

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.01 – КМР. 189"С" 2021.02.01. 035 ПЗ

КЕРЕЧЕНКО ЄВГЕНА ВОЛОДИМИРОВИЧА

2021

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.01 – КМР. 189"С" 2021.02.01. 035 ПЗ

КЕРЕЧЕНКО ЄВГЕНА ВОЛОДИМИРОВИЧА

2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Механіко-технологічний факультет

НУБІП України

УДК 636.353:31

ПОГОДЖЕНО ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Декан механіко-технологічного факультету Завідувач кафедри
Сільськогосподарських машин
та системотехніки ім акад. П.М.

Василенка

(назва кафедри)

В. Братішко Гуменик Ю.О.
(підпис) (ПБ)
“ ” 2021 р. “ ” 2021 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Дослідження технологічних та конструктивних параметрів
проріджувача цукрових буряків

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітня програма: «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми:
Доктор технічних наук, с.н.с. В.В. Братішко
(підпис)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:
Д.с.-г.н., професор Теслюк В.В.
(науковий ступінь та вчене звання) (ПБ)
Виконав Кереченко С.В.
(підпис) (ПБ студента)

КМІВ 2021

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

УДК 636.353:31

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

Кереченко Євген Володимирович

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Програма підготовки освітньо-професійна

Тема магістерської роботи: «Дослідження технологічних та конструктивних
параметрів проріджувача 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 документація, стан механізації виробничого процесу
проріджування цукрових буряків.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз стану питання.
2. Обґрунтування основних параметрів автоматичного проріджувача ПСА-2.7.
3. Експериментальні дослідження та їх результати.
4. Розрахунок показників економічної ефективності.

Дата видачі завдання «10» лютого 2021 р.

Керівник магістерської роботи

Завдання прийняв до виконання

Теслюк В.В.

Кереченко Є.В.

РЕФЕРАТ

НУБІП України

Тема магістерської роботи «Дослідження технологічних та конструктивних параметрів проріджувача цукрових буряків».

Магістерська робота складається із вступу, 4 розділів розрахунково-пояснювальної записки, загальних висновків, списку використаних джерел з 17 назв і 10 аркушів графічної частини. Основний зміст магістерської роботи викладений на 80 сторінках машинописного тексту, містить 19 рисунків і 6 таблиць.

У першому розділі подано загальні агротехнічні вимоги до проріджування цукрового буряка; проаналізовано типи та конструкції машин і знарядь, які застосовують для проріджування цукрового буряка; наведено опис об'єкту розробки (будова, принцип дії та особливості конструкції автоматичного проріджувача сходів цукрового буряка ПСА-2.7), обґрунтовано вибір робочого органу.

У другому розділі обґрунтовано конструктивні та технологічні параметри проріджувача, розраховано оптимальні кінематичні параметри проріджувача; проведено силовий аналіз режиму різання лезом ножа проріджувача; розраховано зусилля, що діють на елементи проріджувача.

У третьому розділі наведено математичні методи планування та проведення експериментальних досліджень.

У четвертому розділі визначено економічну ефективність та термін окупності інженерних рішень.

Ключові слова: Цукрові буряки, проріджувач, бур'яни, дослідження, секція, робочі органи, продуктивність, ефективність.

НУБІП України

НУБІП України

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І

ТЕРМІНІВ 6

ВСТУП.....

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ..... 8

1.1 Характеристика умов вирощування цукрового буряка 8

1.2. Аналіз конструкцій проріджувачів цукрових буряків 18

1.3. Обґрунтування вибору робочого органу 27

1.4. Висновки до розділу 32

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ

АВТОМАТИЧНОГО ПРОРІДЖУВАЧА ПСА-2.7 33

2.1. Вибір способу та схеми проріджування 33

2.2. Обґрунтування кінематичних параметрів проріджувача 41

2.3. Силовий аналіз режиму різання лезом ножа проріджувача 47

2.4. Розрахунок ланки паралелограмної підвіски 60

2.5. Висновки до розділу 64

РОЗДІЛ 3 Експериментальні дослідження та їх результати 65

3.1. Планування експериментальних досліджень проріджувача 65

3.2 Кодування факторів рівнозначно переносу початку координат в точку ... 70

РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ 75

4.1. Визначення витрат, пов'язаних з удосконаленням виробу 75

4.2. Визначення техніко-економічних показників 76

4.3. Висновки до розділу 81

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 82

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 83

НУБІП України

НУБІП України

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

ПСА-2,7 - проріджувач буряковий автоматичний.

НУБІП України

САПР - системи автоматизованого проектування.
ВВП - вал відбору потужності.
ККД - коефіцієнт корисної дії.

ПФЕ - повний факторний експеримент.

НУБІП України

ДФЕ - дробовий факторний експеримент.
ЄСКД - єдина система конструкторської документації.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Метою магістерської роботи є підвищення технологічної ефективності формування густоти рослин цукрових буряків шляхом розробки та обґрунтування параметрів автоматичного проріджувача.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні задачі:

1. Розробити конструктивно-технологічну схему автоматичного проріджувача цукрових буряків.

2. Визначити основні конструктивно-кінематичні параметри удосконаленого робочого органу на основі технологічного процесу роботи проріджувача.

3. Визначити економічну ефективність використання удосконаленого робочого органу.

Для досягнення поставленої мети та реалізації поставлених задач дослідження нами розроблено удосконалений робочий орган, який реалізовано шляхом об'єднання двох суміжних секцій проріджувача в одну.

Об'єкт дослідження: технологічний процес проріджування сходів, робочі органи проріджувача.

Предмет дослідження: технологічні та конструктивно-кінематичні параметри проріджувача.

Методи дослідження: теоретичні дослідження базувались на механіко-математичному моделюванні технологічного процесу прорідження рослин із використанням основних положень вищої математики, теоретичної механіки, теорії машин і механізмів.

Новизна магістерської роботи полягає в наступному:

- обґрунтовано технологічний процес прорідження сходів цукрових буряків шляхом об'єднання суміжних секцій проріджувача;
- запропоновано удосконалену конструкцію автоматичного проріджувача;

НУБІП України

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Характеристика умов вирощування цукрового буряка

Вирощування цукрового буряка є одним з найбільш трудомістких та енергомістких процесів у сільському господарстві. Враховуючи те, що Україна належить до найбільших бурякозайнятих країн Європи і цукор є одним з її стратегічних продуктів, а також у зв'язку з переходом на різні форми власності господарювання, аграрній промисловості необхідно у стислі строки налагодити виробництво цукрового буряка за інтенсивною технологією.

Технологія догляду за посівами містить операції боронування до і після появи сходів, проріджування сходів, поздовжню і поперечну культивування, підгортання, нарізку поливних борозен, внесення добрив і т.д. При індустріальній технології обробітки просапних культур операції по обробці ґрунту скорочують до мінімуму, а бур'яни, шкідників і збудників хвороб рослин знищують обприскуванням посівів гербіцидами та іншими отрутохімікатами.

Необхідну густину насаджень забезпечують поперечним боронуванням в два-три проходи або букетуванням поперечним проріджуванням сходів цукрового буряка культиватором чи спеціалізованими агрегатами.

На бурякових полях, чистих від бур'янів, густину насаджень формують за допомогою вздовж рядкових проріджувачів. Необхідну густину насаджень одержують відповідною розстановкою ножів.

Густина посівів цукрових буряків змінюється по зонах залежно від забезпеченості вологою та родючості ґрунту. Так, у зоні достатнього зволоження вона повинна бути більшою порівняно із зонами, де зволоження недостатнє. При внесенні підвищених норм органічних і мінеральних добрив густину посівів доцільно дещо збільшувати, щоб не знижувалась цукристість коренеплодів, її треба збільшувати також у міру просування з південних до північних і північно-

східних районів, де тривалість вегетаційного періоду скорочується на 30–40 днів. Збільшувати густину посівів рекомендується при пізніших строках сівби, а також при пересіваннях. Встановлено, що максимальна урожайність з високими

технологічними якостями сировини забезпечується при такій оптимальній кількості рослин на 1 га в період збирання: у зоні достатнього зволоження – 90...100 тис, нестійкого – 85...90, недостатнього зволоження, а також на зрошуваних землях при ширині міжрядь 60 см і поливі по борознах – 80...85, а при ширині міжрядь 45 см та поливі дощуванням – близько 100 тис, рослин. На

період завершення перевірки густини посівів рослин на 1 га залишають на 25...30 % більше [11].

Розміщення рослин буряків у рядку вважається оптимальним, якщо близько 70 % їх знаходяться на відстані 10...30 см. Відомо, що необхідної

густини посівів цукрових буряків можна досягти двома способами: сівбою на кінцеву густину без проріджування і механізованим проріджуванням дещо загущених посівів. Застосування того чи іншого способу формування густини насадження визначає рівень затрат ручної праці. Якщо у першому випадку ручна праця може застосовуватись тільки на видаленні бур'янів із зони рядка, то в другому – як на знищенні бур'янів, так і на видаленні зайвих рослин буряків. В

середньому, по бурякоєйних господарствах країни, затрати ручної праці на формуванні густини посівів з випольованням бур'янів становлять 80–160 люд. год./га, або 45–55 % всіх затрат на виробництво цукрових буряків.

Правильне застосування механізмів на формуванні густини посівів дозволяє скоротити затрати праці на цій операції до 20...30 люд. год./га.

Після проріджування фактична кількість рослин в рядку на 1 м не повинна відхилитися від заданої більш ніж на 3, кількість букетів з числом рослин, що перевищує розрахункове, повинна бути не більше 25 %, засипаних рослин – не більше 10 %.

Основні агротехнічні вимоги щодо виконання технологічної операції проріджування сходів цукрових буряків наведено у табл. 1.1 [11].

Таблиця 1.1

Агротехнічні вимоги до проріджування сходів цукрових буряків

Показник	Норма	Допуск
Початок проведення роботи	Рослини буряків знаходяться у фазі добре розвинутої вилючки	Фаза третьої пари справжніх листків у рослин буряків
Тривалість роботи, дні	5	+ 6
Кількість рослин на 1 м довжини рядка, шт.:		
- до проріджування	Не менше 8	
- для механічних проріджувачів	8	+ 6
- для автоматичних проріджувачів після проріджування автоматичними проріджувачами або після ручного коригування при застосуванні механічних машин чи знарядь	6	+ 4 ±0,5
Довжина непрорізаних відрізків рядка, %	5	±3
Глибина ходу робочих органів, см	2,5	±1
Присинання рослин буряків	Не допускається	
Швидкість руху, км/год:		
- механічного проріджувача	7	+ 1
- автоматичного проріджувача і	5	+ 1
- культиватора	3	+ 1
- зубових борін		
Спосіб руху агрегату:		
- механічного і автоматичного проріджувача	Човниковий вздовж рядків	
- культиватора	Впоперек рядків	
- зубових борін, град.	До напрямку рядків	
	+ 5	+25

Для забезпечення якісної роботи агрегатів з поля видаляють предмети, що можуть заважати роботі проріджувачів. При використанні культиваторів на полі встановлюють вішки з інтервалом 80...100 м перпендикулярно до напрямку рядків на відстані від краю обсіву, що дорівнює сумі половини ширини захвату агрегату та довжини стикового букета. При одночасній роботі двох агрегатів на одному полі вішки встановлюють посередині поля, а перший прохід виконують

з обома опущеними маркерами, спрямовуючи трактор осовою лінією на вішки. Якщо на кінцях гонів немає вільних виїздів, відмічають вішками також поворотні смуги, ширина яких дорівнює 3...4 захватам агрегату.

У разі застосування вздовж рядкових механічних або автоматичних проріджувачів знаходять і позначають вішками міжряддя для руху по ньому правого колеса або гусениці трактора при першому проході проріджувача. Якщо напрямки руху проріджувача і посівного агрегату збігаються, якість роботи підвищується [18].

Посіви цукрових буряків, відведені для автоматичного проріджування, утримують чистими від бур'янів. Поверхню ґрунту за 3...4 дні до проріджування старанно вирівнюють гладкими водоналивними котками. Виконують цю роботу в суху сонячну погоду, коли знизився тургор рослин і вони практично не пошкоджуються котками. Агрегати на прикочуванні посівів рухаються вздовж рядків або під кутом 5...10° до них із швидкістю 5...6 км/год. Густоту рослин і засміченість посівів бур'янами визначають так, як і для механічних проріджувачів. Висоту рослин визначають у п'яти місцях по діагоналі поля на довжині 2 м одночасно з визначенням густоти посівів і засміченості бур'янами.

Водночас візуально встановлюють твердість поверхневого шару ґрунту і стадію розвитку рослин. Отримані показники беруть за основу при технологічному регулюванні проріджувача.

Перед початком проріджування роблять пробний заїзд довжиною 20...30 м для остаточного регулювання машини на ширину вирізу і довжину букета, а також на задану глибину ходу робочих органів. При відхиленнях величини вирізу чи букета понад ± 2 см від заданих параметрів і $\pm 0,5$ см від необхідної глибини обробітку машину додатково регулюють. Довжину маркерів регулюють не менше як за три проходи агрегату: перший по лінії, позначеній вішками, а два наступних – по маркерних лініях. Якщо довжина стикового букета на 5 см більше від інших, виліт маркерів встановлено правильно. Маркерна борозна повинна бути чіткою, але не глибокою, щоб не присипати рослини буряків ґрунтом. На цих

же проходах визначають правильність вибору схеми проріджування: в 10 місцях по діагоналі прорідженої смуги на двометрових відрізках підраховують кількість рослин цукрових буряків, що залишилися на 1 м довжини рядка після проходу проріджувального агрегату. Якщо в середньому залишилось 6...6,5

непошкоджених рослин, схема проріджування вибрана правильно. При заїзді в рядки слідкують, щоб стикове міжряддя не потрапило в захват агрегату. Спосіб руху під час роботи – новниковий. Оскільки на агрегаті відсутній контроль за ножами, механізатору необхідно, періодично оглядаючись назад, перевірити стан поля.

При опущеному проріджувачі заборонено рухатись заднім ходом [18]. Агрегат спрямовують по маркерному сліду візирною лінією, нанесеною на капоті трактора, або візиром. При такому способі ведіння агрегату поліпшується прямолінійність і умови роботи механізатора.

Під час роботи стояки робочих органів повинні знаходитись у вертикальному положенні, а опорні котки культиватора – обертатись, що є ознакою заглиблення робочих органів на необхідну глибину. Повороти агрегату здійснюють після переведення його в транспортне положення.

Під час роботи культиватора або механічного проріджувача не допускають, щоб стикове міжряддя потрапило між робочі секції проріджувача. На другий день після механізованого проріджування сходів приступають (при необхідності) до видалення вручну зайвих рослин буряків і бур'янів із зони рядка. При цьому в букетах довжиною до 10 см залишають по одній рослині, а в довгих – по 2...3. Наявність 20 % букетів з двома рослинами істотно не знижує врожайності [11].

Здатність до проростання насіння цукрового буряка досить низька. Тому їх висівають пунктирним способом з деяким запасом (відстань між насінням 5...12 см, міжряддя 45 або 60 см). Після появи сходів зайві рослини прибирають.

При проріджуванні сходів цукрових буряків, як правило, застосовують наступні знаряддя чи машини: зубові борони, культиватори, механічні

проріджувачі та автоматичні проріджувачі [6, 11].

Формування густини посівів зубовими боронами З-ОР-0,7; ЗБП-0,6 і ЗБВСС-1,0 забезпечує зрідження посівів цукрових буряків на 10-25%. Важливо

під час проведення цієї операції не допустити присипання рослин землею, що

регулюють глибиною обробітку і швидкістю руху зубів борін: глибина ходу

зубів борони не повинна перевищувати 3 см, а швидкість агрегату 3...4 км/год.

При достатній початковій густоті сходів і високій забур'яненості посівів допускається кількаразове боронування.

Застосування культиваторів УСМК-5.4А і УСМК-5.4Б для проріджування

посівів цукрових буряків доцільне, якщо початкова густина становить 11 і більше

рослин на 1 м довжини рядка. Ефективною є схема поперечного букетування,

розрахована на розміщення двох рослин у букеті: 8,5+14 см. Заслужовує на увагу

поперечне букетування за схемами (з малими вирізами і малими букетами:

8,5+6,5; 8,5+9,5 см з поодиноким розміщенням рослин у букеті). Агрегат

рухається поперек рядків, залишаючи смуги шириною 15...20 см, які додатково

проріджують вручну. В цьому випадку багато рослин гине від коліс трактора і

потрібні більші витрати праці, ніж після роботи спеціальних проріджувачів [6,

28].

Спеціальні вздовж рядкові проріджувачі бувають двох типів: механічні УСМП-5,4 і УСМП-2,8 та автоматичні ПСА-2,7 і ПСА-5,4.

Механічний проріджувач УСМП-5,4 призначений для проріджування

сходів цукрових буряків з початковою густиною не менше 8 рослин на 1 м

довжини рядка та для розпушування ґрунту і знищення бур'янів у зоні рядка.

