 140$  мм. Швидкість нересування агрегатів варіювала в межах 1,0...1,7 м/с. Проводилися заміри інтенсивності зміни кривизни рядків, твердість і вологість ґрунту, густина стояння рослин і забур'яненість посівів до і після

обробітку в 200 мм зоні рядка, кількість підрізаних, присипаних і пошкоджених рослин. Облік і спостереження проводилися відповідно до методики ШЦБ УААН.

Відома методика проведення експерименту на полігоні по відстеженню агрегатом по наміченій синусоїдальній кривій з різними періодами і амплітудами по натягнутому дроті, пофарбованим струменем, міченою борозною. У цілому такий підхід найбільш раціональний у вивченні характеру стабільності копіювання просапними культиваторними агрегатами скривлення рядків. Однак, як відзначалося в теоретичних передумовах, оцінка скривлення опорної траєкторії двома показниками (наприклад періодом і амплітудою синусоїди) або

середньою кривизною осьової лінії рядка, не служить повною характеристикою, що визначає зміни умов роботи ґрунтообробних машин з погляду оптимізації їхніх режимів. Тому скористаємося запропонованим Х.А. Хачатряном показником інтенсивності (швидкості) зміни кривизни опорної траєкторії і розглянемо на базі цього показника методику і планування проведення модельних лабораторно-польових експериментів [15].

Досліди проводилися на післязбиральному полі у два етапи. На першому етапі виконувалися пошукові дослідження і однофакторні експерименти по перевірці теоретичних передумов вибору типу трактора (ЮМЗ-6Л, Т-70С), місця встановлення орієнтатора відносно робочих органів 0,6, 0,1 м і його технологічних регулювань (глибина ходу 50...180 мм) залежно від параметрів щільності, а також впливу інтенсивності зміни кривизни рядків на точність відстеження їхньої траєкторії. На другому етапі з метою зменшення кількості дослідів для оптимізації режимів роботи культиваторів проводився трифакторний експеримент по матрицях ОЦКП.

Підготовка ґрунту на ділянці здійснювалася відповідно до рекомендацій обробітку цукрових буряків. Поле розбивалось на окремі ділянки довжиною 100 м. На початку і в кінці гонів відбивалися поворотні смуги довжиною 15 м для заправлення сівалок при посіві, розвороту і налагоджування. Після чого на

ділянках розмічали траєкторію посіву залежно від заданої інтенсивності зміни кривизни рядка.

Межі варіювання інтенсивності зміни кривизни рядків вибиралися за результатами досліджень посівів у реальних умовах сільськогосподарського виробництва. По заданих вимірах характерні скривлення рядків перебувають у межах  $1...15 \cdot 10^{-3}$  м.

Для вибору періоду і амплітуди, позначених на ділянці синусоїд, використаємо графік визначення інтенсивності зміни кривизни рядка (рис. 3.3) побудований по залежності (1). Загальний вид посівів показаний на рис. 3.4.

Значення параметрів синусоїдальних траєкторій для проведення ОЦКП представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Значення параметрів траєкторії рядків

Параметри траєкторії	Значення $\omega_k, 10^{-3} \text{ м}^{-1}$				
	1,0 (- $\alpha$ )	2,2 (-1)	8,0 (0)	13,8 (+1)	15,0 (+ $\alpha$ )
T, м	40	40	20	20	20
A, м	0,06	0,15	0,125	0,215	0,237

Розмахи варіювання установчої захисної зони  $B = 8...18 \cdot 10^{-2}$  м - для УКРП-5,4В.

Межі досліджуваних поступальних швидкостей агрегату встановлювалися на підставі перерахованих рекомендацій.

За параметр оптимізації проривних культиваторів прийнятий комплексний показник оцінки стабільності руху і можливості підходу робочих органів до рослин - ступінь пошкодження рослин цукрових буряків  $K_n$ .

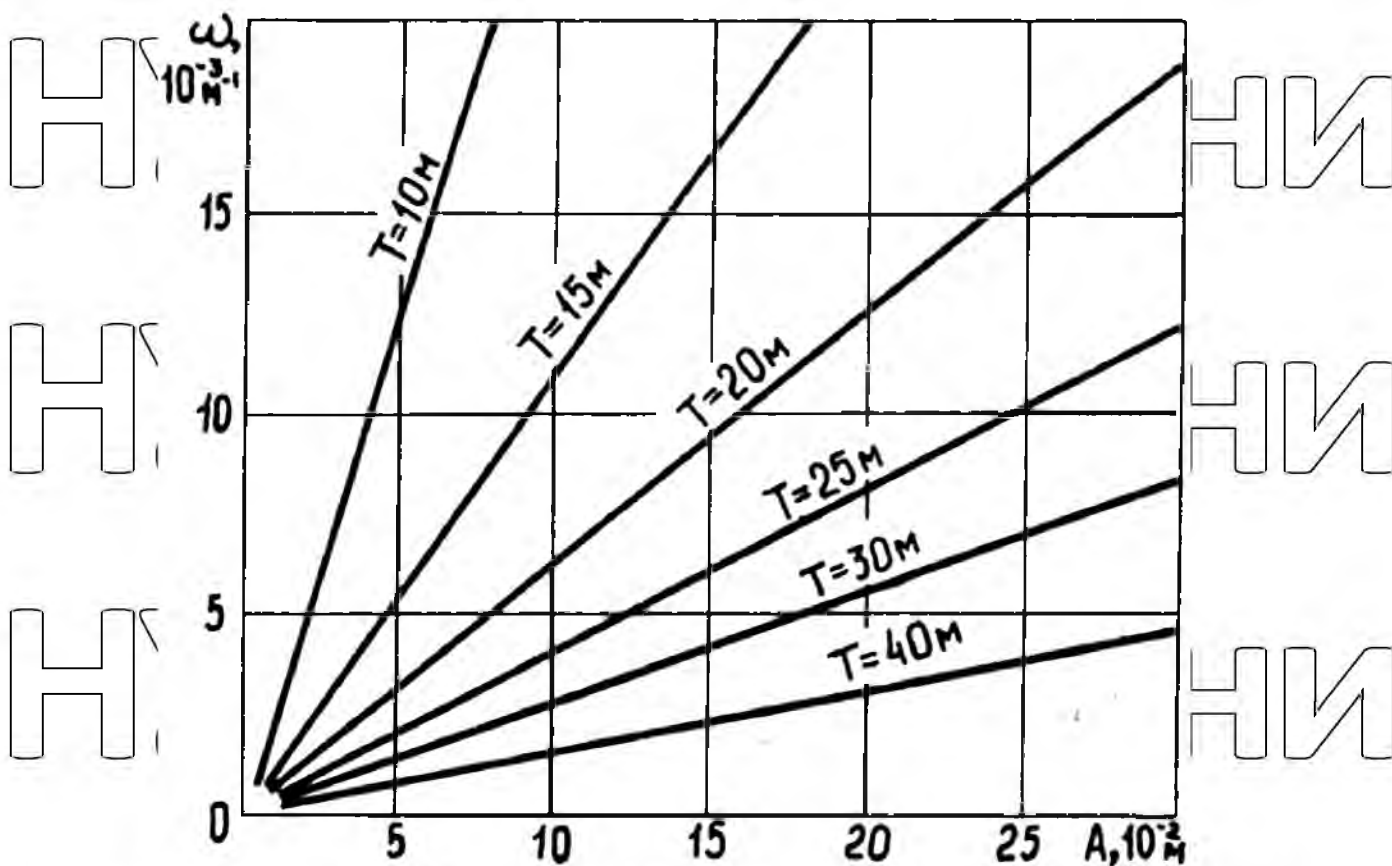


Рисунок 3.3 – Графік для вибору інтенсивності зміни кривизни рядків



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд модельних посівів

### 3.3.2. Обробка дослідних даних.

Проведення експериментів пов'язане із вимірюванням дослідних даних приладами, що є вихідними даними для аналітичного розрахунку шуканих величин.

Кількість вимірів визначалося по таблиці Романовського В.І. [25] при заданій надійності досліду і значенню граничної відносної похибки, а похибка непрямих вимірів в теорії похибок.

Непрямі виміри під час експериментальних досліджень виконувалися з урахуванням наступних аналітичних залежностей.

Ступінь подрібнення ґрунту:

$$K_k = M_1/M_0 \cdot 100 \% \quad (3.1)$$

де  $M_1$  - маса фракцій ґрунту розміром грудок менше 10 мм;

$M_0$  - загальна маса нав'іщення.

Ступінь пошкодження рослин:

$$K_n = m_{pn}/m_p \cdot 100 \% \quad (3.2)$$

де  $m_{pn}$ ,  $m_p$  - кількість рослин на обліковій ділянці відповідно до обробітку і пошкоджених після обробітку ґрунту.

Ступінь знищення бур'янів:

$$K_e = (m_c - m_{co})/m_c \quad (3.3)$$

де  $m_c$ ,  $m_{co}$  - кількість бур'янів в 200 мм зоні рядка відповідно до обробітку і, що залишилися після обробітку ґрунту.

Середня глибина розпушування:

$$h = 1/n \sum_{i=1}^n h_i, \quad (3.4)$$

де  $h_i$  - величина глибини розпушування при  $i$ -му замірі;

$n$  - кількість замірів.

Середнє відхилення глибини обробітку, відхилення робочих органів:

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}, \quad (3.5)$$

де  $x$  - поточне значення величини відхилення;

$\bar{x}$  - середнє значення величини відхилення.

Коефіцієнт варіації глибини розпушування:

$$\bar{V}_h = \frac{\sigma_h}{\bar{h}}. \quad (3.6)$$

Твердість ґрунту:

$$p = \frac{h'_n \cdot S_n}{f_n} \quad (3.7)$$

де  $h'_n$  - висота ординати на записуючому пристрої приладу Ревякіна;

$S_n$  - твердість пружини;

$f_n$  - площа впроваджуваного в ґрунт наконечника.

Вологість ґрунту

$$W = (m_{db} - m_{dc}) / (m_{dc} - m_d) \quad (3.8)$$

де  $m_{db}$  - маса бюкса із пробєю вологого ґрунту;

$m_{dc}$  - маса бюкса з висушеною пробєю ґрунту;

$m_d$  - маса порожнього бюкса.