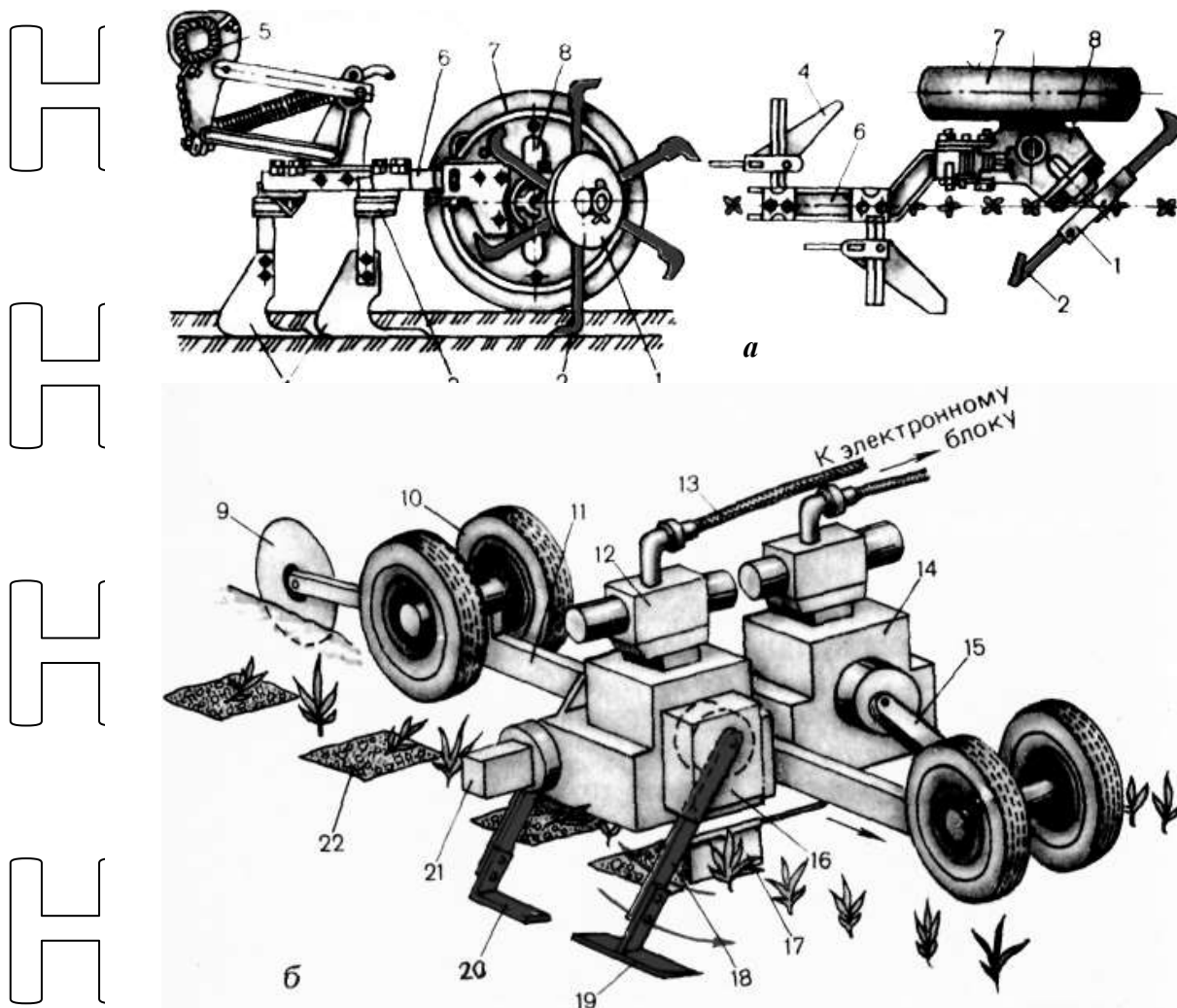


Рис. 1.1. Секції проріджувачів УСМП-5,4 (а) та ПСА-2,7 (б):

- 1 – ріжуча головка, 2, 19, 20 – ножі; 3 – тримач; 4 – односторонні лапи, 5 – брус-рама, 6 – грядиль; 7, 10 – колеса, 8 – корпус редуктора; 9 – диск-заземлювач; 11 – рамка; 12 – гідророзподільник, 13 – кабель; 14 – привід; 15, 18 – важелі; 16, 17 – датчики; 21 – брус; 22 – виріз

Проріджувач УСМП-5,4 містить 12 секцій, встановлених на рамі, яка складається з основного і допоміжного брусів і опирається на два опорно-ходові пневматичні колеса. Паралелограма підвіска проріджувачів із стабілізуючими пружинами сприяє надійному зчепленню привідних коліс з ґрунтом. До планок кожної секції прикріплений конічний редуктор 8. На його вхідний вал насаджено привідне колесо, а на вихідний – основний робочий орган проріджувача – ріжуча головка. Редуктор 8 прикріплений до планок гряділі 6 так,

що площина обертання головки знаходиться під кутом 40° до напрямку руху агрегату. На ріжучій головці можна встановлювати різне число ножів – 6, 8, 12 і 18 – поодиночі, попарно чи разом три, і одержувати довжину букета від 50 до 150 мм. Глибина їх ходу регулюється гвинтовим механізмом.

Проріджуючі секції встановлюють на рамі: по шість правих на лівій половині машини, а шість лівих – на правій. При цьому привідні колеса повинні розташовуватись зовні, а ріжучі головки – всередину.

Ножі механічного проріджувача (рис. 1.1, а) одержують обертотий рух від спеціальних пневматичних опорно-привідних коліс 7 секцій.

При русі проріджувача ріжучі головки 1, розташовані над рядками буряка, обертаються і ножами 2 вирізують частину рослин в рядку, утворюючи букети. Інтервали між букетами залежать від числа і розстановки ножів. Глибину ходу ножів в межах 3...4 см регулюють поворотом корпусу редуктора на осі опорного колеса [6].

Ширина захвата механічного проріджувача 5,4 або 2,8 м. Швидкість роботи становить 5–8 км/год. залежно від фази розвитку рослин буряків, присипання їх землею і прямолинійності рядків. Недоліком механічних проріджувачів є пропуски в роботі, що можуть досягти 12 % внаслідок непрямолинійності руху. Тому рекомендується обладнувати їх орієнтаторами.

Механічні знаряддя і машини не забезпечують рівномірного розміщення рослин у рядку, а інколи й знижують густоту посівів, що негативно позначається на урожайності [11].

Автоматичні проріджувачі моделюють на формуванні густоти посівів ручну працю, видаляючи рослини тільки на загущених ділянках рядка, за рахунок чого покращується рівномірність розміщення рослин вздовж рядка на 8–20 % і досягається необхідна густина посівів без затрат ручної праці та істотного зниження врожаю. Найбільш простими і надійними в експлуатації є автоматичні проріджувачі ПСА-2,7 та ПСА-5,4, призначені для формування заданої густини рослин цукрового буряка без затрат ручної праці [6, 11].

До бруса-рамі проріджувача ПСА-2,7 приєднані шість проріджуючих секцій. Секція (рис. 1.1, б) складається з рамки 11, опорних коліс 10, заземлюючого диска 9 і двох проріджуючих блоків, включаючи золотникові гідророзподільники 12, гідроприводи 14 з важелями 15 і 18, ножі 19 і 20, датчик 17 виявлення рослин і датчик 16 контролю за роботою ножів. На рамі проріджувача змонтований електронний блок, до якого підключені кабелями 13 проріджуючі блоки.

Ножі автоматичного проріджувача (рис. 1.1, б) приводяться в рух від гідродвигунів, що вмикаються електромагнітними золотниками. Команда на вмикання золотників поступає від електрообчислювального блоку, що використовує електричні імпульси двох датчиків: виявлення рослин і контролю за роботою ножів. Електричний ланцюг датчиків замикається через рослину і ґрунт; для цього кожна секція має спеціальну пластину (датчик) 17. Ніж 19 вирізує зайві рослини перед контрольною рослиною, виявленою датчиком 17. Задній ніж спушує ґрунт і видаляє зайві рослини позаду контрольного. Коли датчик торкається наступної рослини, віддаленої від першої на задану відстань, ножі рухаються у зворотному напрямку і виконують ту ж роботу.

Автоматичний проріджувач ПСА-5,4 має дванадцять проріджуючих секцій. Ширина його захвату 5,4 м. Після проріджування необхідна мінімальна ручна дообробка букетів.

Для успішної роботи автоматичних проріджувачів необхідно, щоб серед посівів не було бур'янів однакової з культурними рослинами висоти, а на поверхні ґрунту – грудочок, виступаючих більше ніж на 2 см.

Високоєфективна робота автоматичних проріджувачів можлива тільки за дотримання таких умов їх використання: початкова густина сходів 8–12 шт. на 1 м довжини рядка з інтервалами між рослинами не менше 5 см; фаза розвитку рослин буряків в період проріджування – 2–4 пари справжніх листків; відсутність бур'янів, що досягають висоти або вищі культурних рослин на період формування густоти посівів (кількість бур'янів у зоні проходу датчика не

повинна перевищувати 2...3 шт. на 1 м довжини рядка).

В міжрядях у напрямку руху копіюючого пристрою також не повинно бути грудок діаметром більше 30 мм, сторонніх предметів і западин або виступів вище

30 мм над поверхнею ґрунту в зоні ряду на ширині, рівній ширині захвату копіюючого пристрою. Вирівнювання мікрорельєфу ґрунту забезпечується

прикочуванням сходів за 1–2 дні перед проріджуванням, і застосуванням гербіцидів та інсектицидів для боротьби з бур'янами і шкідниками. При виконання вказаних умов та агротехнічних прийомів прогресивної технології

обробітку цукрового буряка, автоматичний проріджувач забезпечує формування

насаджень на кішцеву густину без застосування ручної праці.

Застосування автоматичних проріджувачів на посівах, де на 1 м довжини рядка менше 8 рослин, призводить до надмірного зрідження сходів. При

початковій густоті сходів понад 14 рослин на 1 м довжини рядка якість роботи

автоматичних проріджувачів знижується і суттєво не відрізняється від механічних.

Роботу проріджувачів прийнято оцінювати за показником зміни коефіцієнта варіації інтервалів між рослинами буряків, який визначають за формулою [11]:

$$K = \frac{V_{II} - V_{AI}}{V_{AI}} \cdot 100 \% \quad (1.1)$$

де V_{II} і V_{AI} – коефіцієнти варіації інтервалів між рослинами відповідно до і після проріджування.

Величина K може мати позитивне і негативне значення. Знак мінус свідчить про покращення рівномірності розміщення рослин. Чим вище

абсолютне значення показника при цьому знаку, тим рівномірніше розподілені сходи буряків після проріджування відносно початкового їх розміщення.

За оптимальних умов роботи автоматичними проріджувачами вида-

ляється 28...57% рослин буряків і забезпечується після проріджування в середньому 6...6,5 рослин на 1 м довжини рядка. Проте такий режим роботи може порушуватись, якщо в зону датчика потрапляють бур'яни або грудочки землі,

викликаючи спрацьовування різальних ножів. Різниця у видаленні рослин

залежно від фаз їх розвитку (2–3–4 пари справжніх листків) незначна, що дозволяє застосовувати автоматичні проріджувачі для формування густоти посівів протягом 12...15 днів без негативного впливу на урожайність.

Пошкодження рослин буряків автоматичними проріджувачами знаходиться в межах 7...27%. Порівняльна оцінка різних способів формування густоти насад-

ження показує, що врожайність на ділянках з застосуванням автоматичних проріджувачів істотно не відрізняється від тих, де густоту формували вручну.

Якщо оцінювати способи формування густоти посівів щодо затрат праці на вирощування 1 ц коренеплодів, то найменші вони будуть при сівбі на кінцеву

густоту, дещо більшими – при автоматичному проріджуванні та проріджуванні

механічними проріджувачами з наступною перевіркою вручну і найбільшими – при ручному прориванні.

Таким чином, серед можливих на сучасному етапі способів формування густоти посівів слід віддати перевагу проріджуванню сходів автоматичними і

механічними проріджувачами, а також сівбі на кінцеву густоту.

1.2. Аналіз конструкцій проріджувачів цукрових буряків

Проріджувач буряковий автоматичний ПСА-2,7 призначений для механізованого формування густини насаджень цукрового буряка з одночасним спусканням ґрунту в зоні рядка між залишеними рослинами [18].

Проріджувач ПСА-2,7 - начіпний.

Агрегується з тракторами МТЗ-80 і МТЗ-82 при встановленні задніх коліс з вузькими шинами на ширині колії 1800 мм при частоті обертання ВВП 1000 об/хв. Робоча швидкість - до 5,5 км/год.

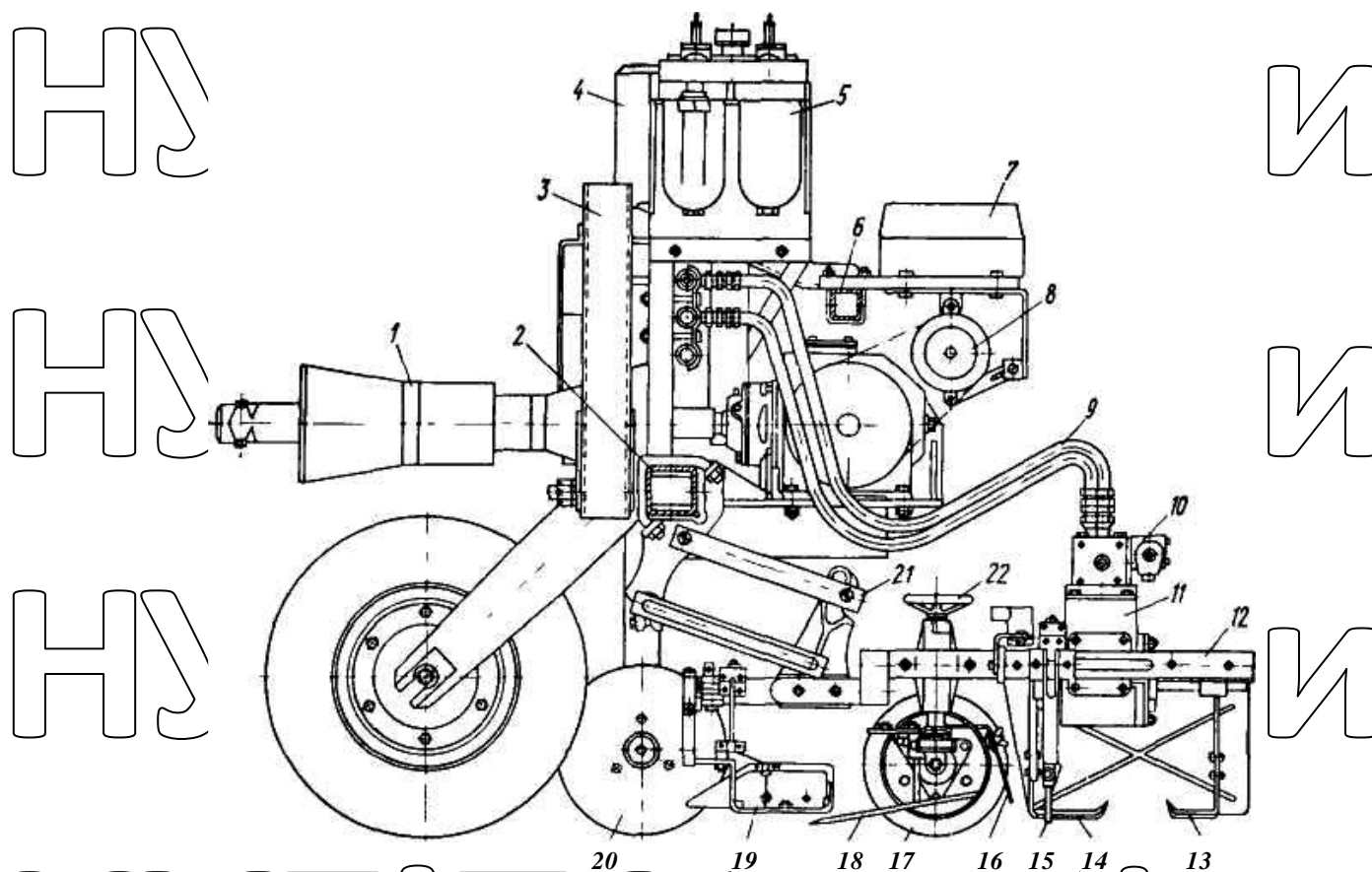


Рис. 1.2. Загальний вигляд проріджувача/автоматичного ПСА-2,7:

- 1 – карданна передача, 2 – основний брус рами; 3 – замок автозчипки;
 4 – масляний бак; 5 – фільтр тонкої очистки; 6 – допоміжний брус рами;
 7 – пульт керування секцій; 8 – генератор; 9 – маслопроводи;
 10 – електрогідрорезподільник; 11 – гідромотор; 12 – рама секції;
 13 – задній ніж; 14 – передній ніж; 15 – датчик виявлення рослин;
 16 – листовідгинач; 17 – копіювальний коточок; 18 – листопадіймач; 19 – датчик контролю керування; 20 – заземлювач; 21 – паралелограмна підвіска;
 22 – маховичок гвинтового механізму копіювального коточка

Завдяки використанню системи сигналізації, не потребує оператора, обробляє ґрунт у зоні рядка з обох боків залишених рослин. Привід робочих органів здійснюється від ВВП трактора, а живлення систем сигналізації – від електричної системи останнього.

Технічні дані автоматичного проріджувача ПСА-2,7 подано у табл. 1.А.1.3

додатку А.1.3.

Основними складальними одиницями машини (рис. 1.2) є рама з автозчіпкою, опорно-ходові колеса, карданний вал з приводом гідронасоса, пристрій заземлення, шість проріджувальних секцій, гідравлічна система приводу, електронні системи керування робочими органами, контролю і сигналізації [11, 18].

Проріджувач забезпечений автономною гідросистемою з окремим гідронасосом, який працює від ВВП трактора. Електронна система керування і контролю живиться від електроустаткування трактора.

Рама проріджувача зварної конструкції є місцем для монтування основних вузлів проріджувача. Вона має основний 2 і допоміжний 6 бруси. В передній частині рами приєднано замок 3 автозчіпки, яким вона приєднується до автозчіпки трактора. Підтримується рама в робочому положенні на двох колесах з пневматичними намі.

Вигляд ззаду автоматичного проріджувача ПСА та його агрегування з трактором МТЗ-80 показано на рис. 1.3.

Ходова система проріджувача складається з трубчатої двобрусової рами, на яку монтуються опорно-ходові колеса, проріджуючі секції з паралелограмними підвісками, вузли гідросистеми та електронної системи та інші вузли. Опорно-ходові колеса та карданний вал розташовані попереду рами, а по краях рами встановленні опори, пристрої для зачеплення вантажопідіймальними засобами і щитки приладами світлової сигналізації.

Проріджувальна секція з'єднана з рамою (рис. 1.2) через паралелограмну підвіску 21. На рамі 12 проріджувальної секції розміщені гідродвигун 11 з електрогідророзподільником 10, датчик 15 виявлення рослин, датчик 19 контролю керування, листовідвід 16, листопідіймач 18 та передній 14 і задній 13 ножі, закріплені на валу гідродвигуна. Підтримується секція в робочому положенні на копіювальному коточку 17 з гвинтовим механізмом.

Проріджуюча секція (рис. 1.4) складається з проріджуючого механізму,

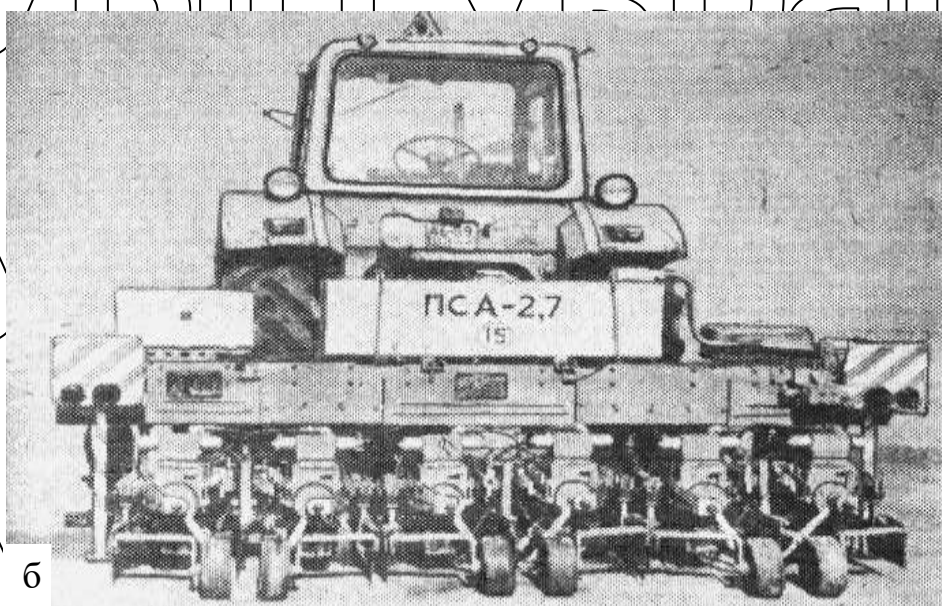
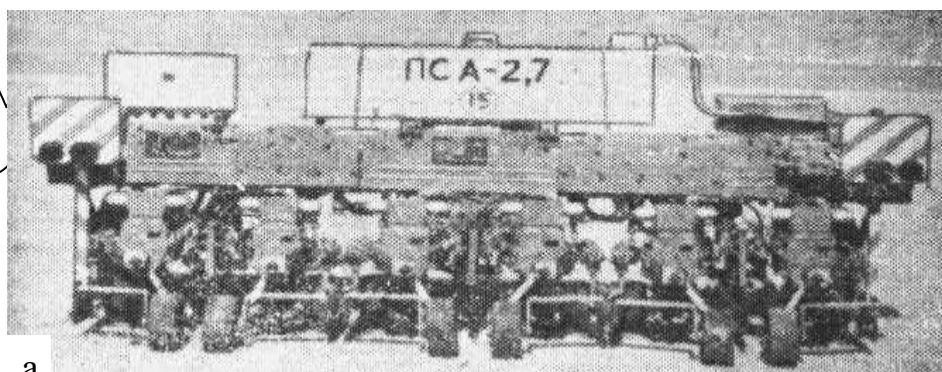


Рис. 1.3. Автоматичний проріджувач ПСА-2,7:

а - вид ззаду; б - в агрегаті з трактором МТЗ-80

встановленого на каретку, що спирається на два копіючі катки, листковідгинача і розділювального щитка. Поперечний брус 10, виконаний з квадратної труби перерізом $50 \times 50 \times 5$, з'єднаний шарнірно з кронштейном 8. До бруса 10 за допомогою кронштейнів 11 прикріплено гідродвигун 12 проріджуючого механізму та каретка 13. Для регулювання глибини обробки рослини в каретці є рухома рейка, розташована в направляючому пазу кронштейна, яка входить в зачеплення з шестернею. Шарнірне кріплення зубчатої рейки з мостом каретки дозволяє датчику виявлення рослин і нолам копіювати мікрорельєф ґрунту, що необхідно для якісного виконання

технологічного процесу проріджування рослин [18].

Проріджуюча секція опирається на ґрунт двома катками 14. Катки встановлені на каретці таким чином, що при русі машини по полю опорні катки секції перекочуються по обидва боки ряду рослин. Проріджуючі секції прикріплені до основного бруса рами симетрично замка автозчеплення, а відстань між осями всіх гідродвигунів рівна ширині міжрядь. До внутрішнього кронштейна 11 гідродвигуна шарнірно закріплений підпружинений кронштейн з датчиком виявлення рослин 2. До обох кінців валу гідродвигуна прикріплені стійки 4, які мають з боків заглиблення з отворами для встановлення ножів.

До передньої, по ходу руху машини, стійки кріпиться Т-подібний ніж 3, лезом у бік другого, Т-подібного ножа 1, закріпленого до задньої стійки. Між ножами розташовується контактна частина 2 датчика виявлення рослин.

Попереду гідродвигуна до бруса секції закріплений листковідгинач 5, який має паз 6 для регулювання його по висоті розташуванням над ґрунтом.

Гідравлічна система проріджувача містить гідронасос, резервуар для мастила, запобіжний, підпірний і розвантажувальний клапани, три дроселі із зворотним клапаном, шість гідродвигунів для приводу робочих органів, п'ять гідроаккумуляторів високого тиску і два гідроаккумулятори низького тиску, запірний кран, кран манометра, манометр, напірні, зливні і дренажні сполучні трубопроводи.

Привід гідронасоса закріплений до основного бруса рами і з'єднується з ВВП трактора за допомогою карданного валу. Гідронасос встановлений на кронштейні приводу насоса і сполучений забірним трубопроводом з резервуаром і нагнітальним трубопроводом з гідродвигунами секції.

Електронна система призначена для керування робочими органами та контролю технологічного процесу, який виконує машина.

Електронна система функціонально складається з системи автоматичного керування та системи автоматичного контролю і сигналізації.

Система автоматичного керування робочими органами містить:

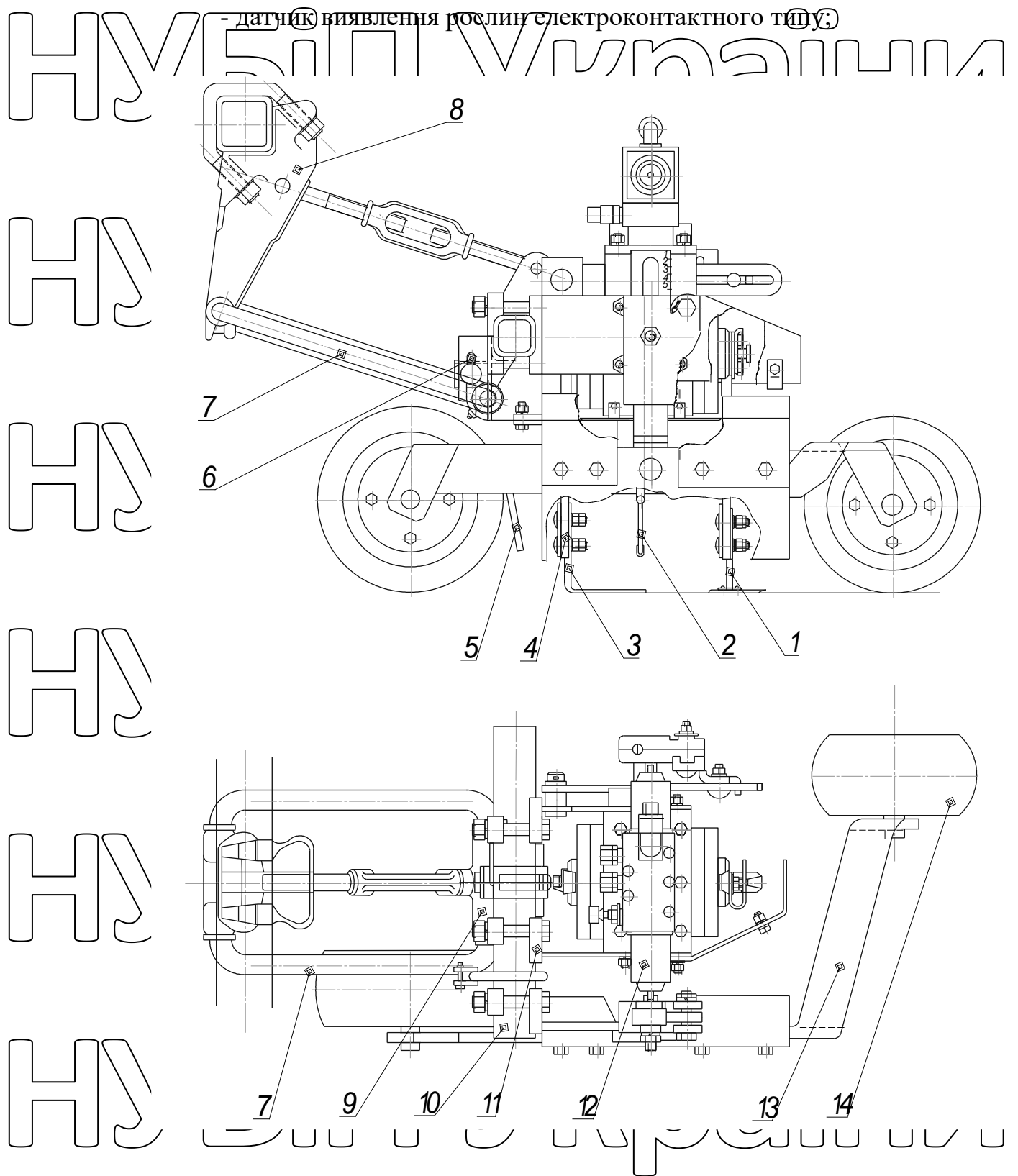


Рис. 1.4. Проріджуюча секція:

- 1 – Л-подібний ніж; 2 – контактна частина датчика виявлення рослин;
 3 – Г-подібний ніж, 4 – стійка, 5 – листковідхиляч; 6 – паз листковідхиляча;

7 – паралелограмна підвіска; 8 – передній кронштейн паралелограмної підвіски; 9 – задній кронштейн паралелограмної підвіски; 10 – поперечний брус; 11 – кронштейн гідродвигуна; 12 – гідродвигун; 13 – каретка; 14 – коток

- підсилювально-перетворювальний поріг пристрій керування виконавчим механізмом робочого органа;
- електромагнітний виконавчий механізм робочого органа;
- заземлюючий пристрій.

Система автоматичного контролю і сигналізації виконує функції:

- контроль водіння агрегату по рядках;
- контроль максимальної температури мастила;
- контроль густини насадження після проріджування;
- контроль руху робочих органів;
- блокування звукового сигналу.

Конструктивно електронна система складається з електронного блока, закріпленого на рамі машини, пульта керування, який кріпиться на щитку приладів в кабіні трактора, шести датчиків виявлення рослин, змонтованих на проріджуючі секціях, вимикача звукового сигналу, двох заземлювачів та двох датчиків контролю водіння агрегату по рядках, закріплених попереду машини до основного бруса рами, шести датчиків контролю роботи ножів, встановлених на проріджуючих секціях, датчика контролю температури мастила, встановленого в резервуарі, та з'єднувальних кабелів.

На машині також встановлені габаритні щитки з сигнальними світловими приладами для забезпечення безпеки руху агрегату при транспортуванні.

Технологічний процес проріджування сходів буряка виконується наступним чином. Під час руху агрегату вздовж рядків буряків датчик торкається рослин і замикає електричне коло «датчик – рослина – ґрунт – заземлювач» (рис. 1.5). Імпульс, що виникає, підсилюється в електронному блоці і замикає коло електромагніта розподільника гідродвигуна проріджувальної секції.

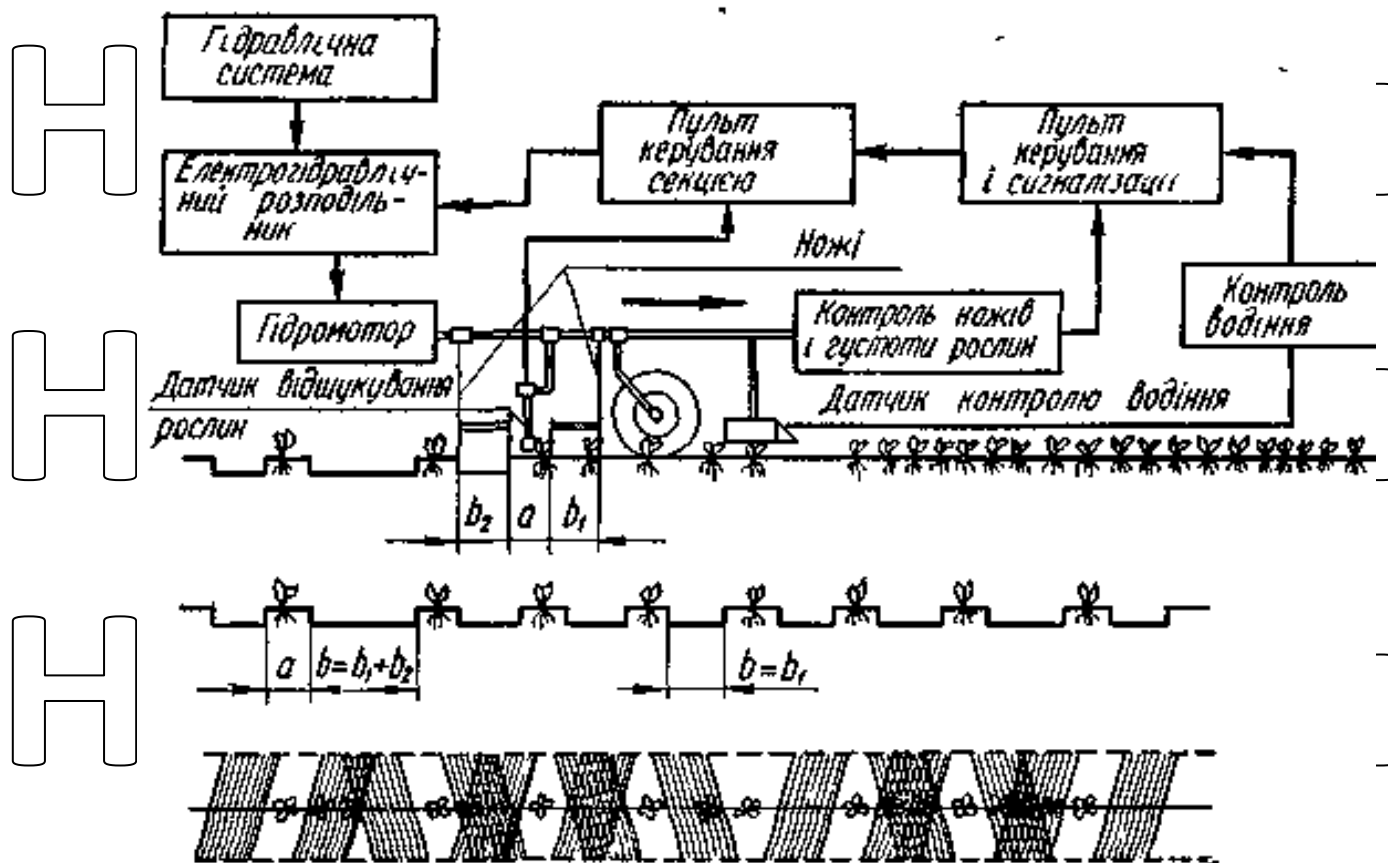


Рис. 1.5. Схема роботи автоматичного проріджувача ПСА-2,7 (ПСА-5,4):

a – ширина неvirізаної ділянки рядка перед і після рослини цукрових буряків; b_1 – довжина леза переднього ножа;

b_2 – довжина леза заднього ножа

Електромагніт переміщує золотник гідророзподільника з одного положення в інше, завдяки чому масло з напірної магістралі гідросистеми поступає в один з циліндрів гідродвигуна приводу ножів, що приводить до повороту валу гідродвигуна з одного крайнього положення в інше. Ножі, закріплені на валу гідродвигуна, виконують рух поперек ряду, заглиблюючись у ґрунт на глибину 1-2 см і вирізають рослини, які попадають в зону їх дії, розташовані попереду і ззаду виявленої рослини. Передній ніж вирізує бур'яни зайві рослини перед контрольною рослиною, яку виявив датчик. Задній ніж спушує ґрунт і видаляє рештки бур'янів і зайвих рослини позаду контрольної рослини. Швидкість руху ножів – 7 м/с

При контакті датчика з наступною рослиною після проходження заданого інтервалу виникає така ж серія електричних та гідравлічних імпульсів, які приводять в рух другий поршень гідродвигуна, повертаючи перший поршень в початкове положення. При цьому ножі виконують рух поперек ряду у зворотному напрямі. Крок між залишеними рослинами і величина букета задається до початку проріджування. Після завершення робочого циклу ножі залишаються нерухомими над ґрунтом збоку ряду до появи чергового сигналу.

У разі відсутності рослин в ряду (за відсутності сигналів), що трапляється, коли щуп рухається над малими рослинами і неторкається їх, проріджування на цих ділянках проводитися не буде. Те ж саме відбувається, якщо чутливість системи виявлення рослин електронної системи встановлена недоетатньою. В цих випадках необхідно призвести відповідні регулювання положення датчика виявлення рослин відносно ґрунту і чутливості електронної системи.

Регулювання датчика виявлення рослин по висоті проводиться в стосовно конкретних умов залежно від нерівностей мікрорельєфу і їх висоти.

Регулювання відстані від виявленої рослини до початку вирізу для даної швидкості руху агрегату досягається зміною відстані між контактною частиною датчика виявлення рослин і ножами. При цьому рослина в букеті зміщується в тому ж напрямку, в якому переміщається датчик. Небажано, щоб рослини розташовувалися по краю непідрізаної ділянки, оскільки це приводить до пошкодження листя.

За допомогою автоматичного рахункового пристрою, розташованого на пульті керування, водій в процесі роботи періодично контролює густину залишених рослин (кількість рослин на 1 погонному метрі рядка) і коректує параметри проріджування. Індикація і скидання результатів рахунку проводиться автоматично через кожні 10 м пройденого машиною шляху.

Автоматизоване проріджування проводиться при русі агрегату із швидкістю 3,2...5,4 км/год, залежно від стану ґрунту, прямо лінійності рядів і точності водіння агрегату. Середня продуктивність автоматичного проріджувача

ПСА-2,7 становить 1,35 га/год.

1.3. Обґрунтування вибору робочого органу

В середньому, по бурякосійних господарствах країни, затрати ручної праці на формуванні густини посівів з виколюванням бур'янів становлять 80...160 люд.год./га, або 45...55 % всіх затрат на виробництво цукрових буряків. Правильне застосування механізмів при формуванні густини посівів дозволяє скоротити затрати праці на цій операції до 20...30 люд.год./га.

Необхідну густину насаджень при вирощуванні цукрового буряка забезпечують поперечним боронуванням в два-три проходи або букетуванням поперечним проріджуванням сходів цукрового буряка культиватором чи спеціалізованими агрегатами (механічні та автоматичні проріджувачі).

Недоліком механічних проріджувачів є пропуски в роботі, що можуть досягти 12 % внаслідок непрямолінійності руху. Механічні знаряддя і машини не забезпечують рівномірного розміщення рослин у рядку, а інколи й знижують густоту посівів, що негативно позначається на урожайності.

Автоматичні проріджувачі при формуванні густоти посівів моделюють ручну працю, видаляючи рослини тільки на загущених ділянках рядка, за рахунок чого покращується рівномірність розміщення рослин вздовж рядка на 8...20 % і досягається необхідна густота посівів без затрат ручної праці та істотного зниження врожаю. Таким чином, серед можливих на сучасному етапі способів формування густоти посівів, слід віддати перевагу проріджуванню сходів автоматичними проріджувачами.

Для агропромислового комплексу нашої країни важливим є підвищення продуктивності сільськогосподарських знарядь, забезпечення їх надійності та необхідної довговічності експлуатації.