Згладжування експериментальних даних проводилося відповідно до алгоритму і прикладних програм.

Обробка отриманих даних у результаті реалізації трифакторних експериментів по матрицях ОЦКП проводилася за відомими методиками.

## РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХНІЙ АНАЛІЗ

# НУБІП України

### 4.1 Оцінка точності копіювання рядків просапними культиваторами

# НУБІП України

Величина установчої захисної зони при обробці ґрунту в міжряддях просапних культур і зокрема цукрових буряків, залежить від точності копіювання траєкторії рядків робочими органами культиватора. Тому для вивчення стійкості протікання технологічного процесу копіювання рядків

# НУБІП України

просапними культиваторами, обладнаними механічними орієнтаторами дискового типу, виконувалися польові дослідження на імітаційних посівах цукрових буряків згідно методики розглянутої в розділі 3.

# НУБІП України

Для підтвердження теоретичних передумов проводився вибір енергетичного засобу і способу його приєднання до культиватора. Також визначався вплив ступеня скривлення траєкторії щілини і її параметрів на технологічні параметри настроювання орієнтаторів.

# НУБІП України

Точність копіювання просапними культиваторами базисної траєкторії оцінювалися середньоквадратичним відхиленням крайки кочира від середини напрямної щілини і відхиленням розпушувачих робочих органів від умовної осьової лінії рядка.

# НУБІП України

З метою встановлення місця установлення поздовжніх нижніх тяг навішення трактора на точність копіювання щілини останні встановлювалися на зовнішні і внутрішні пальці рамки автозчипки СА-1. У результаті проведення досліджень отримані гістограми і теоретичні щільності розподілу відхилення орієнтатора щодо центра напрямних щілин (рис. 4.1). Встановлено, що

# НУБІП України

середньоквадратичне відхилення при установці на внутрішні пальці СА-1 менше ніж на зовнішні і відповідно рівні 6,89 мм і 7,71 мм. У цьому випадку експериментальні дослідження підтверджують теоретичну гіпотезу про те, що

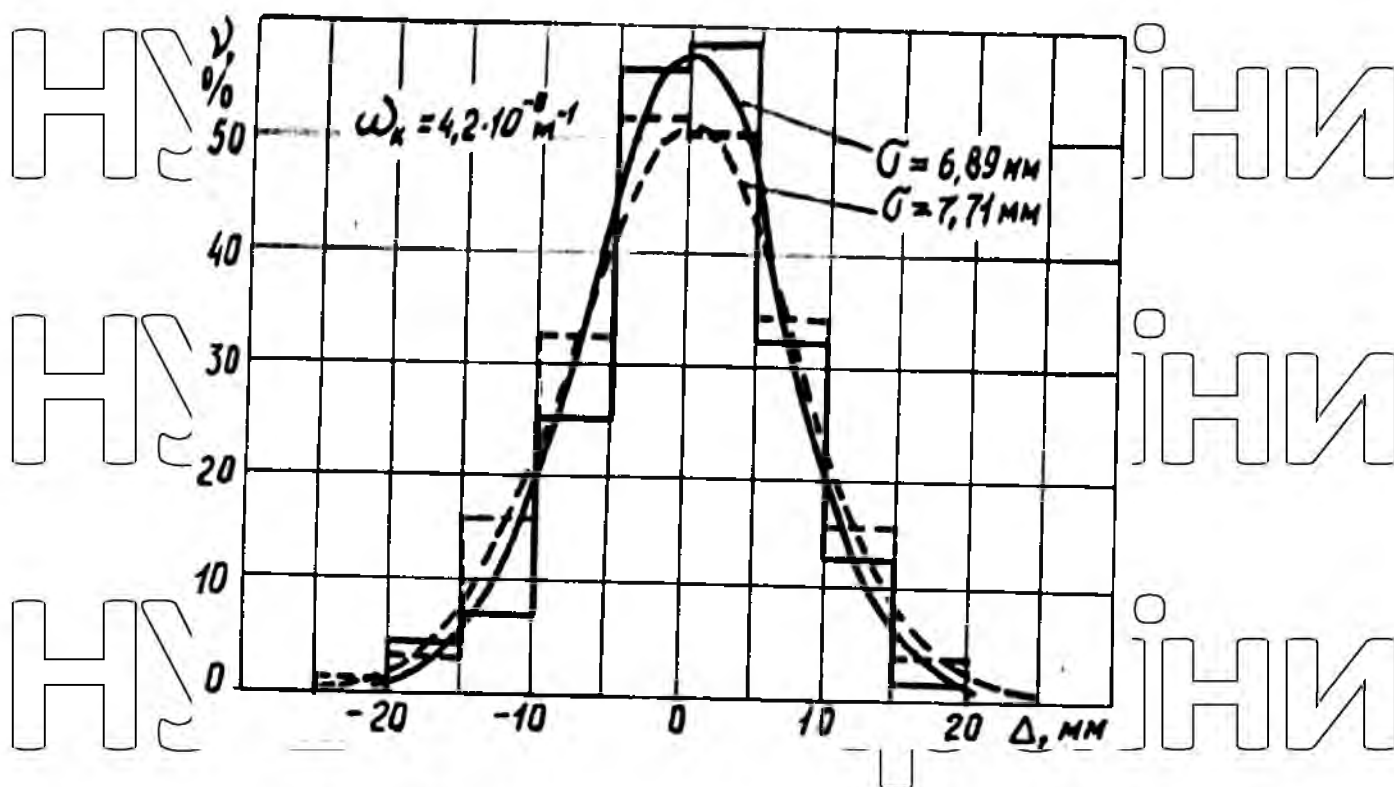


Рисунок 4.1 – Гістограми і теоретичні щільності розподілу відхилення пріорітатора при установці тяг навіски на зовнішні пальці навіски рамки СА-1

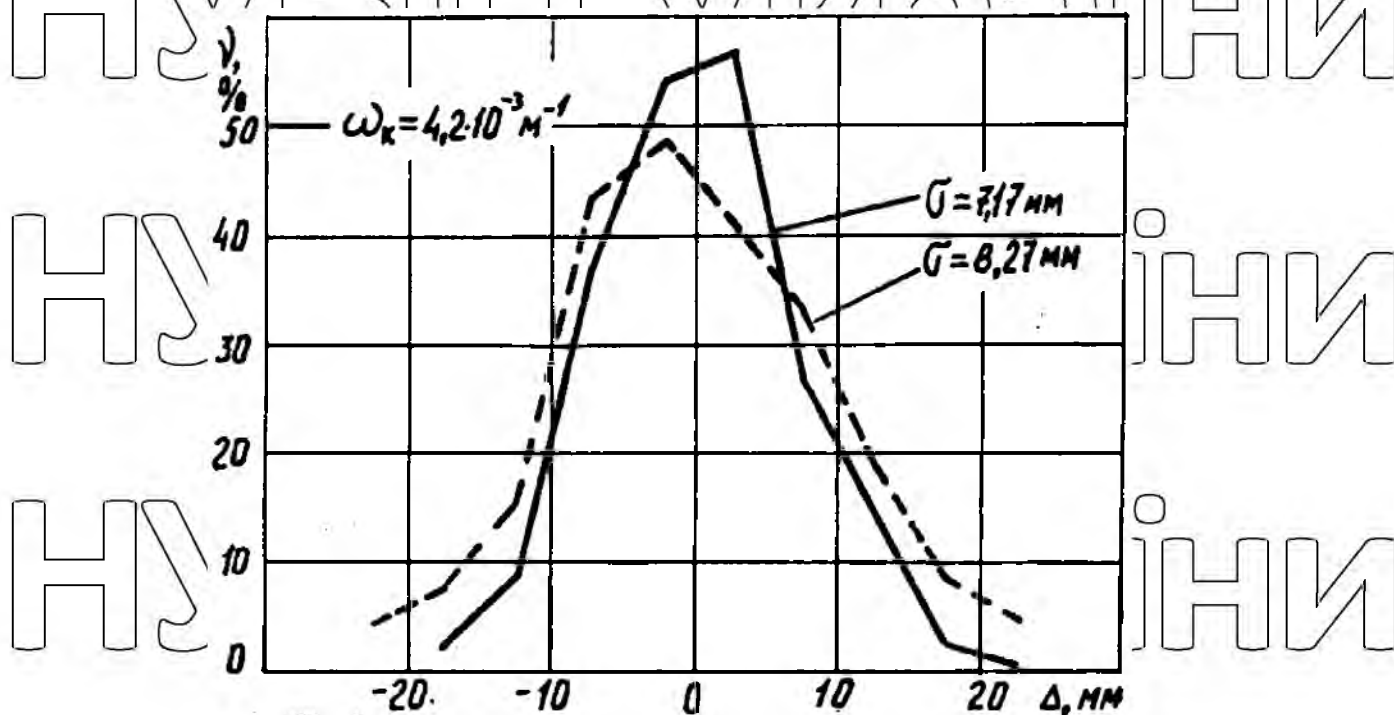


Рисунок 4.2 – Полігони розподілу відхилень робочих органів просанного культиватора при агрегуванні з ЮМЗ-6Л (—) і Т-70С (---)

Поздовжні тяги варто встановлювати паралельно. Пояснюється це тим, що при звільненні навішення від жорсткого з'єднання стійками відбувається переміщення культиватора перпендикулярно напрямку руху агрегату. При установці на внутрішні пальці автозчіпки таке переміщення - плоскопаралельне.

При установці тяг на зовнішні пальці СА- 1, між точками навішування встановлюється трапецевидний зв'язок, що сприяє повороту рами культиватора і у цілому елемента, що копіює, у напрямній щілині, на кут, який перевищує кут повороту енергетичного засобу, що приводить до порушення стійкості копіювання.

Теоретичні передумови вибору трактора підтверджені експериментальними дослідженнями. З полігонів розподілу (рис. 4.2) видно, що більше стійке копіювання рядків відбувається при агрегуванні з колісним трактором 7,17 мм (гусеничним 8,27 мм). Цей ефект пояснюється тим, що кінематичний центр повороту знаходиться ближче до копіювального елемента у колісного трактора. З іншої сторони при копіюванні траєкторії рядків поздовжня вісь колісного трактора повертається на менший кут, що сприяє більшій усталеній роботі копіра в напрямних щілинах.