Оскільки автоматичний проріджувач ПСА-2.7 є націповою машиною, то підвищення продуктивності можна досягти зменшенням маси агрегату,

підвищенням точності проріджування та зменшенням пропусків у роботі.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

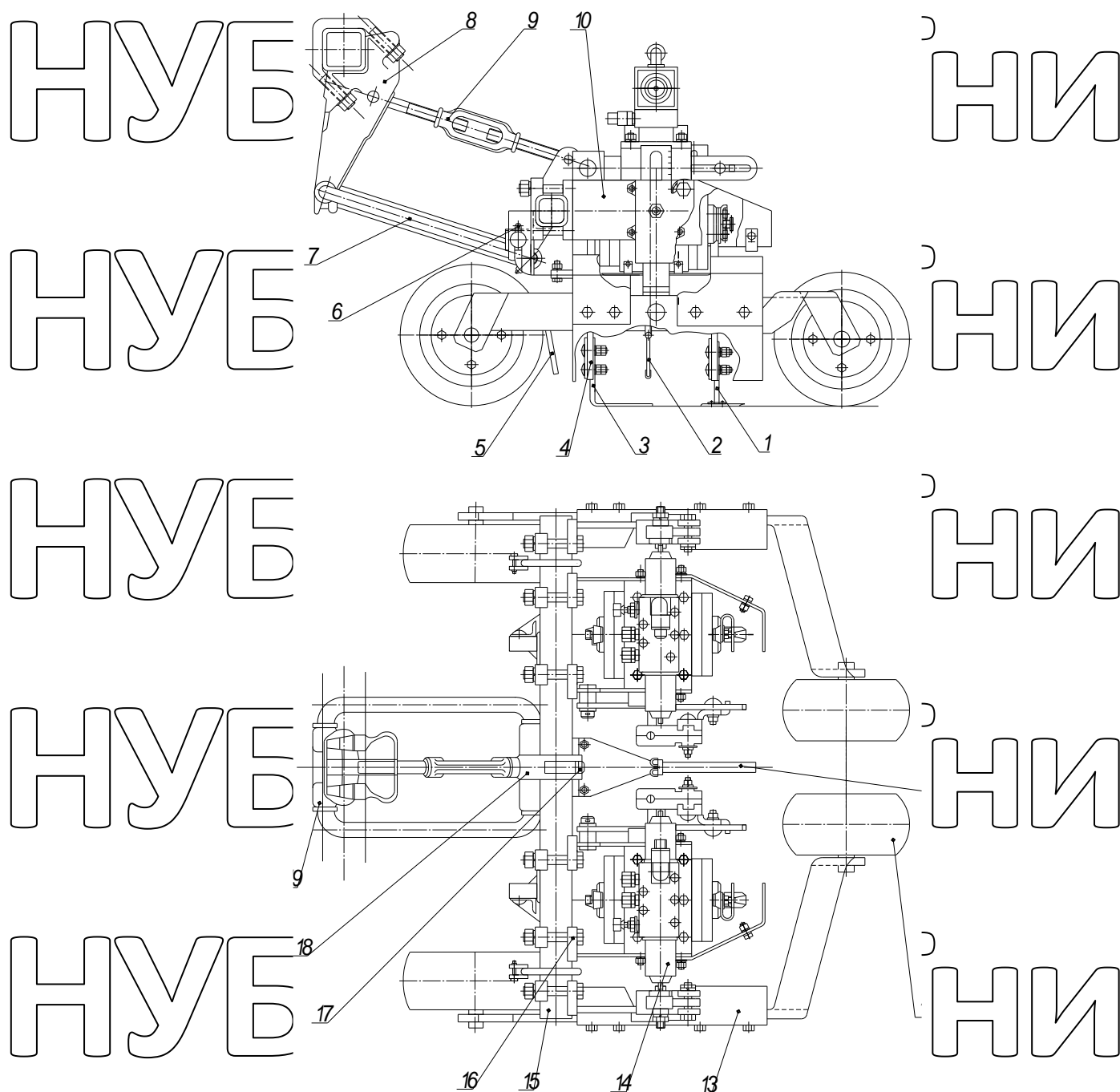


Рис. 1.6. Удосконалена робоча секція проріджувача ПСА-2.7:

- 1 – Т-подібний ніж; 2 – контактна частина датчика виявлення рослин;
 3 – Г-подібний ніж; 4 – стійка, 5 – листковідхиляч; 6 – паз листковідхиляча;
 7 – нижня ланка паралелограмної підвіски; 8 – передній кронштейн
 паралелограмної підвіски; 9 – верхня регульована ланка паралелограмної
 підвіски; 10 – проріджувальний механізм; 11 – розділювальний щиток;
 12 – коток; 13 – каретка; 14 – гідродвигун; 15 – брус; 16 – кронштейн
 гідродвигуна; 17 – палець; 18 – задній кронштейн паралелограмної підвіски;
 19 – паралелограмна підвіска

Не забезпечується удосконаленням основного робочого вузла проріджувача ПСА-2.7 – проріджувальної секції.

Для зменшення маси автоматичного проріджувача сходів цукрового буряка ПСА-2.7 запропоновано проріджуючі секції машини зробити спареними, об'єднавши ліві та праві робочі секції попарно за допомогою спільного несучого бруса та однієї паралелограмної підвіски.

В такому випадку проріджуюча секція (рис. 1.6) складатиметься з двох проріджуючих механізмів 10, сполучених поперечним брусом 15, що спираються на чотири копіюючі катки 12, двох листковідгиначів 5 і розділювального щитка 11. Кріпитиметься секція до основного бруса рами за допомогою паралелограмної підвіски 19 через передній кронштейн 8.

Поперечний брус 15 проріджуючої секції, виконаний з квадратної труби перерізом $50 \times 50 \times 5$ мм, з'єднаний шарнірно із заднім кронштейном 18 паралелограмоної підвіски пальцем 17. До бруса за допомогою кронштейнів 16 прикріплено два гідродвигуна 14 проріджуючих механізмів та дві каретки 13.

Для регулювання глибини обробки рослин в каретці 13 (рис. 1.7) є рухома рейка 10, розташована в направляючому пазу кронштейна 9, яка входить в зачеплення з шестернею.

Для фіксації рейки у вибраному положенні служить зубчата шайба, яка притискається гайкою 8. Шарнірне кріплення зубчатої рейки з мостом каретки дозволяє датчику виявлення рослин і ножам копіювати мікрорельєф ґрунту, що необхідно для якісного виконання технологічного процесу проріджування рослин.

Проріджуюча секція опирається на ґрунт чотирма катками 12 (рис. 1.6). Катки встановлені на каретках таким чином, що при русі машини по полю пара опорних катків кожної каретки проріджуючої секції перекочується по обидва боки ряду рослин, також копіюючи мікрорельєф ґрунту.

Проріджуючі секції прикріплені до основного бруса рами таким чином, що середня секція розташована симетрично замку автозчипки, а відстань між

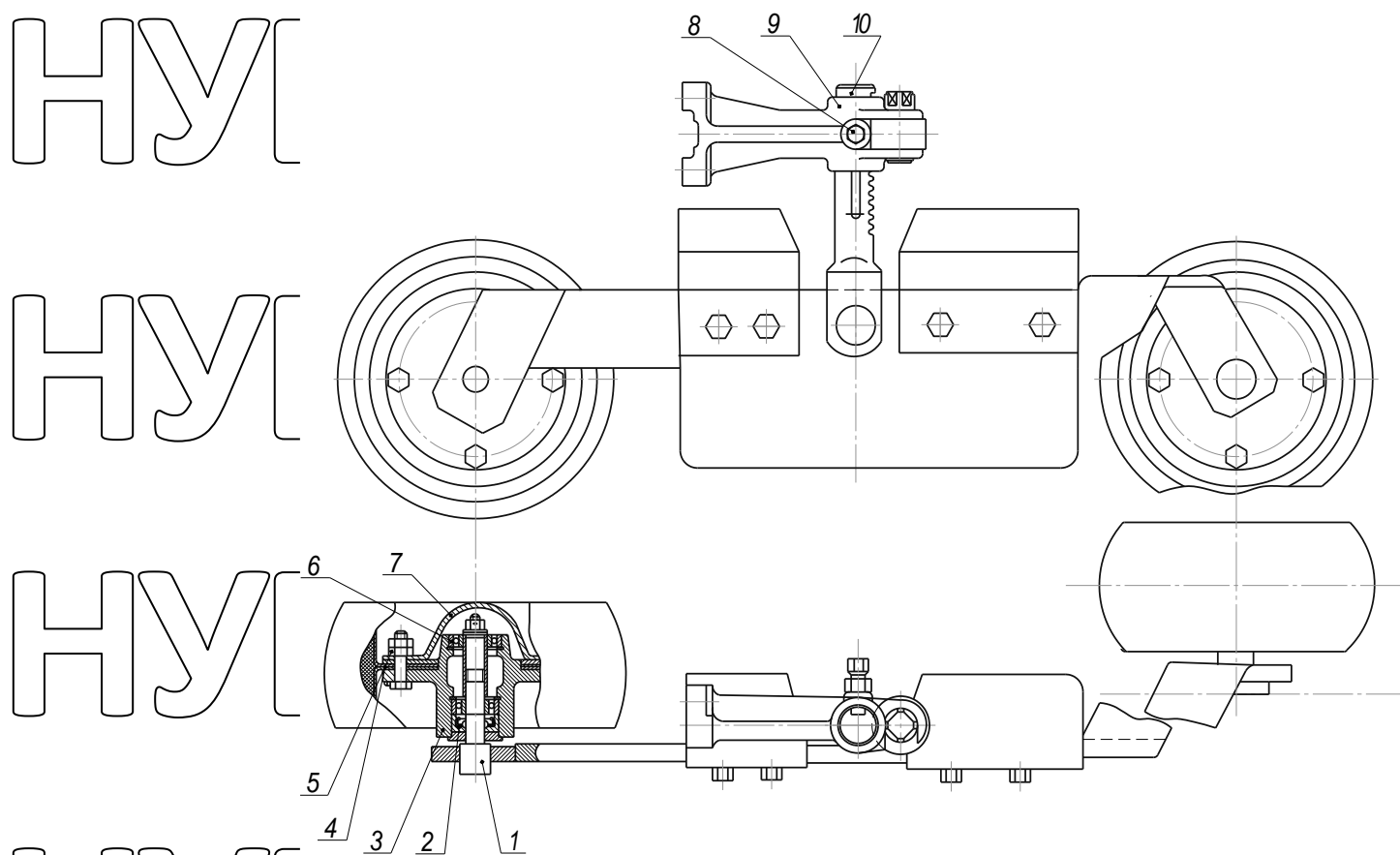


Рис. 1.7. Каретка проріджуючої секції: 1 – вісь; 2 – манжет; 3 – ступиця; 4 – диск; 5 – болт; 6 – підшипник; 7 – ковпак; 8 – гайка; 9 – кронштейн; 10 – зубчата рейка

осями всіх гідродвигунів рівна ширині міжрядь.

Підвіска середньої секції складається із зварного переднього кронштейна 8, закріпленого до основного бруса рами машини, і кронштейна 18, закріпленого на брусі проріджуючої секції. Обидва кронштейни шарнірно сполучено нижньою 7 та регульованою верхньою 9 ланками. З'єднання проріджуючої секції з рамою машини за допомогою паралелограмної підвіски і шарнірне кріплення зубчатої рейки з мостом каретки дозволяє датчику виявлення рослин і нолам краще копіювати мікрорельєф ґрунту, що необхідно для якісного виконання технологічного процесу проріджування рослин.

До бруса 15 попереду гідродвигуна 14 секції закріплений листковідгинач 5, який має паз 6 для регулювання його по висоті розташуванням над ґрунтом.

До внутрішнього кронштейна 16 гідродвигуна 14 шарнірно закріплений підпружинений кронштейн з датчиком виявлення рослин 2.

До обох кінців валу гідродвигуна 14 прикріплені стійки 4, які мають з двох боків заглиблення з отворами для встановлення ножів.

До передньої, по ходу руху машини, стійки кріпиться Г-подібний ніж 3, лезом у бік другого, Г-подібного ножа 1, закріпленого до задньої стійки. Між ножами розташовується контактна частина 2 датчика виявлення рослин.

Довжина вирізуваної ділянки рядка і довжина непідрізаної ділянки з рослиною регулюється установкою ножів з певною довжиною леза, їх кількістю, розміщенням їх на стійках з внутрішньої або зовнішньої сторони при установці відповідного кроку проріджування.

Таке інженерне рішення забезпечує зменшення маси проріджувача за рахунок зменшення кількості паралелограмних підвісок та кріпильних кронштейнів з шести до трьох та підвищить надійність системи, оскільки зменшиться також і ймовірність відмови підвіски проріджуючих секцій.

1.4. Висновки до розділу

1. Затрати ручної праці на формуванні густини посівів з виконанням бур'янів становлять 80...160 люд.год./га, або 45...55 % всіх затрат на виробництво цукрових буряків. Правильне застосування механізмів при формуванні густини посівів дозволяє скоротити затрати праці на цій операції до 20...30 люд.год./га.

2. Недоліком механічних проріджувачів є пропуски в роботі, що можуть досягти 12 % внаслідок непрямолінійності руху.

3. Для зменшення маси автоматичного проріджувача сходів цукрового буряка ПСА-2.7 запропоновано проріджуючі секції машини зробити спареними, об'єднавши ліві та праві робочі секції лопарно за допомогою спільного несучого бруса та однієї паралелограмної підвіски.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ АВТОМАТИЧНОГО ПРОРІДЖУВАЧА ПСА-2.7

2.1. Вибір способу та схеми проріджування

Щоб правильно вибрати спосіб і схему проріджування, слід оцінити посіви на кожному полі. Для цього визначають початкову густину, рівномірність сходів, забур'яненість і рельєф поля. У 20 місцях по діагоналі поля накладають на рядок буряків рейку довжиною 2 м з поділками через 1 см і підраховують кількість сходів буряків. При цьому дві і більше рослини, що припадають на 2 см довжини рядка, рахують як одну рослину. Одночасно вимірюють довжину всіх інтервалів між рослинами, що перевищують 25 см. Одержану сумарну довжину визначають у процентах від загальної довжини облікових двометрових відрізків.

Якщо одержане число не перевищує 10 %, для формування густини посівів застосовують схеми проріджування, рекомендовані з врахуванням середньої густини сходів. Коли ж це число більше, на таких посівах, незалежно від середньої густини сходів, застосовують тільки схеми проріджування, за яких довжина вирізу дорівнює або менша довжини букета. Відступають від цього правила лише на дуже засмічених бур'янами полях, де змушені нехтувати деяким зменшенням густини посівів за рахунок збільшення площі вирізання бур'янів.

Для оцінки засмічення посівів цукрових буряків бур'янами у 20 місцях по діагоналі поля, де підраховали густину сходів, одночасно підраховують на тих же двометрових відрізках у захисній зоні рядка кількість сходів бур'янів на ділянці шириною 20 см (по 10 см з кожного боку рядка). Якщо бур'янів менше, ніж сходів буряків, посів вважають мало засміченим бур'янами, якщо більше – дуже засміченим бур'янами [11]. Потім вибирають спосіб і схему проріджування, користуючись табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Способи і схеми проріджування посівів буряків залежно від густини сходів, рівномірності їх розміщення по довжині рядка та засміченості поля бур'янами

Густина сходів, шт./м	Розміщення рослин у рядку	Ступінь засмічення бур'янами	Способи і схеми проріджування посівів
8–10	Нерівномірне	Низька	Видалення 20...30 % рослин буряків автоматичними проріджувачами. Застосування зубових борін або ручного коректування.
	Рівномірне	Висока	
11–14	Нерівномірне	Низька	Видалення 20...30 % рослин буряків автоматичними або механічними проріджувачами за схемою виріз 5 см, букет 15. Застосування зубових борін.
	Рівномірне	Висока	
	Нерівномірне	Низька	
	Нерівномірне	Висока	
	Рівномірне	Низька	Видалення 25...30 % рослин автоматичними або механічними проріджувачами за схемою 5+15, 5+10 см.
	Рівномірне	Висока	
	Рівномірне	Низька	Застосування механічних проріджувачів за схемою 5+10 см; культиваторів за схемою 8,5 + 14 см.
	Рівномірне	Висока	
	Рівномірне	Низька	Видалення 35...50 % рослин автоматичними або механічними проріджувачами за схемою 10+10 см чи культиваторами – 8,5+9,5 см.
	Рівномірне	Висока	
	Рівномірне	Низька	Застосування механічних проріджувачів за схемами 10 + 10 і 5 + 5 см; культиваторів за схемами 8,5+9,5; 8,5+6,5 см і зубових борін.
	Рівномірне	Висока	

Перед початком роботи за допомогою верхньої тяги націпного механізму трактора раму проріджувача встановлюють в строго горизонтальне положення.

Вибравши певну довжину стяжок нижніх поздовжніх тяг націпного механізму трактора, домагаються перпендикулярності рами проріджувача поздовжній осі

трактора. Після цього починають технологічне регулювання. Спочатку досягають паралельності лез ножів відносно поверхні майданчика зміною довжини верхньої тяги підвіски секцій, причому однією тягою регулюють одночасно дві секції. Глибину ходу ножів встановлюють зміною висоти кріплення стояків кареток кожної проріджувальної секції обертанням шестірні підйимального механізму.

Глибину ходу встановлюють в межах 1–3 см. Чим твердіший ґрунт, тим меншою повинна бути глибина ходу ножів. Датчик у вертикальній площині повинен перебувати на рівні, що не перевищує половини висоти рослин, але не менше 20 мм від поверхні регульовального майданчика. Для забезпечення оптимальної захисної зони контактна частина датчика при швидкості руху 3,2 км/год повинна знаходитись приблизно над краєм переднього ножа (рис. 2.3).

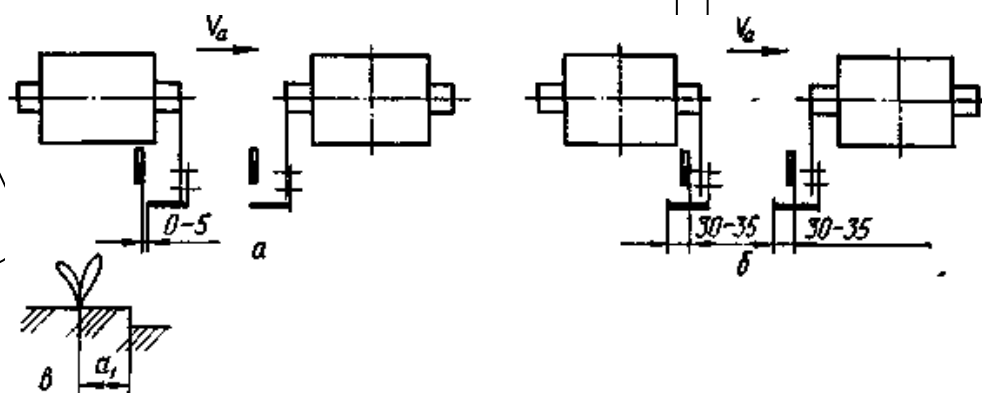


Рис. 2.1. Регулювання положення датчика відносно леза ножа при зміні швидкості руху машини: а – $V_a=3,2$ км/год; б – $V_a=5,4$ км/год; в – величина захисної зони

При швидкості руху 5,4 км/год, датчик необхідно пересунути вперед на 30–35 мм. Щоб збільшити захисну зону, його змінюють назад, а для зменшення – навпаки. Проте слід пам'ятати, що чим менша захисна зона, тим більша кількість букетів буде з однією рослиною, але й збільшиться також при цьому ймовірність пошкодження рослин.

Щоб встановити величину вирізу і крок проріджування, визначають мінімальну величину вирізу за формулою (рис. 2.2) [11].

$$B = \frac{100}{n_3} - a_1 - \frac{K}{\lambda} \cdot 100, \quad (2.1)$$

де n_3 – необхідна кількість рослин на 1 м довжини рядка після проріджування;

a_1 – величина захисної зони (відстань від залишеної рослини до початку вирізу);

k – коефіцієнт, що враховує рівномірність розміщення, норму висіву і польову схожість насіння;

λ – фактична середня початкова густина сходів, шт/м.

При висіві 10–25 насінин на 1 м довжини рядка з врахуванням існуючого рівня польової схожості 40–60 % та рівномірності розміщення рослин вздовж рядка коефіцієнт k можна прийняти рівним 0,75.

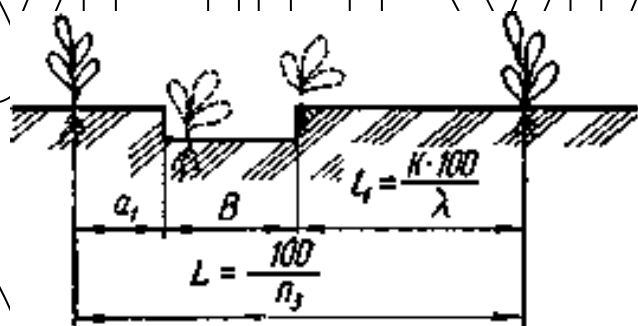


Рис. 2.2. Схема для визначення мінімальної величини вирізу

З підвищенням польової схожості він буде наближатись до 1. Значення a_1 вибирають таким, щоб не пошкоджувалось листя і не оголювалась коренева система залишених рослин, а також, щоб вони не присипалися землею. За

даними експериментів, величина a_1 може дорівнювати 3 см. Сума всіх вирізів на 1 м довжини рядка дорівнює:

$$\sum B = \frac{\lambda - 6}{\lambda} \cdot 100, \quad (2.2)$$

де $\lambda = 6$ – кількість зайвих рослин, що видаляються з рядка.

Тоді кількість робочих вирізів, що повинен зробити ніж на 1 м довжини рядка, становитиме:

$$z = \frac{\sum B}{B} = \frac{(\lambda - 6) \cdot 100}{\lambda \cdot B}. \quad (2.3)$$

Таким чином, крок вирізу буде:

$$III = 100 \cdot \frac{(\lambda - 6) \cdot 100}{\lambda \cdot B} \cdot \frac{\lambda \cdot B}{\lambda - 6}. \quad (2.4)$$

Якщо проріджувач обладнаний двома ножами, величина вирізу B може знаходитись в межах від b_1 до $2b_1$, тобто $B_{\min} = b_1$, а $B_{\max} = 2b_1$, (рис. 2.3), де b_1 – довжина ножа.

Беручи до уваги, що величина вирізу розподіляється за нормальним законом і користуючись правилом трьох сигм варіаційної статистики, запишемо:

$$\hat{A}_{\max} = B_{\text{ср}} + 3\sigma, \quad (2.5)$$

де $B_{\text{ср}}$ – середнє значення величини вирізу;

σ – середньоквадратичне відхилення середньої величини вирізу.

Із задовільною для розрахунків точністю можна визначити σ за такою формулою:

$$\sigma = \frac{2b_1 - b_1}{6} = \frac{b_1}{6}. \quad (2.6)$$

Тоді:

$$B_{CF} = 2b_1 - 3\sigma = 2b_1 - 0.5b_1 = 1.5b_1 \quad (2.7)$$
 Таким чином, при обладнанні проріджувача двома ножами середня

величина вирізу дорівнюватиме збільшеній у 1,5 рази довжині ножа.

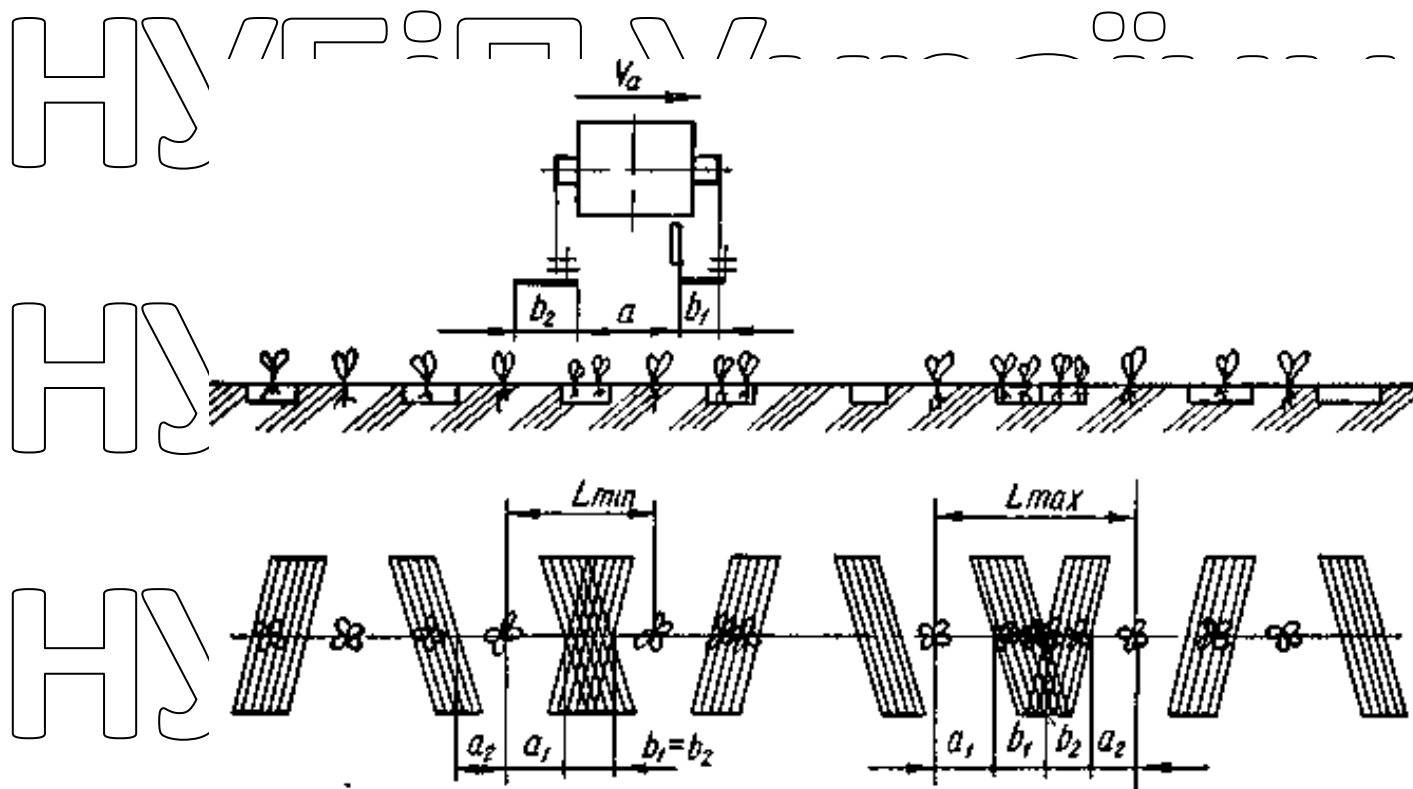


Рис. 2.3. Схема утворення інтервалу між рослинами цукрових буряків після проріджування при обладнанні проріджувача двома ножами

Таблиця 2.2

Довжина вирізу і крок проріджування залежно від початкової довжини

густоти, схеми розстановки ножів і необхідної кількості рослин на 1 м рядка після проходження проріджувачів ПСА-2/7

Необхідна кількість рослин після проріджування

Показники

шт.

на 1 м довжини рядка

5

6

Н	У	Б	і	п	У	к	р	а	і	н	и
Початкова густота шт./м		сходів,			1	1	1	1	1	1	1
При встановленні переднього ножа											
Н	У	Б	і	п	У	к	р	а	і	н	и
Довжина вирізу, см					2						
Крок проріджування, см											
При встановленні переднього і заднього рівновеликих ножів											
Н	У	Б	і	п	У	к	р	а	і	н	и
Довжина вирізу, см					1	1	1	1	1	1	1
Довжина переднього заднього ножів, см		і			8	8	8				-
Крок проріджування, см					2	2	2	2	2	2	2
					3	3	3	3	3	3	3

Отже, якщо планують залишити на 1 м довжини рядка п'ять рослин, автоматичний проріджувач ПСА-2,7 можна обладнувати будь-яким із трьох ножів при початковій густоті 11-12 рослин на 1 м довжини рядка, ножами довжиною 80 або 100 мм, якщо на 1 м рядка припадає 9...10 рослин, і лише одним ножем довжиною 80 мм при 8 рослинах. Робота проріджувача ПСА-2,7 з двома ножами на секції допускається тоді, коли початкова густота сходів становить 11...12 рослин на 1 м довжини рядка і при довжині ножів не більше 80 мм. Якщо планують одержати після проріджування 6 рослин буряків на 1 м рядка, застосування проріджувача, робочі секції якого обладнані ножами, недопустиме. Залежно від рівномірності густоти сходів у проріджувачах передбачене ручне або автоматичне коригування ваданого інтервалу (кроку) між

Н	У	Б	і	п	У	к	р	а	і	н	и
Недопустиме. Залежно від рівномірності густоти сходів у проріджувачах передбачене ручне або автоматичне коригування ваданого інтервалу (кроку) між											
Н	У	Б	і	п	У	к	р	а	і	н	и

рослинами. Якщо посів рівномірний, застосовують ручне коригування, при нерівномірному розміщенні сходів по довжині рядка – автоматичне.

У першому випадку величина кроку не повинна бути кратною інтервалу між насінням. Наприклад, якщо заданий інтервал між насінням дорівнює 7 см, то крок повинен бути вибраний між 14 і 21 або між 21 і 23 см. При цьому можна застосовувати одну з комбінацій розстановки ножів (рис. 2.4).

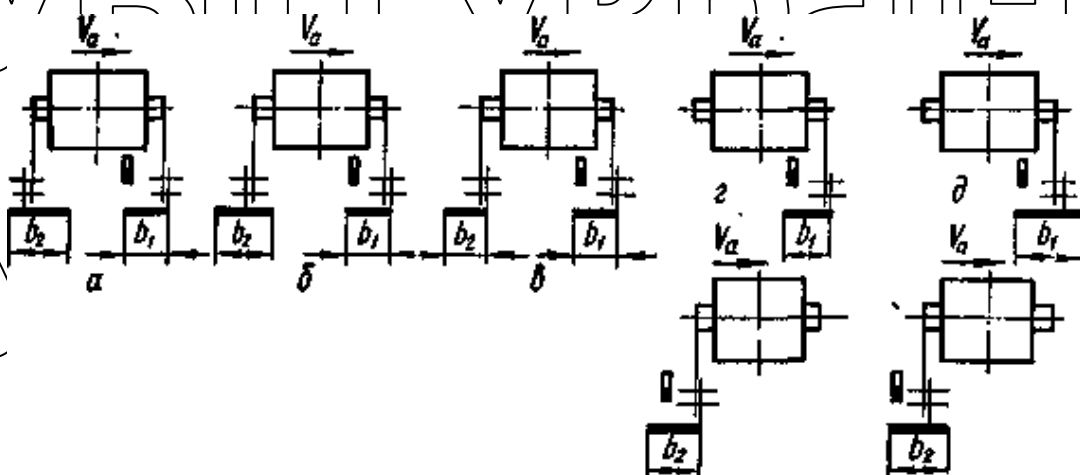


Рис. 2.4. Варіанти встановлення ножів на проріджувачі ПСА-2,7

При автоматичному кроці (АРК) електронна система сама коригує крок проріджування залежно від кількості залишених рослин так, щоб у середньому на 1 м довжини рядка залишалось близько 5 рослин. Оскільки при цьому автоматично змінюється і довжина вирізу, то з АРК можна працювати двома ножами довжиною 80 мм. При цьому важіль перемикача кроку необхідно встановити в положення 20 см.

Автоматичні проріджувачі ПСА-2,7 використовують, у більшості випадків, з ручним коригуванням кроку проріджування. За умов вологого ґрунту і наявності роси на листках рослин слід працювати тільки із заднім ножем вибраної довжини, а лівий і правий датчики необхідно поміняти місцями на напрямних, виконавши їх відповідне перемикання. Якщо проріджувач обладнати 2 ножами, датчик швидко забруднюється вологим ґрунтом, що погіршує його ізоляцію від корпусу машини і призводить до блокування системи відшукування

рослин (припинення роботи ножів). Така ж схема встановлення ножів і датчика може бути застосована на проріджуванні сходів у фазі 4–5 пар справжніх листків. При кількості рослин після проріджування, нижній за необхідну, що трапляється при дуже нерівномірному розподілі сходів, проріджувач треба переобладнати на схему, що відповідає густоті, дещо меншій від тієї, яка одержана при оцінці поля.

До проріджувача додається комплект змінних ножів для отримання вирізів довжиною 80, 100, 120, 140 мм, а букетів - довжиною 35, 55, 75, 95 мм.

2.2. Обґрунтування кінематичних параметрів проріджувача

Активні ротаційні робочі органи здійснюють складний рух: поступальний (переносний) разом із машиною і обертовий (відносний) відносно неї. Обертовий рух цих робочих органів виникає внаслідок надання їм обертового моменту від вала відбору потужності трактора, силового гідродвигуна чи привідних коліс машини. Це дозволяє регулювати притік енергії до робочих органів і концентрувати його в більшій або меншій мірі в обмеженому об'ємі ґрунту, який обробляється [12].

До числа машин, обладнаних ротаційними робочими органами, відносяться: ротаційні плуги, фрези, проріджувачі, штангові культиватори та інші. Найбільше поширення мають ґрунтообробні фрези і проріджувачі.

Проріджувачі вирізують рослини поздовж рядка через рівні інтервали. Для повного підрізання рослин глибина розрідження повинна бути 2...3 см.

Робочий орган проріджувача складається з гідродвигуна, на якому закріплені передній Т-подібний та задній Т-подібний ножі. Ножі обертаються в

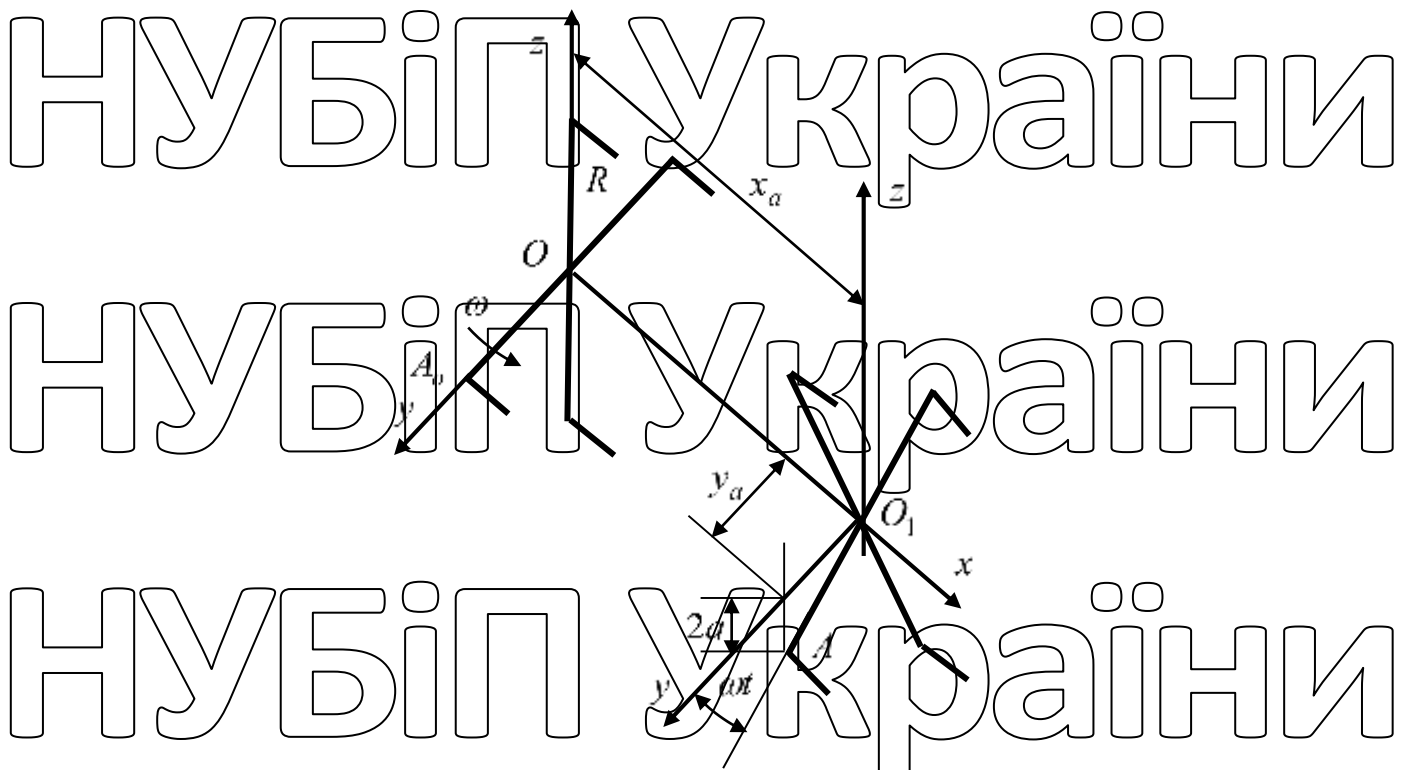


Рис 2.5. Схема до визначення рівнянь руху точок ножа проріджувача

площині, що перпендикулярна напрямку руху агрегату.

Для визначення закону руху ножа проріджувача вибрана нерухома система координат, причому вісь Ox направлена за напрямком руху агрегату, вісь Oy горизонтальна, а вісь Oz направлена вертикально вгору (рис. 2.5). Тоді рівняння руху периферійних точок леза ножа проріджувача можна записати у такому вигляді [12, 20]

$$\begin{cases} x = V_a t; \\ y = R \cos \omega t; \\ z = -R \sin \omega t \end{cases} \quad (2.8)$$

де V_a – поступальна швидкість агрегату, м/с;

R – відстань від осі обертання диска до леза ножа, м;

ω – кут частота обертання диска проріджувача, рад/с

Вводячи заміну

$$R\omega = u; \quad \omega \ominus \varphi; \quad \omega t = \varphi; \quad u / V_a = \lambda, \quad (2.9)$$

де φ – кут повороту диска проріджувача, град;
 u – колова швидкість ножа, м/с;

λ – показник кінематичного режиму,

рівняння (2.8) можна записати наступним чином:

$$\begin{cases} x = \varphi R \lambda^{-1}; \\ y = R \cos \varphi; \\ z = -R \sin \varphi \end{cases} \quad (2.10)$$

Рівняннями (2.10) описується траєкторія руху ножа проріджувача, що являє собою гвинтову лінію, крок якої тим більший, чим менший показник λ .

У нижній частині ходу ніж лезом входить у ґрунт і вирізає деяку частину рослин, за рахунок чого і відбувається розріджування їх у рядку (рис. 2.5).

Процес проріджування зводиться до того, що ніж, обертаючись у площині, перпендикулярній напрямку руху, вирізає рослини з деякої довжини рядка S_H , що дорівнює ширині ножа проріджувача. Ділянки, що вирізаються двома

сусідніми ножами, зсунуті одна відносно іншої на величину подачі S_Z . Тоді на довжині S_B «букет» рослин залишається не зрізаним:

$$S_B = S_Z - S_H. \quad (2.11)$$

де S_A – довжина не зрізаних рослин, м;

S_Z – подача на ніж, м;

S_H – ширина ножа проріджувача, м.

Кінцевий результат проріджування характеризується коефіцієнтом ε , який являє собою відношення числа рослин, що залишені на метрі довжини рядка

після проріджування, до їхнього числа до обробітку. Такий коефіцієнт для одноразового проріджування знаходять із виразу [11]:

$$\varepsilon_1 = S_A / S_Z, \quad (2.12)$$

У формулах (2.11) і (2.12) подача проріджувача визначається за формулою

$$S_Z = 2\pi R / \lambda z, \quad (2.13)$$

де z – кількість ножів, які розміщені на одному гідродвигуні проріджувача, шт.