Перевірка розподілу відхилення орієнтира і робочих органів від умовної траєкторії за критерієм  $\chi^2_{0,05}$  показує, що вони відповідають нормальному закону розподілу.

На величину захисної зони рядка значний вплив, як було показано вище, вказує місце установки копіювального елемента відносно робочих органів. Аналіз отриманих даних (рис. 4.3) показав, що зі збільшенням відстані зменшується середньоквадратичне відхилення копіра. Очевидно, це пояснюється тим, що копіювання щілини проходить ближче до точки візуального копіювання рядків оператором, тому скривлення траєкторії щілини менше впливає на роботу копіра.

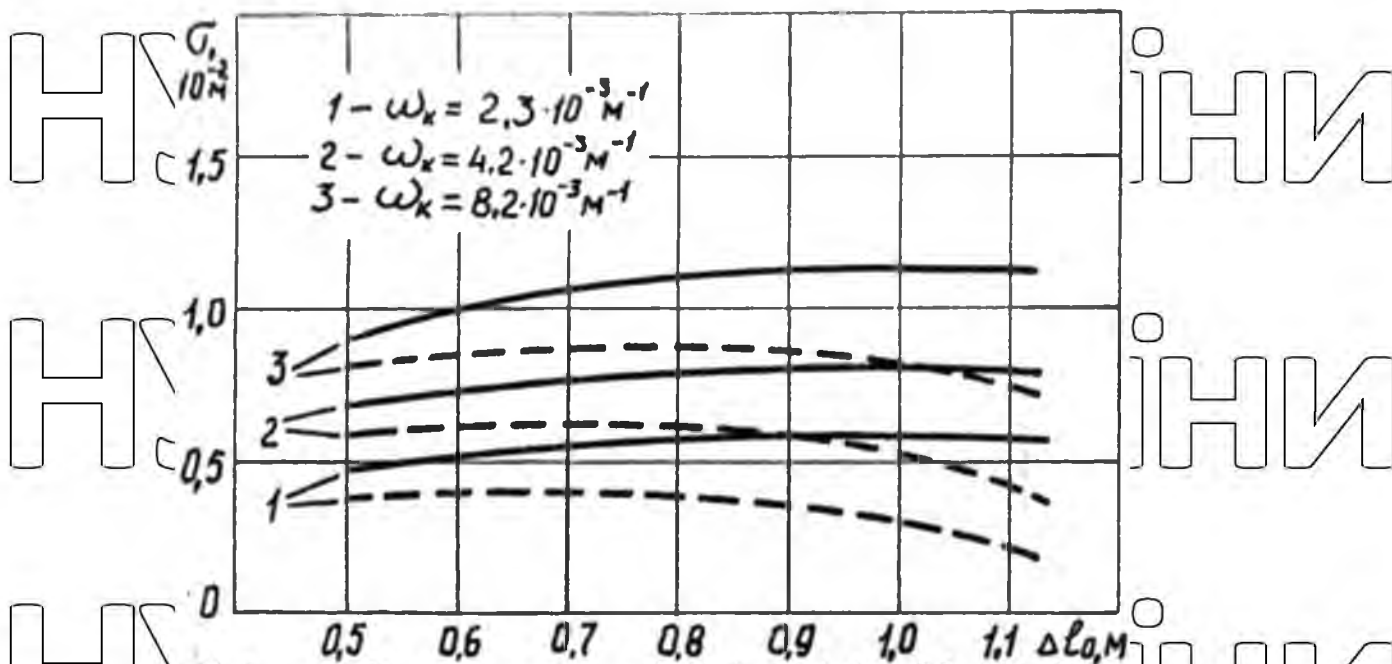


Рисунок 4.3 – Залежність величини середньоквадратичного відхилення орієнтатора (---) і робочих органів (—) від відстані встановлення орієнтатора  $\Delta l_0$

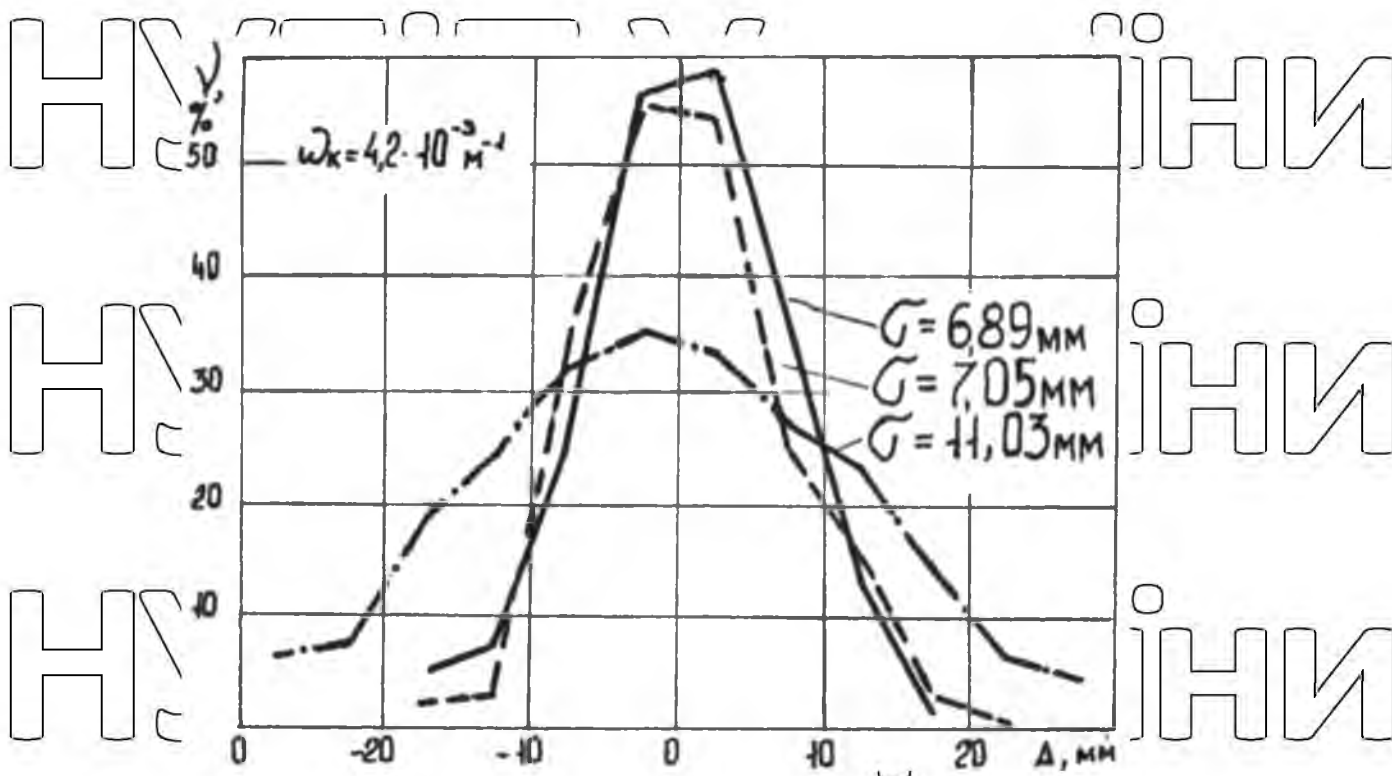


Рисунок 4.4 – Полігони розподілу відхилень орієнтатора від щілини, який обладнаний: шпелерізом (·-·-); дисковим копіром (---); дисковим копіром і шпелерізом (—)

Але з погляду забезпечення мінімальної захисної зони більший вплив має середньоквадратичне відхилення розпушуючих робочих органів, що зі збільшенням  $\Delta l_0$  збільшується. Виходячи із цього копіювальний елемент необхідно, якнайближче встановлювати до розпушуючих робочих органів.

При проведенні перших міжрядних обробіток ґрунту необхідно поновлювати щілини (повторна нарізка) для можливості керування просапними культиваторами на наступних розпушеннях. Тому орієнтатори, крім дисків, що копіюють, повинні комплектуватися ножами-щілерізами, які застосовуються для утворення щілин при сівбі. У зв'язку із чим проводилося дослідження впливу комплекту копіювальних елементів на стійкість копіювання траєкторії щілин орієнтатором. Полігони розподілу відхилень орієнтатора від щілини представлені на рис. 4.4.

Аналіз експериментальних даних показує, що найменше середньоквадратичне відхилення орієнтатора (6,89 мм) є при обладнанні його повним комплектом (дисківим копіром і щілерізом). При обладнанні орієнтатора тільки дисківим копіром  $\sigma = 7,05$  мм. Однак при оцінці розходжень між дисперсіями за критерієм Фішера на 5 %-му рівні значимості розходження між варіантами несуттєві. А при обладнанні тільки ножем-щілерізом стійкість ведіння значно погіршується.

Точність копіювання рядків робочими органами просапного культиватора, обладнаного механічним орієнтиром залежить від конкретних умов експлуатації.

Тому метою проведених досліджень була перевірка теоретичних передумов на вибір технологічних параметрів налаштування орієнтаторів в залежності від параметрів щілини, твердості ґрунту, інтенсивності зміни кривизни рядка. Математична обробка даних по вивченню впливу глибини ходу дисківого копіра на величину середньоквадратичного відхилення розпушуючих робочих органів і аналіз експериментальних кривих показали наявність оптимальної області значення глибини ходу (рис. 4.5).

Причому для кожного значення інтенсивності зміни кривизни траєкторії щілини відповідає своє оптимальне значення глибини ходу дискового копіра.

Аналізуючи криві графіка (рис. 4.6), можна зробити висновок, що збільшення інтенсивності зміни кривизни рядка викликає необхідність зменшення глибини ходу копіра в щілині. Це приводить до погіршення стабільності роботи культиватора. Пояснюється тим, що утримуюча здатність механічного орієнтатора зменшується через зменшення бічної поверхні копіра, що перебуває в ущільненій частині щілини. При цьому зі зменшенням глибини ходу копіра менше впливає на величину відхилення робочих органів.

Проведені дослідження підтверджують оправданість теоретичних передумов.

Щоб визначити вплив звивистості траєкторії рядків на точність їхнього копіювання робочими органами просапного культиватора були проведені досліди на модельних посівах з різною інтенсивністю зміни кривизни, на яких випробовувалися два агрегати: лаповий, УКРП-5,4В і УКРП-5,4В з орієнтаторами при агрегуванні із трактором ЮМЗ-6Л.

Статистична обробка отриманих результатів дозволила одержати залежності представлені на рис. 4.6.

Дані отримані в результаті досліджень свідчать, що зі збільшенням звивистості траєкторії точність від злежування зменшується. Зростання середньоквадратичного відхилення говорить про необхідність збільшення установчої захисної зони на просапних культиваторах.

Порівнюючи залежності для різних агрегатів (рис. 4.6) видно, що при агрегуванні із фрезерним культиватором стабільність копіювання рядків вище чим з УКРП-5,4В + орієнтатор. Це підтверджує теоретичні висновки про необхідність забезпечення прямолінійності посівів цукрових буряків, а також обладнання просапних культиваторів робочими органами з меншою бічною поверхнею.

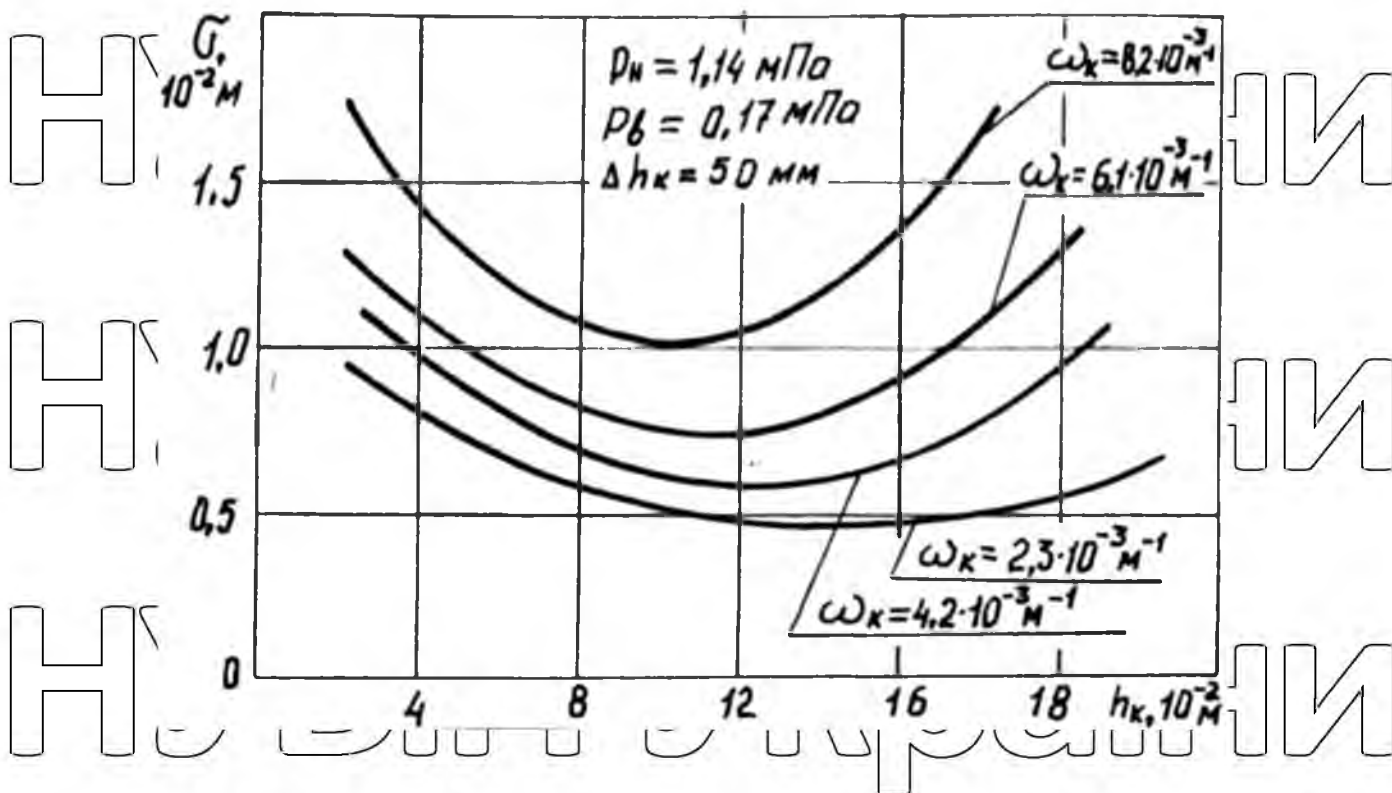


Рисунок 4.5 – Залежність величини середньоквадратичного відхилення робочих органів від глибини ходу дискового копіра

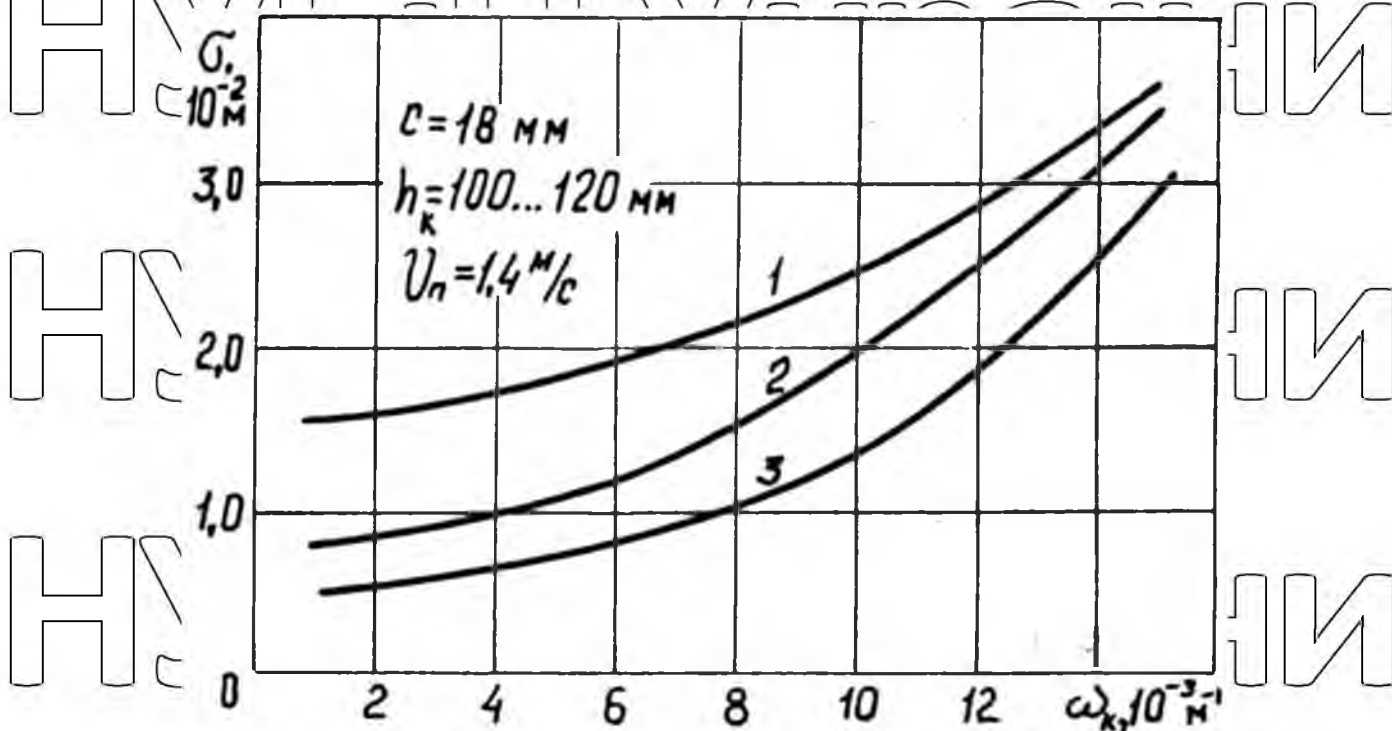


Рисунок 4.6 – Вплив інтенсивності зміни кривизни диска на середньоквадратичне відхилення робочих органів: 1 – УКРП-5,4В; 2 – МКРП-5,4В + орієнтатор; 3 – КФ-5,4 + орієнтатор (агрегування з ЮМЗ-6.П)

## 4.2 Вибір оптимальних режимів роботи просапних культиваторів

Відповідно до програми і методики досліджень, для отримання достовірної інформації, а також виявлення ефективності застосування робочих органів і пристосувань в однакових умовах досліди проводилися при агрегуванні із двома агрегатами: УКРП-5,4В з орієнтатором і УКРП-5,4В. Через численність випадкових факторів, що впливають на вибір установочної захисної зони, залежно від типу робочого органа пропонується використати режимні фактори, які забезпечують можливість характеризувати об'єкт у заданих умовах експлуатації за критерієм оптимізації пошкодження рослин  $K_{\text{п}}$ .

Для визначення взаємного впливу на пошкодження рослин у процесі міжрядної обробітки інтенсивності зміни кривизни рядка, установочної захисної зони  $v$  і швидкості пересування агрегату проведені експерименти за планами ОКЦП. Межі варіювання факторів визначалися з конструктивних міркувань, інформації попередньо проведених дослідів.

Розглянемо вибір оптимальних режимів роботи культиваторів в агрегаті із трактором ЮМЗ-6Л:

### а) Дослідження режимів роботи УКРП-5,4В, обладнаного механічним орієнтатором.

Об'єкт дослідження складається із трактора ЮМЗ-6Л и просапного культиватора УКРП-5,4В, обладнаного орієнтатором. Реалізувався план ОКЦП варіюванням факторів зміни кривизни рядка  $\omega_k$ , настановної захисної зони  $v$  і  $V_{\text{п}}$ .