З урахуванням (2.11) і (2.13) формулу (2.12) можна записати так:

$$\varepsilon_1 = 1 - \frac{\lambda z S_H}{2\pi R}. \quad (2.14)$$

Тоді вираз для визначення показника кінематичного режиму на основі формули (2.14) буде мати такий вигляд:

$$\lambda = \frac{2\pi R(1 - \varepsilon_1)}{z S_H}. \quad (2.15)$$

Для визначення числового значення λ необхідно задати густину рослин на одиниці довжини рядка. Густину рослин визначають за методикою описаною у пункті 2.1.

Потім, за відношенням допустимої кількості рослин на 1 м до середньоарифметичної їх кількості до проріджування, визначають величину

коефіцієнта ε_1 .

За знайденим значенням ε_1 , вибраній кількості ножів z і довжині S_H , яку приймають такою, що дорівнює довжині леза ножа, визначають за формулою (2.15) показник кінематичного режиму λ .

При порівняно великій густині рослин проріджування проводять у два проходи. Друге проріджування проводять через 2–3 дні після першого. Доцільно, щоб агрегат при цьому рухався назустріч першому проходу.

Загальний ефект проріджування залежить від першого і другого проріджувань і визначається загальною ймовірністю підрізання рослин, яка являє собою добуток ймовірностей першого і другого проріджувань. Отже, для дворазового проріджування відношення ε_2 кінцевої кількості рослин до початкової дорівнює [12]:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_1', \quad (2.16)$$

де ε_1' – коефіцієнт, який дорівнює відношенню кількості рослин, що залишилися після другого проріджування, до кількості їх на 1 м після першого проріджування.

Цей коефіцієнт, за аналогією з (2.14), можна визначити з рівняння:

$$\varepsilon_1' = 1 - \frac{\lambda' z' S_H'}{2\pi R}, \quad (2.17)$$

де λ' , z' , S_H' – відповідно показник кінематичного режиму роботи, кількість ножів і довжина леза ножа при другому проріджуванні.

З урахуванням (2.17) вираз (2.16) можна записати так:

$$\varepsilon_2 = \left(1 - \frac{\lambda z S_H}{2\pi R}\right) \cdot \left(1 - \frac{\lambda' z' S_H'}{2\pi R}\right). \quad (2.18)$$

За формулою (2.18), задаючись значеннями z , S_H , z' , S'_H визначають доцільні показники режиму роботи λ і λ' при першому і другому проріджуванні. Необхідно відмітити, що із збільшенням швидкостей руху агрегату зростає число

пригорнутих і загорнутих рослин. Тому показники режиму роботи λ і λ'

необхідно вибирати із урахуванням загортання сходів. Загортання рослин пов'язано із властивостями ґрунту. На розпушеному ґрунті воно спостерігається на менших швидкостях агрегату, ніж на ущільненому.

Взявши похідні за часом від (2.8), одержимо складові швидкості руху периферійної точки леза ножа проріджувача у такому вигляді:

$$\begin{cases} \dot{x} = V_a; \\ \dot{y} = -R\omega \sin \omega t; \\ \dot{z} = -R\omega \cos \omega t \end{cases} \quad (2.19)$$

Тоді результативну абсолютну швидкість руху периферійної точки ножа можна визначити за формулою:

$$V_a = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} = \sqrt{V_a^2 + \omega^2 R^2} = V_a \sqrt{1 + \lambda^2} \quad (2.20)$$

Вектор швидкості V_a в горизонтальній площині Oxy для випадку, коли периферійна точка леза ножа знаходиться в нижньому крайньому положенні і радіус R займає вертикальне положення, нахилена до осі Ox , що співпадає з напрямком руху проріджувача, під кутом γ , величину якого визначають за формулою:

$$\gamma = \arctg \lambda \quad (2.21)$$

З формули (2.21) можна бачити, що при поступальній швидкості агрегату

кут γ можна збільшити шляхом збільшення колової швидкості периферійної точки ножа проріджувача v . Для випадку, коли показник кінематичного режиму, наприклад, $\lambda = 1$, цей кут дорівнює $\gamma = 45^\circ$.

Взявши похідну за часом від (2.19), одержимо вираз для складових прискорення руху периферійної точки ножа у такому вигляді:

$$\ddot{x} = \frac{dV_a}{dt};$$

$$\ddot{y} = R\omega^2 \cos \omega t;$$

$$\ddot{z} = -R\omega^2 \sin \omega t$$

(2.22)

Вираз для визначення результативного абсолютного прискорення периферійної точки леза ножа проріджувача при сталій поступальній швидкості агрегату $v = \text{const}$ буде мати такий вигляд

$$\omega_a = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2} = \omega^2 R$$

(2.23)

де ω_a – абсолютне прискорення периферійної точки ножа, м/с².

Таким чином, при сталій кутовій швидкості обертання ножа проріджувача $\omega = \text{const}$ і сталій поступальній швидкості агрегату $V_a = \text{const}$, значення абсолютного прискорення периферійної точки леза ножа дорівнює значенню її відцентрового прискорення (2.23).

Для визначення оптимального співвідношення поступальної та колової швидкості руху ножа, необхідно провести силовий аналіз технологічного процесу різання ножом проріджувача.

2.3. Силовий аналіз режиму різання лезом ножа проріджувача

Технологічний процес різання лезом є одним з найбільш розповсюджених технологічних процесів. Він лежить в основі роботи ножів, плоскоріжучих лопат, лемешів плужних корпусів тощо.

В залежності від величини кута ξ між напрямком вектора швидкості леза ножа і вектором нормальної складової сили до його поверхні, а також від фрикційних властивостей матеріалу, що розрізається, який характеризується кутом тертя φ , розрізняють три режими різання лезом ножа (рис. 2.6) [12].

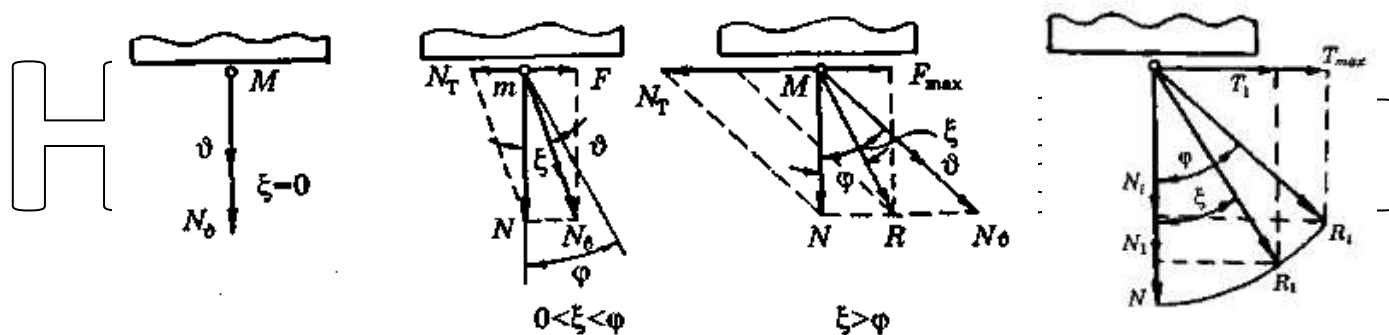


Рис. 2.6. Режими різання лезом: а – різання рубанням; б – різання з поздовжнім переміщенням без ковзання; в – різання з ковзанням; г – зміна сили опору при різанні з ковзанням

Рубляче різання відбувається у тому випадку, коли напрямок вектора швидкості різального інструмента співпадає з напрямком нормалі до його леза, $\xi = 0$ (рис. 2.6, а). Цей випадок різання в ґрунтообробних знаряддях використовується обмежено. При рублячому різанні лезо різального інструмента тисне на ґрунтовий агрегат за нормаллю, він переміщується у ґрунтовому середовищі під дією цієї сили до його руйнування.

Різання з поздовжнім переміщенням, але без ковзання по лезу матеріалу, що обробляється, характеризується наступними співвідношеннями між кутами ξ і φ : $0 < \xi < \varphi$ (рис. 2.6, б).

Розкладемо силу нормального тиску N на дві складові: за напрямком

вектора швидкості різального інструменту N_{Va} і по дотичній до його леза N_T .
Оскільки $\xi < \phi$, то справедлива рівність

$$N_T = F, \quad (2.24)$$

де N_T - дотична сила, Н;
 F - сила опору ковзання, Н.

З урахуванням кута ξ (2.24) можна переписати так:

$N \sin \xi = F$. (2.25)

де N - нормальна сила, Н;

ξ - кут між напрямком вектора швидкості різального інструмента нормаллю леза ножа, Н.

Сила опору F ковзання ґрунтового агрегату вздовж леза різального інструменту по величині дорівнює силі N_T і направлена в протилежному напрямку від неї. Отже, дотична рухаюча сила N_T не в змозі зсунути ґрунтовий агрегат m по відношенню до леза різального інструмента, оскільки вона менша за величину максимальної сили опору:

$$N_T = N \sin \xi < F_{\max}, \quad (2.26)$$

де F_{\max} - сила тертя силового агрегату m вздовж леза різального інструмента, Н, при цьому

$F_{\max} = N \sin \phi$. (2.27)

НУБІП України

Як видно з рис. 2.6, б сила N_V розміщена в середині конуса тертя з кутом 2φ при вершині і не може зсунути різальний інструмент по відношенню до

грунтового агрегату т. Таким чином, сила NT урівноважується силою F і

НУБІП України

грунтовий агрегат т переміщується разом із різальним інструментом під дією сили N_V за напрямком її дії до тих пір, доки не зруйнується.

Різання із ковзанням характеризується таким співвідношенням між кутами

ξ і φ : $\xi \geq \varphi$. Цей режим різання характерний тим, що із зростанням рухаючої сили

НУБІП України

NT сила опору сягає свого максимального значення F_{max} , після чого вона не в змозі вдержати грунтовий агрегат т по відношенню до різального інструмента і відбувається ковзання різального інструменту відносно грунтового агрегату. На

рис. 2.6, в показаний випадок, коли сила N_V розміщена зовні конуса тертя і

справедливе співвідношення сил

НУБІП України

$$N_T > F_{max}, \quad (2.28)$$

яке характерне тим, що сила тертя хоч і досягає свого максимального

значення $F_{max} = Ntg\varphi$, але вона не в змозі зрівноважити складову нормального тиску NT, яка виступає тут у ролі рухаючої сили, і тому відбувається ковзання

грунтового агрегату т поздовж леза різального інструмента під дією сили

Таким чином, на грунтовий агрегат т діють сили N_V ; $N_T - F_{max}$ або

НУБІП України

N і F_{max} . Рівнодіюча цих сил R направлена під кутом φ до вектора нормальній сили N. Тому грунтовий агрегат т буде переміщуватися під дією сили R в

напрямку її дії до тих пір, доки ущільнення ґрунту не приведе до того, що

питомий на нього тиск досягне меж міцності, і він зруйнується.

Розглянемо схематично зміну сил опору при різанні з ковзанням (рис. 2.6).

НУБІП України

г) При рублячому різанні необхідно, щоб нормальний тиск N_0 створював у матеріалі, що перерізається, напруження зминання, яке дорівнює межі його міцності. Для цього випадку справедливі залежності:

$$R = N_0, \quad T = 0, \quad (2.29)$$

де R – результативна сила опору різанню, N ,

T – дотична складова результативної сили опору різанню, H (рис. 2.6).

Якщо потім напрямком переміщення ножа відхилити від напрямку нормалі до леза на деякий кут $\xi < \varphi$ то для руйнування матеріалу буде потрібна деяка сила

R_1 значення якої буде також визначатись межею міцності матеріалу на зминання.

Силу R_1 можна розкласти на дві складові N_1 і T_1 . Збільшуючи кут між

напрямком переміщення леза і нормаллю в межах $0 < \xi < \varphi$, можна одержати ряд

значень сил опору N_1 . Як видно на рис. 2.6, г, із зростанням кута ξ величина сили

N_1 буде зменшуватися, а сила T_1 – збільшуватися. Практика показує, що

результативна сила опору R_1 також зменшується, але незначно. Хоч значення

сили R_1 у діапазоні кутів $0 < \xi < \varphi$ як і раніше визначаються границею міцності,

але з наближенням кута ξ до значення кута тертя φ у товщі матеріалу, який розрізається, з'являються тенденції до деформації зсуву його часток (волокон).

Цим і визначається деяке зменшення результативної сили опору на ділянці $0 < \xi$

$< \varphi$.

При досягненні кутом ξ значення кута тертя φ дотична сила T досягає свого максимального значення, яке дорівнює силі тертя $T_{max} = F_{max} = N \operatorname{tg} \varphi$. Тому при різанні із ковзанням, тобто при співвідношенні кутів $\xi > \varphi$, напрямок рівнодійної

R уже не змінюється, а незалежно від коефіцієнта ковзання залишається сталим, тобто відхиленням від нормалі на кут тертя φ .

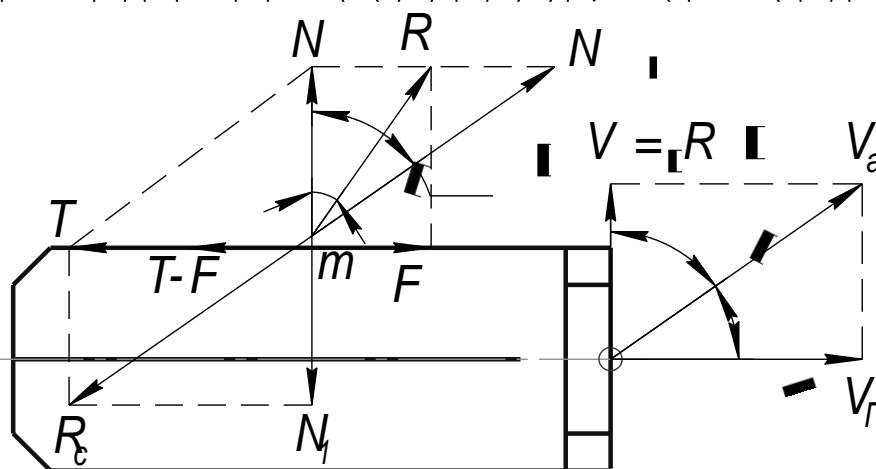


Рис. 2.7. Схема дії сил опору ґрунтового агрегату на Г-подібний ніж

При різанні із ковзанням із збільшенням кута ξ необхідний для різання нормальний тиск N інтенсивно падає. Дотична сила T , яка прямо пропорційна силі N також буде зменшуватися. Оскільки в більшості випадків $\operatorname{tg} \varphi < 1$, то крива $T = f_2(\xi)$ пройде нижче кривої $N = f_1(\xi)$. При $\xi = \pi/2$ сили N , T і R прагнуть до нуля і процес різання завершується.

Отже, можна зробити висновок, що найбільш ефективно технологічний процес проріджування сходів цукрового бур'яка (а також і прополовання бур'яну) буде виконуватись при реалізації процесу різання із ковзанням.

При побудові технологічної схеми роботи ножа (виконання технологічного процесу різання) необхідно виходити з абсолютної швидкості V_a

руху ножа в ґрунті (рис. 2.7). Величина цієї швидкості повинна бути достатньою для підрізування рослин і ґрунту в рядку, але не повинна перевищувати значення, при якій частинки ґрунту можуть пошкоджувати рослини. Оптимальне значення

швидкості абсолютної швидкості V_a знаходиться в межах 2...3,5 м/с [25].

При переміщенні ножа проріджувача в ґрунті в напрямку абсолютної швидкості V_a , він своїм лезом тисне силою N_v на стеблину паростка буряка, а

стеблина та ґрунт (ґрунтовий агрегат) тиснуть на лезо із силою R_c , яка за

величиною рівна силі N_v , але має протилежний напрямок (рис. 2.7). Розкладемо

силу R_c на нормальну N_1 та дотичну T складові. При розгляданні стеблини або

кореня паростка буряка сила T буде рухаючою силою, яка намагається

перемістити паросток по лезу ножа, а сила F буде в даному випадку силою опору.

При переміщенні стеблини буряка по лезу сила тертя відхиляє реакцію N на кут тертя ϕ .

Переміщення стеблини паростка буряка по лезу ножа проріджувача

відбувається внаслідок того, що сила тертя, набувши свого максимального

значення $F = N \cdot \operatorname{tg} \phi$, не в змозі зрівноважити дотичну складову тиску T . Тому

спостерігається ковзання стеблини паростка буряка вздовж леза під дією сили

$T - F$. Результуючою їх буде сила R , яка нахилена під кутом тертя ϕ до сили

нормального тиску в бік, протилежний руху паростка буряка по лезу ножа.

Виходячи із кінематичного і силового аналізу технологічного процесу

проріджування сходів цукрового буряка, можна сформулювати граничні умови

для вибору оптимальної швидкості виконання процесу проріджування:

- для забезпечення максимальної продуктивності, поступальна швидкість

проріджувача повинна бути максимальною: $V_i \rightarrow V_{i \max}$ (впливає із кінематичного аналізу);

- абсолютна швидкість V_a руху ножа в ґрунті повинна бути достатньою для підрізування рослин і ґрунту, але не перевищувати значення, при якому

відкидувані частинки ґрунту можуть пошкоджувати рослини: $V_a \leq 5.5$ м/с [25];

- кут ξ між нормаллю до леза ножа та вектором абсолютної швидкості руху

ножа повинен бути більшим кута тертя φ ґрунтового агрегату по лезу ножа: $\xi \geq \varphi$ (випливає із силового аналізу).

Визначимо оптимальні швидкості руху ножа проріджувача застосовуючи графо-аналітичний метод.

На основі граничної умови (2) та залежності (2.20), перетворюючи її відносно поступальної швидкості руху ножа V_{i1} та підставляючи значення $V_{a1} \leq 5.5$ м/с, можна записати:

$$V_{i1} = \sqrt{5.5^2 + \omega^2 R^2}, \quad (2.30)$$

де ω – кутова швидкість руху крайньої точки ножа, 1/с;

R – радіус кола, описаного крайньою точкою ножа, м ($R = 300$ мм).

Згідно третьої граничної умови та рис. 2.7. можна також записати вираз:

$$V_{i2} = \omega R \cdot \operatorname{tg} \xi, \quad \xi \geq \varphi, \quad (2.31)$$

де кут тертя φ можна визначити із наступних міркувань.

Відомо, що коефіцієнт тертя f пов'язаний із кутом тертя залежністю:

$$f = \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.32)$$

Оскільки для технологічного процесу проріджування сходів цукрового буряка, за даними Синьоокова Г.М., $f = 0.7$ [22], то кут тертя буде:

$$\varphi = \operatorname{arctg}(0.7) \approx 35^\circ.$$

Розв'язуючи сумісно систему рівнянь (2.30) та (2.31) можна визначити

діапазон оптимальних значень поступальної швидкості V_{i1} проріджувача.

Графічно цей розв'язок представлено на рис. 2.8.