Обробітка експериментальних даних дозволило отримати адекватні рівняння регресії в кодованій (4.1) і натуральній (4.2) формах:

$$Y = 4.87 + 4.07x_1 - 4.38x_2 + 1.12x_3 - 2.37x_1x_2 + 0.85x_1x_3 - 0.6x_2x_3 + 1.32x_1^2 + 1.22x_2^2; \quad (4.1)$$

$$K_{\text{п}} = 13.84 + 1.072\omega_k - 186.36v + 2.99V_{\text{п}} - 9.96\omega_k v + 0.237\omega_k V_{\text{п}} - 23.71vV_{\text{п}} + 0.039\omega_k^2 + 726.93v^2 \quad (4.2)$$

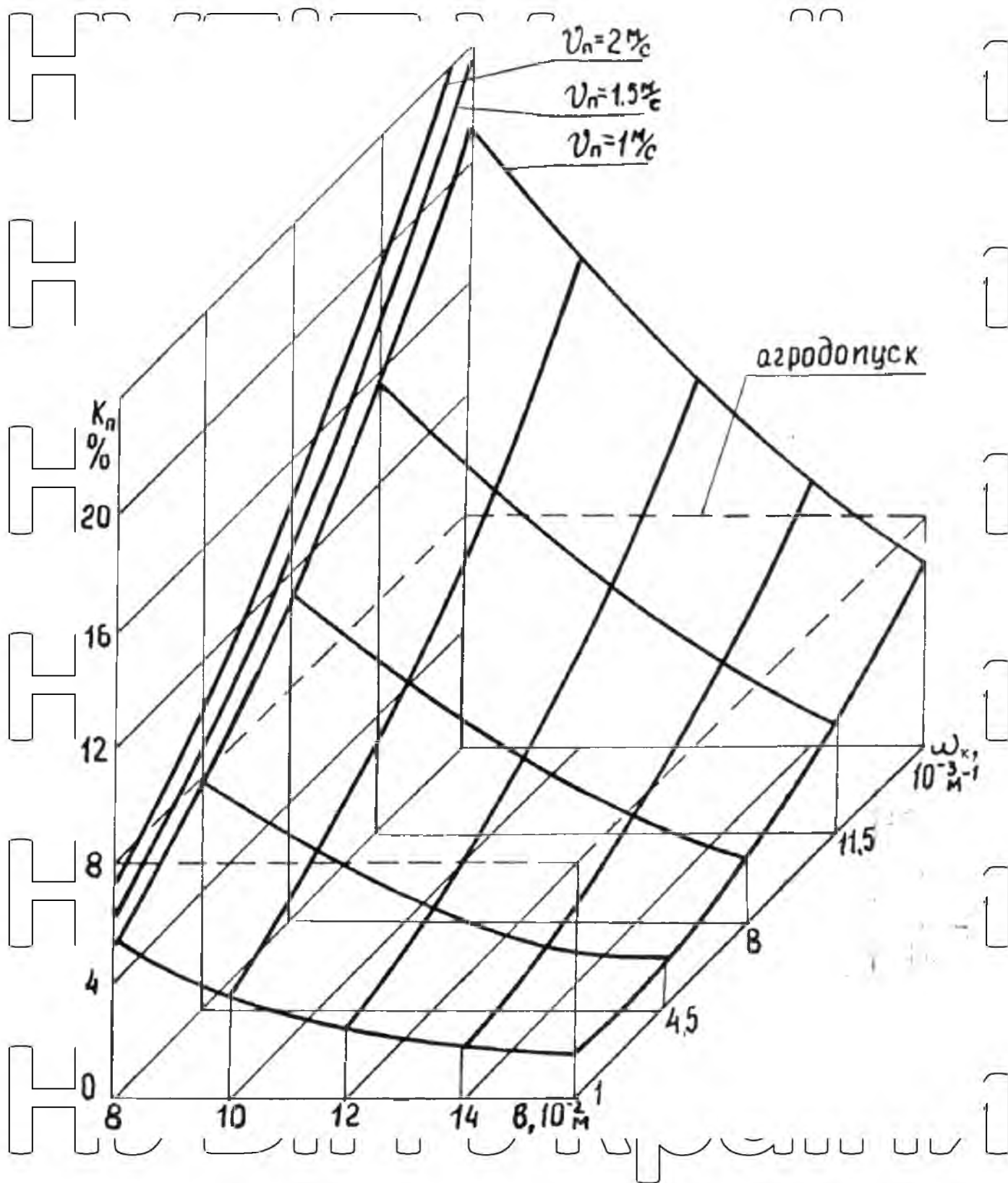


Рисунок 4.7 – Поверхня відгуку ступеня пошкодження рослин цукрових буряків

$K_n$  від  $\omega_k$  і  $v$  при поступальній швидкості руху  $V_H$  (ЮМЗ-6Г + УКРП-5,4В + орієнтатор)

де  $x_1 = \frac{\omega_k - 8}{5,8}$  - інтенсивність зміни кривизни рядків;  
 $x_2 = \frac{v - 0,13}{0,041}$  - величина установочної захисної зони;

$$x_3 = \frac{V_{II} - 1,25}{0,617} - \text{швидкість руху агрегату.}$$

При оцінці коефіцієнтів регресії встановлено, що коефіцієнт  $b_{33}$  не значущий і при подальшому аналізі не розглядався. На рис. 4.7 показана поверхня відгуку процентного пошкодження рослин цукрових буряків. До функції від установчої захисної зони  $\delta$  і інтенсивності зміни кривизни рядка при швидкості руху агрегату.

Отримана поверхня відгуку (рис. 4.7) вивчалася методом двовірних розтинів.

Для цього рівняння (4.1) піддавалося канонічному перетворенню, що у стандартній канонічній формі має вигляд:

при зафіксованій швидкості пересування  $V_{II} = 1,0 \text{ м/с}$  ( $x_3 = +0,406$ );

$$Y - 2,22 = 2,456 x_1^2 + 0,084 x_2^2; \quad (4.3)$$

при  $V_{II} = 1,25 \text{ м/с}$  ( $x_3 = 0$ );

$$Y - 0,89 = 2,456 x_1^2 + 0,084 x_2^2; \quad (4.4)$$

при  $V_{II} = 1,87 \text{ м/с}$  ( $x_3 = +1$ )

$$Y - 0,9 = 2,456 x_1^2 + 0,084 x_2^2. \quad (4.5)$$

З рівнянь (4.3, 4.4, 4.5) виходить, що серія кривих рівного виходу являє собою еліпси з одним центром, що характеризує координати (у розкодованій формі):

при  $\omega_k = 13,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$ ;  $v = 234 \text{ мм}$ ;  $V_{II} = 1,0 \text{ м/с}$ ;

при  $\omega_k = 10,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$ ;  $v = 224 \text{ мм}$ ;  $V_{II} = 1,25 \text{ м/с}$ ;

при  $\omega_k = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$ ;  $v = 204 \text{ мм}$ ;  $V_{II} = 1,87 \text{ м/с}$ .

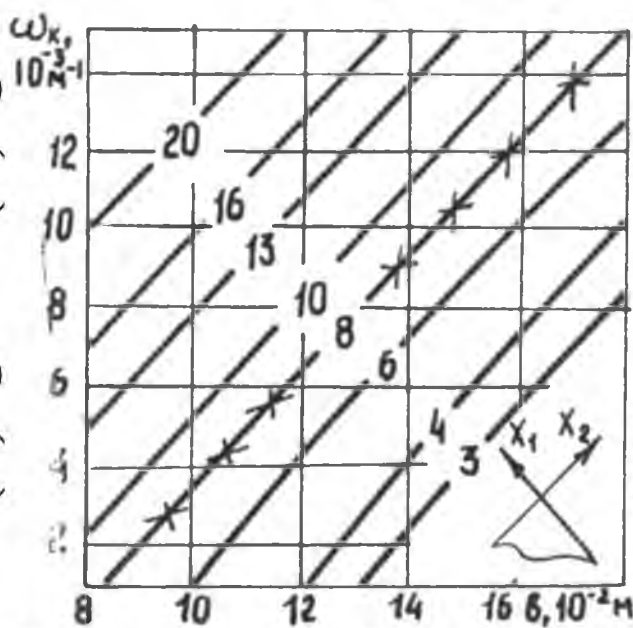
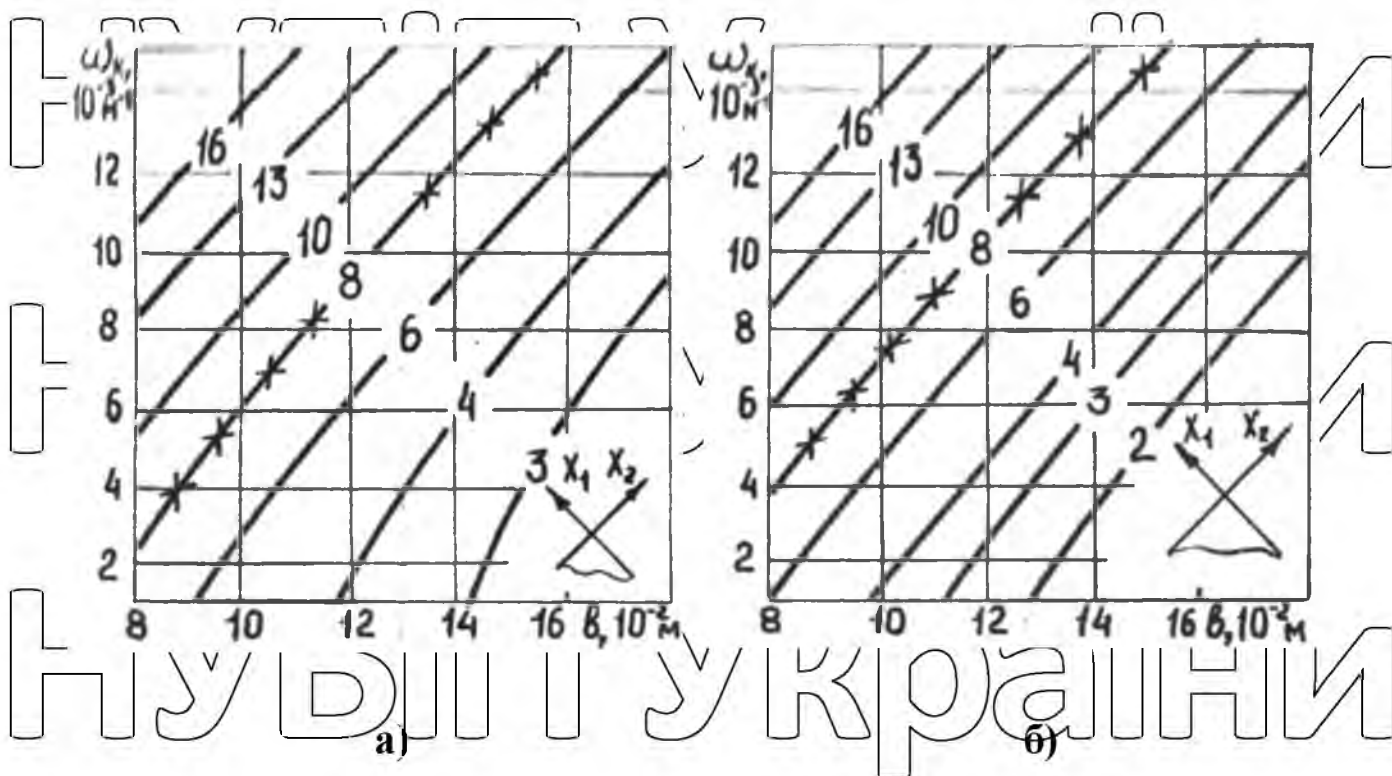