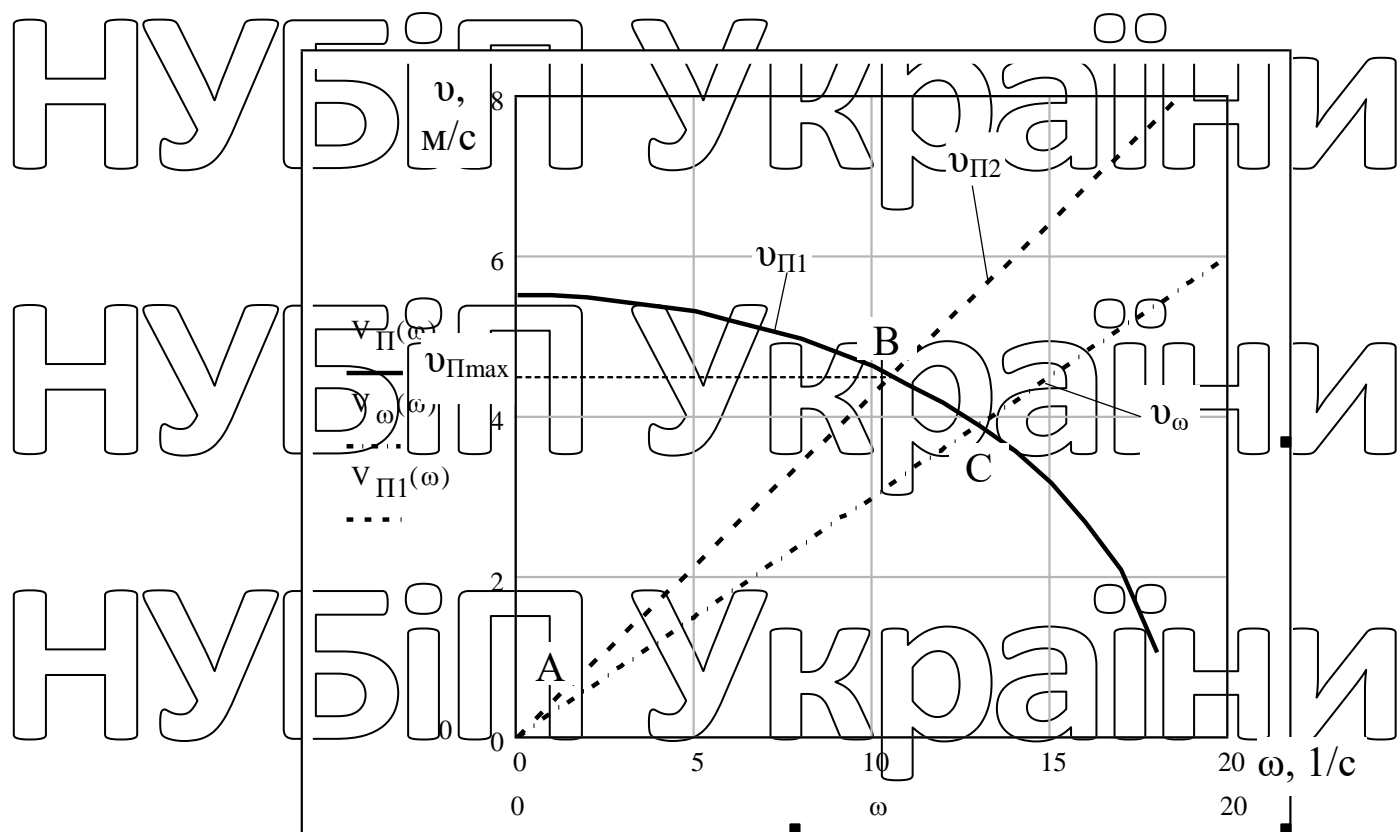


Рис. 2.8. Діапазон оптимальних значень поступальної швидкості проріджувача

Оптимальне значення поступальної швидкості v_0 проріджувача знаходиться в межах трикутника ABC. Оскільки, згідно першої граничної умови, максимальна продуктивність проріджувача буде при його максимальній поступальній швидкості (при незмінних інших параметрах), то, відповідно, максимальною оптимальною швидкістю проріджувача буде поступальна швидкість, яка відповідає точці B на рис. 2.8.

З розрахунку випливає, що оптимальними будуть наступні значення кінематичних параметрів: поступальна швидкість – $V_i = 4,6$ м/с;

швидкість ножа – $V_\omega = 3$ м/с (при частоті обертання $\omega \approx 10$ об/хв.); абсолютна швидкість ножа – $V_a = 5,5$ м/с; кут між нормаллю до леза ножа та вектором

абсолютної швидкості руху ножа $\xi = 56,75^\circ > \varphi = 35^\circ$; показник кінематичного режиму $\lambda = 1,53$.

Для розрахунку зусиль, що діють в елементах проріджувальної секції, необхідно визначити реакції з боку ґрунту на ножі та колеса секції при виконанні технологічного процесу проріджування сходів буряка.

Для визначення зусилля, яке виникає при переміщенні ножа в ґрунті (елементарна сила опору ґрунту), скористаємось формулою [24]:

$$R_c = k \cdot a, \quad (2.33)$$

де k – розрахунковий питомий опір на 1 см глибини занурення ножа в ґрунт.

a – глибина занурення ножа в ґрунт, см.

За експериментальними даними В.С. Жегалова $k = 50 \text{ Н/см}$.

Максимальне занурення ножа в ґрунт при його вертикальному положенні становить $a = 3 \text{ см}$.

$$R = 50 \cdot 3 = 150 \text{ Н}$$

Для визначення напрямку дії елементарної сили опору ґрунту розглянемо розрахункову схему переміщення ножа у горизонтальному напрямку (рис. 2.9).

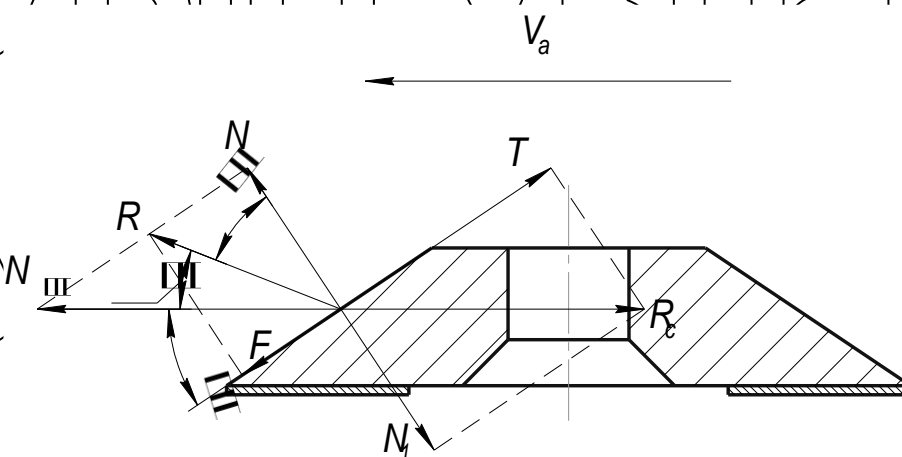


Рис. 2.9. Розрахункова схема дії зусиль на ніж у вертикальній площині

При реалізації процесу різання ковзанням, кут δ нахилу елементарної сили опору ґрунту до горизонту визначатиметься залежністю:

$$\delta = 90 - \alpha - \varphi \quad (2.34)$$

де α – кут загочування ножа, град.

Для Г-подібного ножа при $\alpha = 21^\circ$ $\delta = 90 - 21 - 35 = 34^\circ$,

Для Т-подібного ножа при $\alpha = 33^\circ$, $\delta = 90 - 33 - 35 = 22^\circ$.

Розглянемо зусилля, які діють на елементи проріджуючої секції в стані рівноваги (рис. 2.10).

Визначаємо вертикальні (Z) та горизонтальні (Y) проекції елементарної сили опору ґрунту на Г-подібному (індекс 1) та Т-подібному (індекс 2) ножах:

$$R_{Y1} = R \cos(34^\circ) = 150 \cos(34^\circ) = 124.4 \text{ Н,}$$

$$R_{Y2} = R \cos(22^\circ) = 150 \cos(22^\circ) = 139.1 \text{ Н,}$$

$$R_{Z1} = R_{Z2} = R \sin(\xi) = 150 \sin(56.75^\circ) = 125.4 \text{ Н.}$$

Рівновага робочої секції проріджувача забезпечуватиметься за умови:

$$4R_0 \cdot 360 = G_{\text{сек}} \cdot 345 + 2R_{Z1} \cdot 100 + 2R_{Z2} \cdot 25 \quad (2.35)$$

де $G_{\text{сек}}$ – вага проріджуючої секції, Н, $G_{\text{сек}} = 200 \text{ кг} \approx 2000 \text{ Н}$.

З рівняння рівноваги проріджуючої секції визначимо реакцію на опорному колесі секції:

$$R_0 = \frac{G_{\text{сек}} \cdot 345 + 2R_{Z1} \cdot 100 + 2R_{Z2} \cdot 25}{4 \cdot 360} = 500.95 \text{ Н}$$

Визначимо горизонтальну складову реакції опорного колеса секції:

$$Q = R_0 \sin(\beta) = 500.95 \sin(15^\circ) \approx 130 \text{ Н.}$$

де $\beta = 10 \dots 15^\circ$ - кут відхилення реакції ґрунту при перекочуванні колеса.

Визначимо силу, необхідну для переміщення проріджуючої секції,

проектуючи на вісь Х складові сил опору на колесах та ножах.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

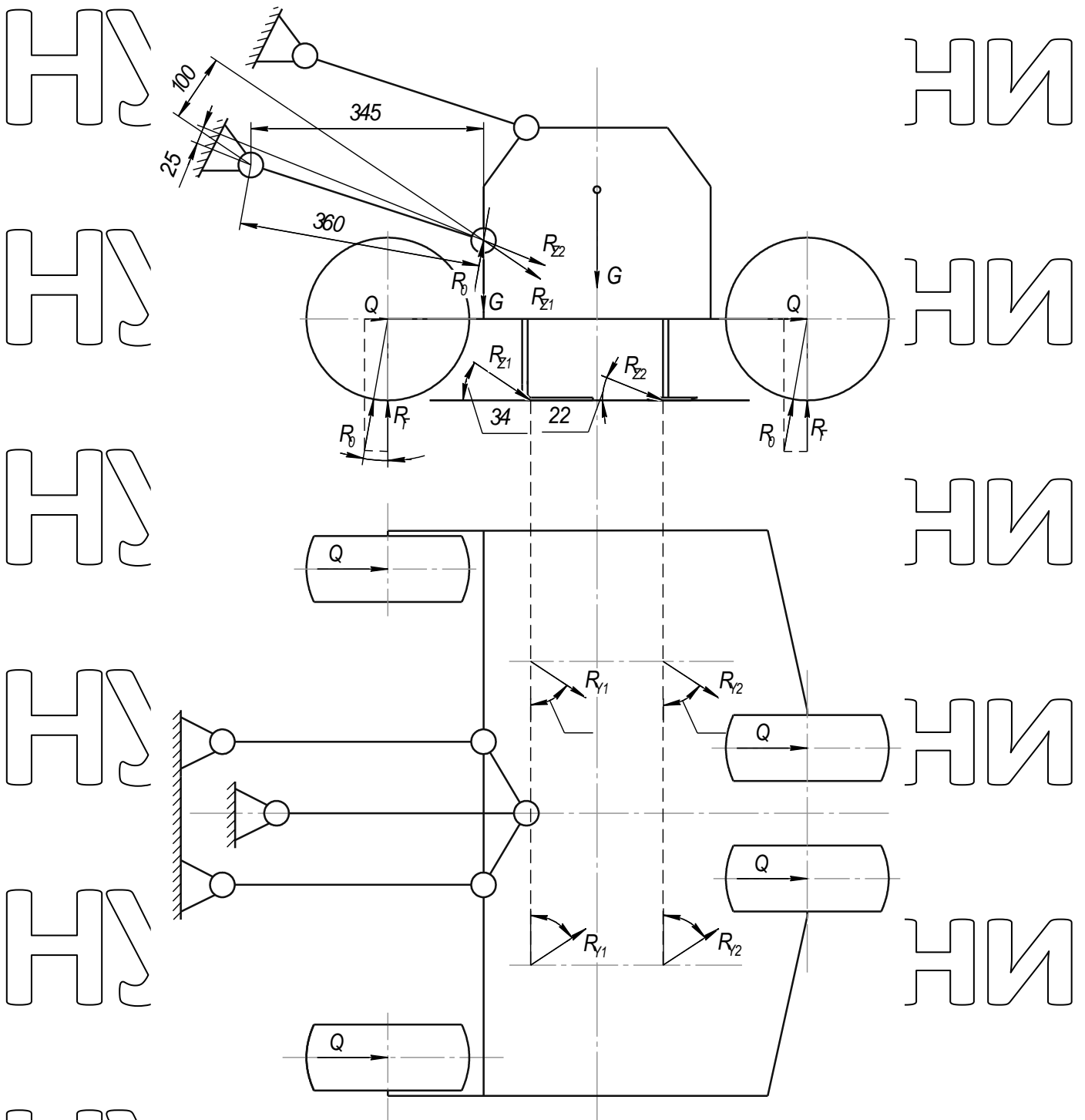


Рисунок 2.10. Розрахункова схема для визначення зусиль у елементах автоматичного проріджувача ПСА-2.7

НУБІІ УКРАЇНИ

2.4. Розрахунок ланки паралелограмної підвіски

$$P_x = 4Q + 2R_{Y1} \sin(\xi) + 2R_{Y2} \sin(\xi), \quad (2.36)$$

$$P_x = 4 \cdot 130 + 2 \cdot 124.4 \cdot \sin(56.75^\circ) + 2 \cdot 139.1 \cdot \sin(56.75^\circ) \approx 960 \text{ Н}.$$

Розрізняють дві системи кріплення робочих органів до рам культиваторів жорстку та шарнірну. При шарнірній системі робочі органи з рамою з'єднані рухомо і кожний робочий орган (або їх група) переміщається у вертикальній площині відносно рами. Таке переміщення дає можливість робочим органам копіювати рельєф поля та забезпечувати більш рівномірну глибину обробітку.

Розрізняють одношарнірну (радіальну) індивідуально-повідкову та секційну і багато шарнірну (паралелограмну) системи з'єднання робочих органів з рамою [6].

Паралелограмна система кріплення – це система, при якій секція з робочими органами та опорними колесами кріпиться до бруса рами паралелограмним механізмом. Ця система забезпечує найкращу рівномірність глибини обробітку. До її недоліків можна віднести те, що вона складніша від одношарнірної.

Верхня регульована тяга паралелограмної підвіски виконана у вигляді різьбового з'єднання, що дозволяє встановлювати проріджуючу секцію у горизонтальне положення.

Різьбові стержні паралелограмної підвіски виготовляються нормальної точності із сталі Ст 3. Вони встановлені із попереднім затягуванням. При виконанні технологічного процесу проріджування можливе ще більше затягування стержнів.

Вважаємо, що верхня та нижня тяги паралелограмної підвіски рівномірно сприймають навантаження від переміщення проріджуючої секції. Зовнішнє навантаження, яке припадає на одну тягу, буде рівне половині сили, необхідної

для переміщення проріджуючої секції, яка визначається за формулою (2.36).

Визначимо осьову силу, яка розтягує різбовий елемент, тобто силу, що діє на стержень після додаткового затягування зовнішньою силою [2]:

$$F_a = (K_A(1 - \chi) + \chi) \cdot \frac{P_X}{2}, \quad (2.37)$$

де K_B - коефіцієнт затягування різбового елемента, $K_B = 3$ [2];

χ - коефіцієнт зовнішнього навантаження, $\chi = 0,5$ [2].

$$F_a = (3 \cdot (1 - 0,5) + 0,5) \cdot \frac{960}{2} = 960 \text{ Н.}$$

Визначимо допустиме напруження на розтяг матеріалу болта за формулою [2]:

$$[\sigma_p] = \sigma_T / [s], \quad (2.38)$$

де σ_T - межа текучості для сталі Ст.3 $\sigma_T = 220 \text{ МПа}$;

$[s]$ - коефіцієнт запасу міцності, $[s] = 4$ [2].

Тоді

$$[\sigma_p] = 220 / 4 = 55 \text{ МПа.}$$

Внутрішній діаметр різбового стержня визначимо за формулою [2]:

$$d_1 = 1,31 \cdot \sqrt{F_a / [\sigma_p]} \quad (2.39)$$

Підставивши у формулу (2.39) числові дані, отримаємо:

$$d_1 = 1,31 \cdot \sqrt{960 / (55 \cdot 10^6)} = 0,00547 \text{ м.}$$

По СТ ССВ 181-76 приймемо різбовий стержень з різбом М8, внутрішній діаметр якого $d_1 = 6,466 \text{ мм}$.

Розрахункова схема для визначення зусиль у кріпленні переднього кронштейна, який забезпечує приєднання робочої секції до бруса основної рами

проріджувача, показана на рис. 2.11.

Нехтуючи контактними напруженнями, що виникають по периметру квадратного бруса рами машини ПСА-2.7, стан рівноваги кріплення переднього кронштейна паралелограмної підвіски робочої секції проріджувача можна

записати наступним рівнянням:

$$2P_6 \cdot 40 = \frac{P_x}{2} \cdot 165 + \frac{P_x}{2} \cdot 45$$

$$P_6 = \frac{\frac{P_x}{2} \cdot (165 + 45)}{2 \cdot 40} ; P_6 = \frac{960 \cdot (165 + 45)}{2 \cdot 40} = 1.26 \text{ кН.}$$

звідки:

За формулою (2.39) визначаємо необхідний діаметр болтів:

$$d_6 = 1,31 \cdot \sqrt{1,26 \cdot 10^3 / (55 \cdot 10^6)} = 0,00627 \text{ мм.}$$

По СТ СЄВ 181-76 прийемо різьбовий стержень з різьбою М8,

внутрішній діаметр якого $d_1 = 6,466$ мм.

На робочих секціях проріджувача встановлюють опорні колеса з

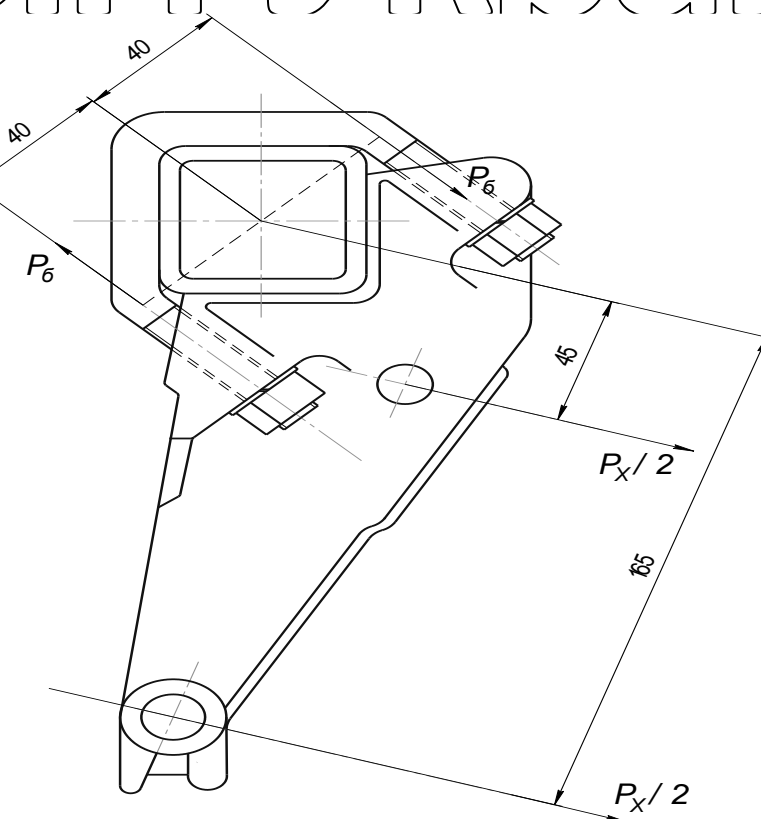


Рис. 2.11. Розрахункова схема для визначення зусиль у кріпленні переднього кронштейна проріджуючої секції

пневматичними шинами (діаметр колеса 230 мм, ширина \ominus 100 мм), на які навантаження діє тільки під час виконання технологічного процесу проріджування сходів цукрового буряка. Перевагою пневматичних коліс у порівнянні з металевими колесами є менший опір коченню, і на відміну від інших коліс, вони не так сильно подрібнюють ґрунт на пилоподібні фракції.