Рисунок 4.8 – Двомірні перетини поверхні відгуку ступеня пошкодження

рослин  $K_D$  від  $\omega_k$  і  $\delta$  при поступальній швидкості руху: а)  $V_{\Pi} = 1,0$  м/с; б)  $V_{\Pi} =$

$1,25$  м/с; в)  $V_{\Pi} = 1,87$  м/с (ГОМЗ-6Л + УКРН-5,4В + орієнтатор)

Аналізуючи фігури двомірних розтинів поверхні відгуку бачимо, що центр плану з мінімальним значенням функції відгуку поза межами варіювання. Однак ця точка не представляє практичного інтересу так, як у виробничих умовах робота агрегатів зі стандартною захисною зоною (150 мм і більше) вирішена.

Накладаємо на фігури двомірних розтинів обмеження агротехнічних допусків по ушкодженню рослин (рис. 4.8).

### в) Дослідження режимів роботи УКРП-5,4В.

Матриця планування й значення критерію оптимізації, отримані в результаті реалізації ПФЕ-2<sup>3</sup>.

Обробка експериментальних даних дозволила одержати адекватні рівняння регресії в кодованій (4.6) і натуральній (4.7) формах.

$$Y = 8.62 + 6.108x_1 - 10.4x_2 + 1.99x_3 - 4.1x_1x_2 + 1.32x_1x_3 - 1.55x_2x_3 + 1.47x_1^2 + 3.7x_2^2; \quad (4.6)$$

$$K_N = 44.91 + 2.12\omega_k - 611.31v + 8.25V_{II} - 17.2\omega_k v + 0.368\omega_k V_{II} - 61.246V_{II}^2 + 0.043\omega_k^2 + 2201v^2, \quad (4.7)$$

Розкодування моделі (4.6) проводилося при тих же значеннях  $x_1, x_2, x_3$ , що моделі (4.1).

Поверхня відгуку ступеня пошкодження рослин показано на рисунку 4.9.

В стандартній канонічній формі рівняння має вигляд при швидкості руху агрегату  $V_{II} = 1,0 \text{ м/с}$  ( $x_3 = -0,406$ );

$$Y - 1,34 = 0,25 x_1^2 + 4,92 x_2^2; \quad (4.8)$$

при  $V_{II} = 1,25 \text{ м/с}$  ( $x_3 = 0$ );

$$Y - 1,22 = 0,25 x_1^2 + 4,92 x_2^2; \quad (4.9)$$

при  $V_{II} = 1,87 \text{ м/с}$  ( $x_3 = +1$ );

$$Y - 0,48 = 0,25 x_1^2 + 4,92 x_2^2. \quad (4.10)$$

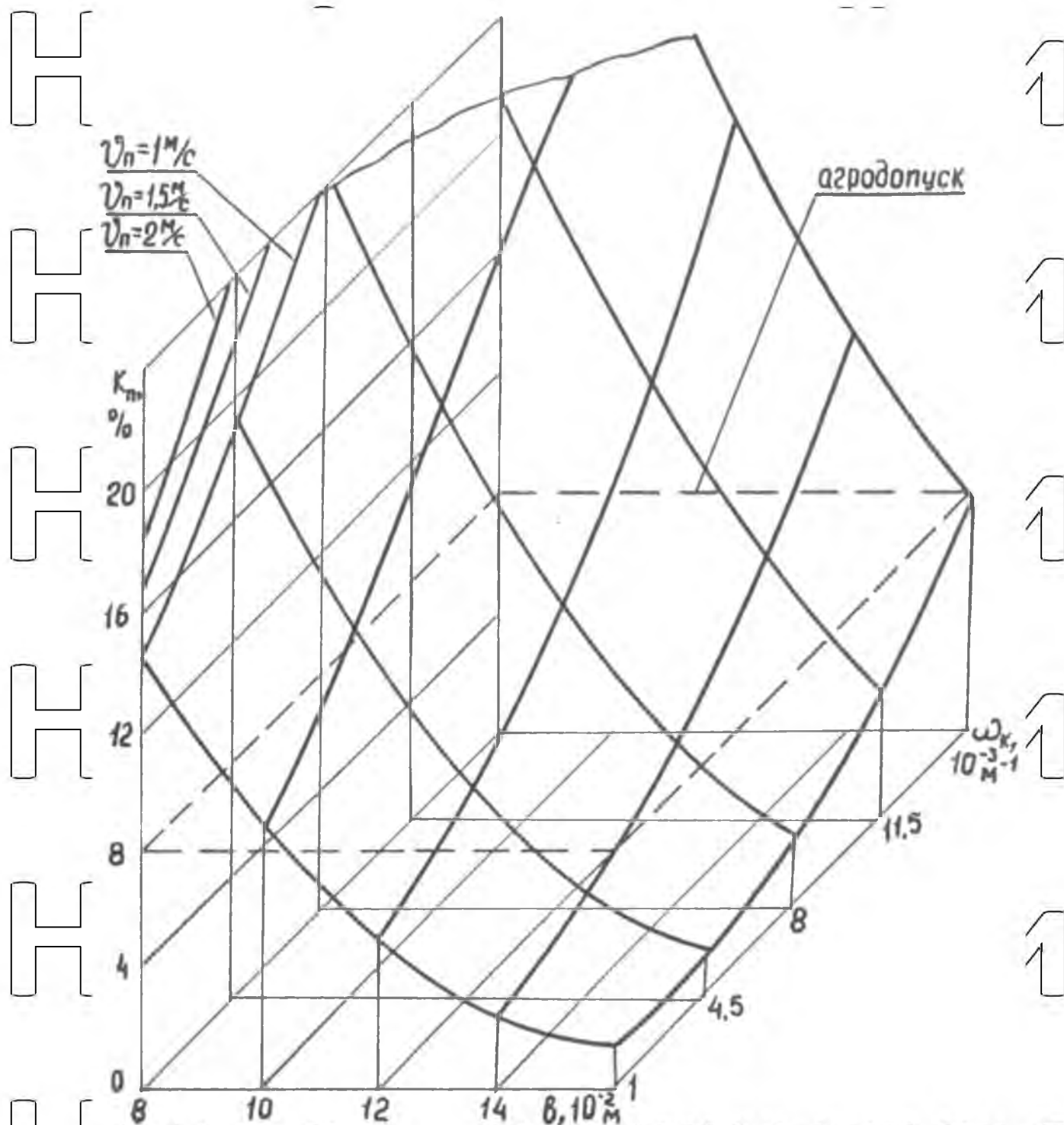
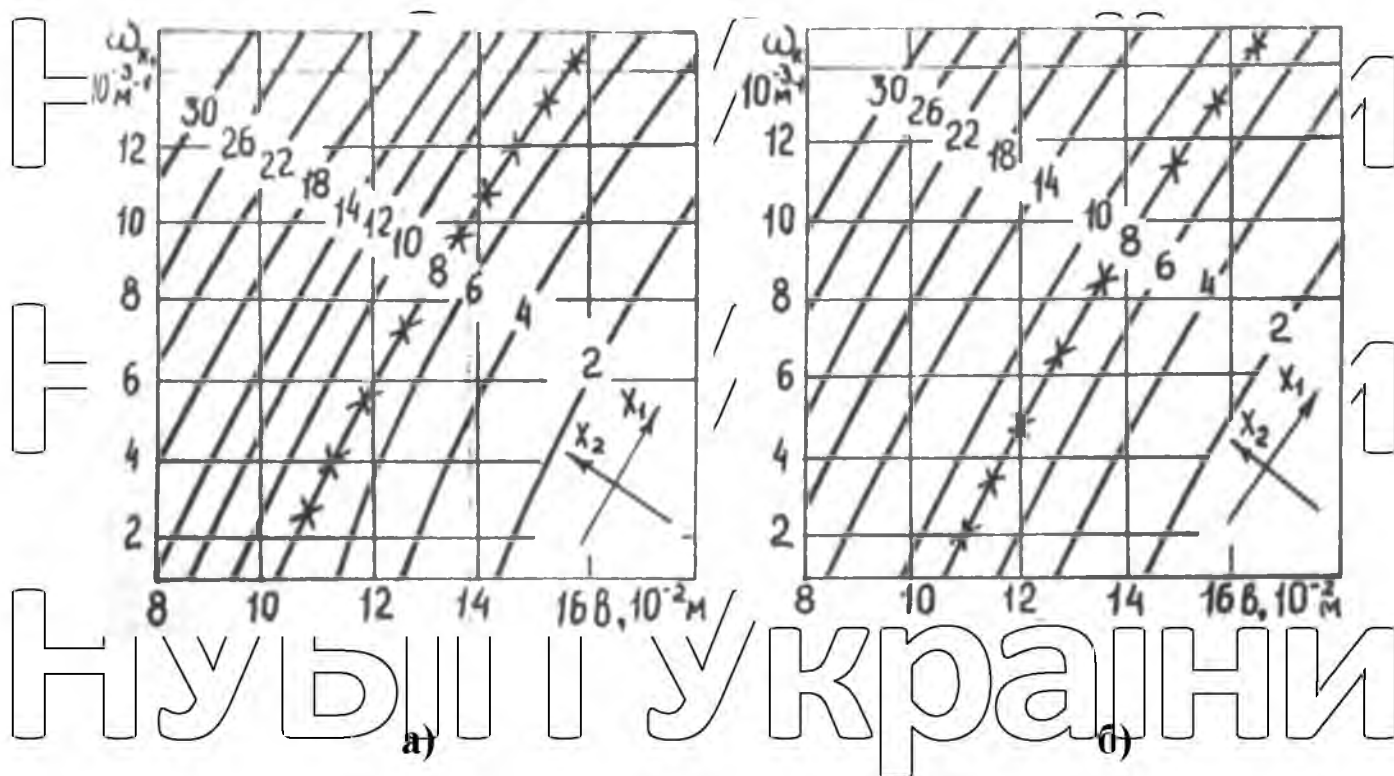


Рисунок 4.9 – Поверхня відгуку ступеня пошкодження рослин цукрових буряків

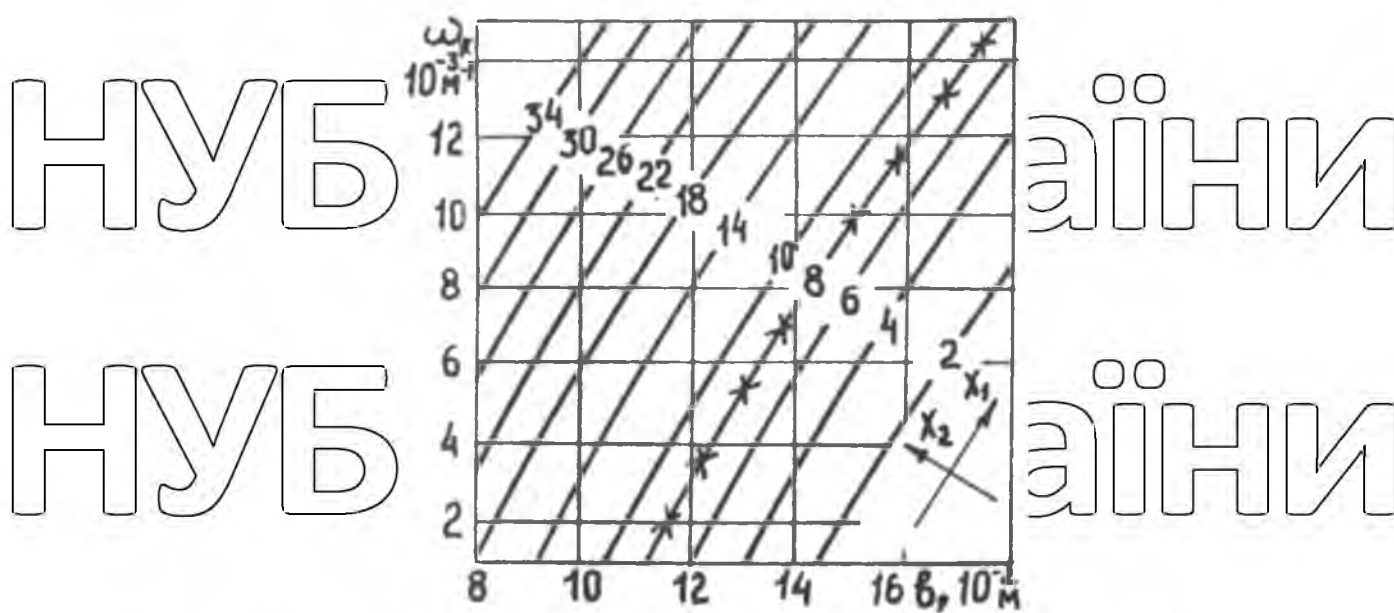
$K_n$  від  $\omega_k$  і  $v$  при поступальній швидкості руху  $V_n$  (ЮМЗ-6Л + УКРП-5,4В)

НУБІП України



а)

б)



в)

Рисунок 4.10 – Двовірні перетини поверхні відгуку ступеня пошкодження

рослин  $K_{II}$  від  $\omega_k$  і  $B$  при поступальній швидкості руху: а)  $V_{II} = 1,0$  м/с; б)  $V_{II} =$

$1,22$  м/с, в)  $V_{II} = 1,87$  м/с (ЮМЗ-6Д + УКРН-5,4В)

З рівнянь (4.8, 4.9, 4.10) видно, що серія кривих рівного виходу (ізоліній) являє собою еліпси з єдиним центром, розташованим поза областю експерименту (рис. 4.10). Так, як нас цікавлять мінімальні захисні зони, накладасмо обмеження агротехнічних допусків по ушкодженню рослин 8% на двомірні розтини.

Таблиця 4.1 - Оптимальні значення величини установочної захисної зони

Швидкість руху, м/с	Інтенсивність зміни кривизни рядків, $10^{-3} \text{ м}^{-1}$	Величина установочної захисної зони, $10^2 \text{ м}$	
		ЮМЗ-6Л + УКРП-5,4В	ЮМЗ-6Л + УКРП-5,4В + орієнтатор
0,8	2	10,4	7,4
	4	11,1	8,6
	6	11,8	9,8
	8	12,6	11,1
	10	13,4	12,3
	12	14,2	13,6
	14	15,0	15,0
1,0	2	10,6	7,7
	4	11,3	8,9
	6	12,1	10,1
	8	12,9	11,4
	10	13,7	12,7
	12	14,5	14,0
	14	15,4	15,4
1,2	2	10,8	8,0
	4	11,6	9,2
	6	12,3	10,5
	8	13,1	11,8
	10	14,0	13,1
	12	14,8	14,4
	14	15,7	15,8

Продовження таблиці 4.1

Швидкість руху, м/с	Інтенсивність зміни кривизни рядків, $10^{-3} \text{ м}^{-1}$	Величина установочної захисної зони, $10^2 \text{ м}$	
		ЮМЗ-6Л + УКРП-5,4В	ЮМЗ-6Л + УКРП-5,4В + орієнтатор
1,4	2	11,0	8,2
	4	11,8	9,5
	6	12,6	10,8
	8	13,4	12,1
	10	14,2	13,4
1,6	12	15,1	14,8
	14	16,0	16,2
	2	11,2	8,5
	4	12,0	9,8
	6	12,8	11,1
1,8	8	13,6	12,4
	10	14,5	13,8
	12	15,4	15,2
	14	16,3	16,6
	2	11,4	8,7
1,8	4	12,2	10,0
	6	13,0	11,4
	8	13,8	12,7
	10	14,7	14,1
	12	15,7	15,5
1,8	14	16,6	17,0

Як видно з результатів реалізації трьохфакторних експериментів оптимальні експлуатаційні режими просанних культиваторів можна вибирати не фігурах двомірних розтинів із заданим нижнім рівнем пошкоджуваності рослин пшкорових буряків. Це дозволило рекомендувати вибір величин установочної захисної зони залежно від інтенсивності зміни кривизни рядків з певним режимом роботи при пошкодженні рослин до 8% (табл. 4.1).

## РОЗДІЛ 5 ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА І ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

# НУБІП УКРАЇНИ

### 5.1 Результати порівняльної виробничої перевірки

Закладка варіантів для порівняльної виробничої перевірки просапних культиваторів на обробітку ґрунту в захисних зонах рядків цукрових буряків здійснювалася в загальних масивах посівів при трикратній повторності дослідів з дотриманням інтенсивної технології оброблення. Загальна площа посівів на досліді склала 1,0 га. Довжина гонів 440 м.

Варіанти дослідів по виробничій перевірці орієнтаторів:

- а) Обробіток ґрунту в зонах рядків культиваторів УКРП-5,4В з орієнтатором при агрегуванні із трактором ЮМЗ-6Л. Механічні орієнтатори встановлені в 3 і 9 міжрядях. Обмежувальні розтяжки задньої навіски трактора відпущені, поздовжні тяги встановлені на внутрішні пальці автоматичної зчіпки,
- б) Обробіток ґрунту в зонах рядків культиватором УКРП-5,4В при агрегуванні із трактором ЮМЗ-6Л. Установка кінців поздовжніх тяг заднього навішення трактора на зовнішні пальці автоматичної зчіпки. Обмежувальні розтяжки затягнуті.

Під час проведення виробничої перевірки відрацьовувалася методика технологічного налагодження орієнтаторів і методика вибору установчої захисної зони на культиваторах. Налаштовані перед роботою по розглянутих вище методиках культиватори обробляли ґрунт у захисних зонах рядків із припустимим пошкодженням рослин цукрових буряків.

Отримані при цьому порівняльні показники роботи просапних культиваторів наведені в таблиці 5.1.

У результаті виробничої перевірки встановлено, що застосування технологічного процесу при обробітку захисних зон рослин культиватором

УКРП-5,4В обладнаним орієнтатором на 10 % збільшує ступінь обробітку площі міжрядь у порівнянні із УКРП-5,4В, який не обладнаний орієнтатором. При цьому, ступінь знищення бур'янів в 200 мм зоні рядка збільшувалася в 1,3 раза. Витрати ручної праці на розпушування ґрунту й видалення бур'янів, також скоротилися в 1,4 рази.

Таблиця 5.1

Результати порівняльної виробничої перевірки просяпних культиваторів

Показники	Склад агрегату	
	УКРП-5,4Б	УКРП-5,4Б +орієнтатор
Поступальна швидкість, м/с	1,41	1,74
Глибина обробітку:		
- середнє значення, мм	38	34
- середнє квадратичне відхилення, мм	6,7	7,1
- коефіцієнт варіації, %	17,6	20,9
Величина установної захисної зони, мм	161	122
Величина технологічної захисної зони, мм	156	117
Ступінь обробітку міжрядь, %	62,3	74
Коефіцієнт використання часу зміни	0,72	0,72
Затрати праці, люд. год.	118,51	74,31

## 5.2 Техніко-економічне обґрунтування застосування культиватора

Розрахунок економічної ефективності застосування УКРП-5,4В обладнаного механічними орієнтаторами в порівнянні з УКРП-5,4В визначалася

до загальноприйнятих методик „Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки спеціалізованих машин”. Отримані результати представлені в таблиці 5.2.

Техніко-економічна ефективність застосування культиватора УКРП-5,4В + орієнтатор визначалася в порівнянні з УКРП-5,4В. Початковими даними для розрахунку є нормативні матеріали і дані результатів порівняльної виробничої перевірки просапних культиваторів.

Річний економічний ефект від експлуатації розробленого культиватора, з урахуванням якості виконання процесу, визначався за формулою:

$$E_p = \frac{\Pi_b - \Pi_n}{B_z + Y} \quad (1)$$

де  $\Pi_b, \Pi_n$  - суми приведених витрат відповідно по базовій і новій машині, грн./га;  
 $Y$  - економічний ефект від зміни якості виконуваного технологічного процесу, грн.;

$B_z$  - зональне річне напруження просапного культиватора, га.

Економічний ефект  $Y$  від зміни якості виконуваного технологічного процесу був отриманий за рахунок зменшення витрат праці і визначався за формулою:

$$Y = (Z_b - Z_n) Z \cdot B_p \quad (2)$$

де  $Z_b, Z_n$  - затрати ручної праці на догляді за посівами цукрових буряків при виробничій перевірці базової і нової машин, люд.год.;

$Z$  - заробітна плата працівника, що виконує ручний обробіток посівів, грн./люд.год.;

$B_p$  - річний об'єм роботи на догляді за посівами цукрового буряка, що доводиться на один робочий в господарстві, га.

На догляді за посівами цукрових буряків при використанні культиваторів відповідно склали: УКРП-5,4В з орієнтатором 74,31 люд.год./га; УКРП-5,4В - 118,51 люд.год./га.

Річний об'єм ручних робіт на одну людину в господарстві складає 5,2 га.

Підставивши у формулу (2) приведені вище дані отримаємо економічний ефект від зниження затрат праці на обробіток захисних зон УКРП-5,4В з орієнтатором в порівнянні із застосуванням культиватора УКРП-5,4В.

$$Y = (118,5 - 74,31) \cdot 45 \cdot 5,2 = 10340,46 \text{ грн.}$$

де  $W_n$  - продуктивність машини за 1 год. експлуатаційного часу, га/год.;  
( $T_s$  - нормативне зональне завантаження машини, год.)

$$B_s = 2,44 \cdot 120 = 292,8 \text{ га}$$

Таким чином, загальний річний економічний ефект, розрахований за формулою (1), від впровадження технологічного процесу обробітку захисної зони рядків і застосування УКРП-5,4В з орієнтатором

$$E_p = (14,0 - 11,38) \cdot 292,8 + 10340,46 = 11107,6 \text{ грн/га}$$

Річний економічний ефект становить:

$$E_{\partial} = E'_{\partial} \cdot W_s \cdot T_p, \quad (4.19)$$

де  $T_p$  - сезонне напрацювання машини, га.

$$E_{\partial} = 11107,6 \cdot 1,1 \cdot 300 = \text{грн.}$$

Ступінь зниження затрат ручної праці визначається за формулою:

$$C = \frac{3_6 - 3_m}{3_6} 100\% \quad (4)$$

Звідси ступінь зниження затрат праці на догляді за посівами цукрових буряків в порівнянні із застосуванням УКРП-5,4В

$$C = \frac{118,51 - 74,31}{118,51} \cdot 100 = 24\%.$$

Таблиця 5.2

Показники економічної ефективності застосування механічних орієнтаторів

№ з/п	Назва показників	Значення показників	
		УКРП-5,4В	УКРП-5,4В + орієнтатор
1	Продуктивність за годину змінного часу, га/год.	1,97	2,44
2	Питомі експлуатаційні витрати, грн./га	12,18	9,90
3	Питомі капітальні вкладення, грн./га	5,45	6,56
4	Питомі приведені витрати, грн./га	14,00	11,38
5	Ступінь зниження затрат праці, %	-	24
6	Річний економічний ефект, грн./га	-	11107,6
7	Термін окупності, років	-	0,18

**ВИСНОВКИ**

1. Застосовувані в цей час просапні агрегати на догляді за посівами цукрових буряків в початковий період вегетації обробляють не більше 65 % площі міжрядь, що вимагає 70...160 люд. год. на 1 га ручної праці на обробіток площі, що залишилася, і видалення бур'янів у захисних зонах рядків.

2. Розроблено технологічний процес обробітку захисних зон рядків робочими органами культиватора, з використанням механічного орієнтування по напрямних щілинах, що забезпечують розпушування ґрунту на мінімально безпечній відстані (60...80 мм) до рослини, що дозволяє в цілому довести обробіток ґрунту міжрядь до 75...80 % і знищити 60...75 % бур'янів.

3. Отримано аналітичні залежності на підставі яких розроблена методика технологічного налагодження орієнтаторів, що включає вибір мінімально і максимально допустимої глибини ходу дискового копіра залежно від типу енергетичного засобу, інтенсивності зміни кривизни рядка, параметрів щілини, конструктивних параметрів орієнтатора та робочих органів культиватора, твердості ґрунту в оброблюваному шарі і у зоні контакту з копіювальним елементом.

4. Визначено оптимальні режими роботи культиватора за критерієм допустимої межі пошкодження рослин. Так, при інтенсивності зміни кривизни рядків можлива робота культиватора при швидкісному режимі не більше 1,5 м/с із установчою захисною зоною в межах 100 мм. Робота культиватора з меншою установчою захисною зоною можлива на посівах з більше високою прямолінійністю рядків.

5. Впровадження розробленого технологічного процесу обробітку захисних зон рядків культиватором обладнаним механічним орієнтатором, за результатами виробничої перевірки, дозволило знизити затрати ручної праці на 24 %, та одержати річний економічний ефект 11107 грн. 60 коп. на один гектар.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Волоха М.П. Розробка технологічного комплексу машин для виробництва цукрових буряків з комбінованою шириною мікрядь / М.П. Волоха, В.М. Балан // Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків: зб. наук.праць. - К.: ФОРМ Корзун Д.Ю., 2014. – Вип. 22. – С. 149–157.
2. Барабаш П. Особливості обґрунтування режимів роботи машинних агрегатів з використанням сучасних енергетичних засобів / П. Барабаш, В. Зубко, О. Барабаш, Т. Щур // Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. – Львів: ЛНАУ, 2013. № 17. – С. 110 – 116.
3. Хелемендик М.М. Напрями і методи розробки робочих органів сільськогосподарських машин. – К.: Аграрна наука, 2001. – 280 с.
4. Попович П. Коррозия машиностроительных сталей в средах органических удобрений / П. Попович, О. Цень, Т. Довбуш и др. // Motrol. Commission of Motorization and energetics in agriculture. – 2014. – Vol. 16, No 4. – P. 219–225.
5. Попович П.В. Оцінка залишкової довговічності с/г машин / П.В. Попович, С.П. Сікорський, О.П. Цюнь // Перша науково-технічна конференція ФХВ ТНТУ ім. Івана Пулюя. – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2011. – С. 15.
6. Рибак Т.І. Моделювання міцності елементів металоконструкцій с/г машин при стендових випробуваннях / Т.І. Рибак, П.В. Попович, Н.І. Хомик, О.П. Цюнь // Вісник Харківського національного технічного університету сільськогосподарства імені Петра Василенка. – Харків, 2012. – Вип. №122. – С. 198 – 203.
7. Рибак Т.І. Оцінка фактичної міцності та ресурсу критичних елементів основних несучих конструкцій с/г машин / Т.І. Рибак, П.В. Попович, А.Б. Дутка, О.П. Цюнь // Вісник Харківського національного технічного університету сільськогосподарства імені Петра Василенка. Міжнародна науково-практична конференція “Проблеми надійності машин і засобів механізації с/г виробництва.” – Харків, 2012. – Вип. № 128. – С. 24 – 28.
8. Рибак Т.І. Підвищення надійності сільськогосподарських машин. Том 4. / Т.І. Рибак. – Тернопіль: ТНТУ, 2012. – 279 с.

9. Волоха, М.П. Принципи моделювання технологічних процесів виробництва цукрових буряків // М.П.Волоха /// Проблеми екологічної біотехнології. Електронний науковий журнал Національного авіаційного університету. – К.: НАУ, 2013. – № 2. Режим доступу:

<<http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/5503/6215>>

10. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1: навчальний посібник / Кветний Р. Н., Богач І. В., Бойко О. Р., Софіна О. Ю., Шушура О.М.; за заг. ред. Р.Н. Кветного. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 193 с.

11. Сысолин П.В. Почвообрабатывающие и посевные машины : история, машиностроение, конструирование / П.В. Сысолин, Л.В. Попорельный. – К.: «Феникс», 2005. – 264 с.

12. Томашевский В.Н., Жданова Е.Г. Имитационное моделирование в среде GPSS. – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с.

13. Хелемендик М.М. Цукрові буряки на заході країни: Монографія / М.М. Хелемендик, С.В. Петренко, В.П. Дмитрук. – Луцьк: Надтиря, 2001. – 163с.

14. Войтюк П.О., Костенко К.М. Основний обробіток ґрунту, його вплив на продуктивність цукрових буряків. // Агроком. – 2008. – №1. – С. 68–69.

15. Кирилюк В.П. Вплив систем основного обробітку ґрунту та удобрення на продуктивність цукрових буряків // Цукрові буряки. – 2008. – №3–4. – С. 31–16.

Хелемендик М.М. Напрями і методи розробки робочих органів сільськогосподарських машин. – К.: Аграрна наука, 2001. – 280 с.

17. Корчанова Ю.О., Петренко О.О. Історія техніки землеробства: Словник-довідник / М-во агр. політ. України, Луганськ. нац. агр. ун-т. – Луганськ, 2005. – С. 369-371.

18. Волоха М. П., Дорошенко Ю. О. Використання поняття «різальний периметр» у формотворенні робочої поверхні розпушувача ґрунту. Обуховські читання: XV Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 10 березня 2020 року: тези доповідей. – К., 2020. С. 56–57.