Оскільки конструкція проріджувальної секції змінилась, то необхідно перевірити, чи підходить колесо застосовуваного діаметру до робочої секції нової конструкції.

Необхідний діаметр колеса для проріджуючої секції нової конструкції можна розрахувати із формули Грандвуане-Горячкіна, яка визначає опір перекошування колеса (необхідну штовхаючу силу) [12]:

$$Q = 0.86^3 \sqrt{\frac{G^4}{qbd^2}}, \quad (2.40)$$

де G – частина ваги агрегату, яка припадає на одне колесо, Н;

q – коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, $q=2,0-4,0$ Н/см³ [24];

$b = 100$ мм – ширина колеса,

d – діаметр колеса, мм.

З формули (2.40) визначаємо мінімальний діаметр колеса:

$$d = \sqrt[3]{\frac{0.86^3 (G/4)^4}{q \cdot b \cdot Q^3}}, \quad (2.41)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{0.86^3 (2000/4)^4}{4 \cdot 10^6 \cdot 0.1 \cdot 130^3}} = 0.214 \text{ м.}$$

Отже, колесо діаметром 230 мм, яке застосовувалось на проріджуючій секції базової конструкції підійде і для проріджуючої секції нової конструкції.

Розрахуємо необхідний діаметр осі, на яку кріпитиметься опорне колесо

робочої секції проріджувача ПСА-2.7.

На вісь колеса у небезпечному перетині діє згинальний момент:

$$M_B = R_{\Gamma} \cdot l_B, \quad (2.42)$$

де $R_{\Gamma} = R \cos \beta$ - вертикальна складова опору ґрунту, Н (рис. 2.10);

l_B - плече дії сили R_{Γ} , м. $l_B = 0,070$ м.

$$M_B = 500,95 \cdot \cos(15^\circ) \cdot 0,07 = 33,87 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Діаметр осі у небезпечному перетині визначають за формулою [24]:

$$d_B \geq \sqrt[3]{M_B / 0,1[\sigma]}, \quad (2.43)$$

$$d_B \geq \sqrt[3]{33,87 / 0,1 \cdot 55} = 0,018 \text{ м}.$$

Отже, мінімальний діаметр осі колеса становить 18 мм.

2.5. Виновки до розділу

1. При сталій кутовій швидкості обертання ножа проріджувача $\omega = const$ і

сталій поступальній швидкості агрегату $V_a = const$, значення абсолютного прискорення периферійної точки леза ножа дорівнює значенню її відцентрового прискорення, яке описується залежністю (2.23).

2. На основі теоретичного аналізу встановлено раціональні параметри

робочого процесу проріджування: поступальна швидкість – $V_i = 4,6$ м/с; колова

швидкість ножа $V_{\omega} = 3$ м/с (при частоті обертання $\omega \approx 10$ об/хв.); абсолютна

швидкість ножа $V_a = 5,5$ м/с; кут між нормаллю до леза ножа та вектором

абсолютної швидкості руху ножа $\xi = 56,75^\circ > \varphi = 35^\circ$; показник кінематичного

режиму $\lambda = 1,53$.

3. Встановлено, що необхідна сила для переміщення проріджувачої секції

становить 960 Н при мінімальному діаметрі опорного колеса секції 0,214 м.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ

3.1. Планування експериментальних досліджень проріджувача

Планування експерименту – це засіб побудови математичних моделей різних процесів, які зв'язують параметр оптимізації із всіма факторами, що впливають на нього і в кінцевому випадку це способи скорочення часу і зменшення засобів проведення експерименту, а також підвищення продуктивності праці дослідника.

Під плануванням експерименту розуміють оптимальне (найбільш ефективне) управління ходом експерименту з метою отримання максимально можливої інформації на основі мінімальної допустимої кількості досвідчених даних

Експеримент, в якому реалізуються всі можливі комбінації рівнів факторів, тобто при реалізації якого визначається значення параметра оптимізації при всіх можливих поєднаннях рівнів варіювання факторів називається повний факторний експеримент, або скорочено ПФЕ.

В багатофакторному експерименті на об'єкт дослідження діють два і більше факторів, які в ході експерименту приймають різні значення своїх величин, тобто варіюють в області визначення експерименту.

Багатофакторні експерименти проводяться в такій послідовності:

- постановка задач та мети дослідження;
- вибір факторів та параметрів оптимізації експерименту;
- збирання та аналіз апріорної інформації про об'єкт дослідження;

НУБІП України

- вибір математичної моделі;
- складення схеми проведення дослідів;
- проведення експерименту;
- обробка результатів експерименту статистичними методами і

методом регресійного аналізу.

НУБІП України

Початком експериментальних досліджень є збирання, вивчення та аналіз всіх даних про об'єкт дослідження.

В результаті проведення попереднього апріорного етапу дослідник

повинен:

НУБІП України

- скласти повний список факторів, виходячи із того, що краще навести декілька малозначущих факторів, чим пропустити один суттєвий;

- задати орієнтовні межі зміни факторів з урахуванням вимог

однозначності – процес може бути реалізований при цих комбінаціях рівнів;

НУБІП України

- вибрати параметри оптимізації в відповідності із поставленою метою та задачами досліджень.

Якщо список факторів великий (більше семи) необхідно провести відсіювання малозначущих факторів.

НУБІП України

Після визначення списку факторів, які діють на об'єкт дослідження і вибору параметра оптимізації, приступають до планування, проведення і обробки результатів ПФЕ, які складаються із наступних обов'язкових етапів:

- вибору математичної моделі;

- кодування факторів;

НУБІП України

- складання плану – матриці експерименту;

- рандомізації дослідів;

- реалізації планів експерименту;

- перевірки відтворюваності дослідів;

НУБІП України

- розрахунку коефіцієнтів регресії;

• перевірки адекватності лінійної моделі, оцінки значимості коефіцієнтів рівняння регресії.

Вибір математичної моделі проводять наступним чином

Нехай ми встановили, що на процес чи об'єкт, який нами досліджується, мають вплив два фактори: X_1 – поступальна швидкість руху проріджувача, X_2 – частота обертання ножа і ми хочемо вивчити характер впливу цих факторів на явище або признак цього об'єкту Y , тобто на параметр оптимізації, або кількість вирізаних букетів (рослин) на певному проміжку рядка буряків.

В цьому випадку функцію відгуку можна записати в вигляді $Y = f(X_1, X_2)$

та, при необхідності, побудувати декілька кривих $Y = f(X_1)$ при $X_2 = \text{const}$, або навпаки.

На першому етапі планування експерименту прагнуть отримати лінійну математичну модель.

Для повного факторного експерименту описують функцію відгуку лінійним рівнянням регресії виду:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \sum_{i \geq j}^n b_{ij} X_i X_j, \quad (3.1)$$

де: X_i, X_j – значення факторів;

b_0 – вільний член, рівний виходу при $X_i = 0$;

b_i – коефіцієнти регресії відповідних факторів, які вказують вплив того чи іншого фактора на об'єкт дослідження;

b_{ij} – коефіцієнти регресії відповідних факторів подвійної взаємодії факторів.

Тоді, для двох факторів X_1 і X_2 лінійне рівняння регресії буде мати вигляд:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2. \quad (3.2)$$

Взаємодія факторів в повно факторному експерименті говорить про те, що зміна одного фактора супроводжується пропорційною зміною результатів експерименту. Коефіцієнти рівняння регресії розраховуються за отриманими

результатами в ході проведення експерименту. Визначив ці коефіцієнти, експериментатор отримує уяву про вплив факторів на об'єкт, про взаємодію факторів і про напрямлення руху до оптимальної області. Чим більше чисельне значення коефіцієнта, тим більший вплив фактора.

Якщо коефіцієнт регресії має знак “плюс”, тоді з збільшенням значення фактора параметр оптимізації збільшується, а якщо “мінус”, то зменшується.

Величина коефіцієнта відповідає вкладу даного фактора в величину параметра оптимізації при переході фактора із нульового (середнього) рівня на верхній або нижній.

Якщо при вибраних нами інтервалах варіювання факторами процес описується нелінійною залежністю, а квадратичною, то функція відгуку буде описуватися таким рівнянням:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \sum_{\substack{i,j \\ i \geq j}}^n b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^n b_i X_i^2, \quad (3.3)$$

Поліном (3.3) має порядок другої степені, якої для практичного опису більшості технологічних процесів в сільському господарстві та інших галузях народного господарства буває достатньо в повному обсязі.

Побудову плану ПФЕ проводять в такій послідовності.

При складанні плану ПФЕ попередньо вибирають рівні варіювання та інтервал варіювання факторів.

Як правило, в багатофакторних експериментах фактори варіюють на двох рівнях, що дозволяє значно зменшити об'єм експериментальної та розрахункової роботи.

В теорії планування експерименту двофакторний експеримент прийнято позначати $\text{ПФЕ}2^n$, де n – число рівнів варіювання факторів, тобто якщо фактори встановлюють на двох рівнях, то це експеримент типу 2^2 або $\text{ПФЕ}2^2$, якщо фактори встановлюються на трьох рівнях – типу 2^3 або, $\text{ПФЕ}2^3$.

При постановці повного факторного експерименту кожний рівень одного фактора співвідноситься із кожним рівнем другого. При двофакторному експерименті типу $\text{ПФЕ}2^2$, в якому фактори X_1 і X_2 варіюють на двох рівнях, можливі 4 варіанти рівнів, які ми позначили: верхній рівень варіювання фактора як (+1), а відповідно нижній – як (-1), тобто провели кодування факторів.

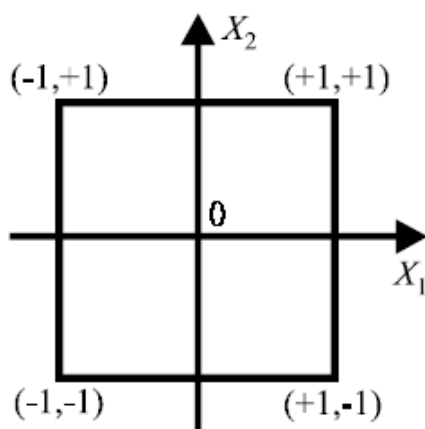


Рис. 3.1. Повний факторний експеримент 2^2

Ці варіанти можуть бути представлені графічно вершинами квадрату, як показано на рис. 3.1.

Для спрощення планування і послідуочих обчислень здійснюють центрування факторів шляхом переносу координат системи факторів X_i в центр експерименту з координатами в натуральних перемінних

$$X_{i0} = (X_i - X_{i0}) / \Delta X_i, \quad (3.4)$$
 після чого фактори X_i переводяться із натуральних перемінних, які мають фізичний розмір, в безрозмірні, тобто кодовані.

Кодовані і фізичні величини факторів зв'язані між собою співвідношенням:

$$X_i' = (C_i - C_{i0}) / \lambda_i, \quad (3.5)$$

де: X_i' – кодоване значення i -го фактора;
 C_i – натуральне значення i -го фактора на одному із рівнів (верхньому або нижньому);
 C_{i0} – натуральне значення i -го фактора на основному рівні;
 λ_i – інтервал варіювання (півдіапазон зміни) i -го фактора, який визначається

$$\lambda_i = 0,5 (C_{i\max} - C_{i\min}), \quad (3.6)$$

3.2 Кодування факторів рівнозначно переносу початку координат в точку

Кодування факторів рівнозначно переносу початку координат в точку основного, тобто 0 рівня факторів і зміни масштабу (рис. 3.1).

Кодування факторів приводить до того, що всі фактори можуть змінюватися в діапазоні $-1 \leq X_i \leq +1$.

Тоді на верхньому рівні варіювання кодовані значення факторів будуть:

$$X_1^+ = (C_1^+ - C_{10}) / (C_1^+ - C_{10}) = +1;$$

$$X_2^+ = (C_2^+ - C_{20}) / (C_2^+ - C_{20}) = +1;$$

а на нижньому рівні:

$$X_1^- = (C_1^- - C_{10}) / (C_{10} - C_1^-) = -1,$$

$$X_2^- = (C_1^- - C_{20}) / (C_{20} - C_2^-) = -1.$$

Комбінації умов експерименту типу 2^2 , або ПФЕ 2^2 можна виразити в вигляді таблиці співвідношень різних рівнів факторів, які розглядаються і які укладені в ній в відповідних строках і стовпцях.

Така таблиця називається матрицею планування експерименту, або план – матриця, тобто таблиця, яка містить умови проведення всіх дослідів в відповідності з вибраним планом.

Строки матриці відповідають різним дослідям, а стовпці – значенням факторів.

План – матриця ПФЕ 2^2 для факторів в натуральних (табл. 3.1) і кодованих (табл. 3.2) величинах буде мати такий вигляд:

№ досліду	Рівні факторів		Відгук Y
	C ₁	C ₂	
1	C ₁ ⁻	C ₂ ⁻	y ₁
2	C ₁ ⁺	C ₂ ⁻	y ₂
3	C ₁ ⁻	C ₂ ⁺	y ₃
4	C ₁ ⁺	C ₂ ⁺	y ₄

Таблиця 3.1

План – матриця ПФЕ 2^2 для факторів в натуральних величинах

План – матриця ПФЕ 2^2 для факторів в кодованих величинах

№	x ₀	x ₁	x ₂	x ₁ x ₂	y
1	+1	-1	-1	+1	y ₁
2	+1	+1	-1	-1	y ₂
3	+1	-1	+1	-1	y ₃
4	+1	+1	+1	+1	y ₄

Таблиця 3.2

В першому стовпці табл. 3.2 записані номери дослідів без повторностей. При реалізації дослідів їх необхідно рандомізувати з урахуванням повторностей дослідів. Це варіанти досліджень. Другий стовпець уявляє собою “фіктивну” перемінну X₀, третій і четвертий стовпці уявляють собою безпосередньо планування, утворюючи можливі комбінації знаків факторів (умов досліджень).

П'ятий стовпець показує можливі взаємодії факторів X_1 і X_2 і їх знаки в тому чи іншому досліді.

В останній стовпець заносяться результати дослідів, як правило середні значення двох і більше повторностей дослідів.

При проведенні експерименту, зрозуміло, що на параметр оптимізації впливають не тільки вибрані нами фактори X_1 та X_2 , але і інші фактори, які в даному випадку нам не відомі.

Для того, щоб ввести елемент випадковості впливу цих невідомих факторів на результат експерименту, встановлюють випадковий порядок постановки дослідів за часом.

Це необхідно при наявності великої неоднорідності впливу неконтрольованих і некерованих факторів на параметр оптимізації та великої неоднорідності умов проведення експерименту.

Наприклад, досліджується рівномірність заробки насіння від швидкості руху сіялки, коли досліди на одній швидкості руху будуть проведені при одній щільності і вологості ґрунту, а інші – вже при змінених значеннях щільності і вологості.

В результаті такого експерименту отримаємо спотворені дані і досліди будуть нерівноцінні.

Рандомізація – це чергування окремих дослідів або груп дослідів в випадковому порядку.

Термін “рандомізація” походить від англійського слова random, тобто випадковий.

Рандомізація проведення дослідів дозволяє:

- забезпечити рівномірне внесення елементу випадковості впливу неконтрольованих і некерованих факторів на відгук, тобто параметр оптимізації;

- ґрунтовно використовувати апарат математичної статистики при обробці результатів експерименту;

- виключити вплив систематичних похибок, які викликані зовнішніми умовами;
 - проводити різні дослід в однакових умовах.

Таким чином, в результаті усереднення впливу ефектів неконтрольованих і некерованих факторів є можливість порівнювати результати подібних дослідів.

Рандомізація дослідів – обов'язковий прийом в випадку неоднорідності умов проведення експерименту.

Її потрібно використовувати завжди в експерименті, навіть якщо це збільшує час проведення і вносить додаткові ускладнення.

Технічна процедура рандомізації може відбуватися декількома способами:

- при допомозі таблиць випадкових чисел;
- підкиданням монети;
- способом жеребкування – витягуванням листків з номерами дослідів

і т.д.

Але найкращим способом є використання таблиць випадкових чисел, які приводяться в багатьох книгах математичної статистики.

Застосування таблиці випадкових чисел розглянемо на такому прикладі.

При реалізації матриці планування експерименту типу 2^3 необхідно провести $N = 8$ дослідів.

Припустимо, що експериментатор може провести в перший день 4 дослідів і в другий день таку ж кількість.

При відсутності гарантій ідентичних умов проведення експерименту в перший та другий день, якщо провести дослід № 1, 2, 3 і 4 в перший день, коли X_1 знаходиться на нижньому рівні, а дослід № 5, 6, 7 і 8 в другий день, коли X_1 знаходиться на верхньому рівні, тоді різниця в умовах проведення може викликати систематичну похибку, яка вплине на величину коефіцієнта регресії

b_1 .

При використанні таблиці випадкових чисел необхідно:

- пронумерувати об'єкти які треба рандомізувати;

- навмання вибрати стовпець, і рухаючись вниз ~~повз~~довж стовпця виписувати цифри, які зустрічаються і якими були пронумеровані об'єкти від 1 до 8, при цьому необхідно опускати цифри, які зустрічаються два, три і т.д. разів;

При наявності в кожному досліді двох повторностей (паралельних дослідів) необхідно:

- випадково розташувати всі 16 дослідів, позначив паралельні досліді номерами з 9 до 16. Тоді дослід № 9 буде повторним дослідом по відношенню до дослідів № 1, десятий до другого і т.д.

- за таблицею випадкових чисел виписати послідовність проведення першої серії дослідів, наприклад, 2,5,8, а потім другої серії дослідів, 15,9,12.

В довготривалих за часом експериментах вплив неконтрольованих факторів можна ліквідувати поділом експерименту на блоки і змішуванням неконтрольованих ефектів з незначними взаємодіями.

При дослідженні враховуються неоднорідності двох основних типів:

- дискретні неоднорідності, які зв'язані, наприклад, з послідовною роботою машини на полях із різною урожайністю, типом і фізичним станом ґрунту та сільськогосподарським матеріалом, обробкою неоднорідних партій матеріалів (зерноочисні машини, розкидачі добрив і т.д.);

- неперервні неоднорідності, які обумовлені рельєфом поля, великомасштабними неоднорідностями ґрунту і розподілення урожаю, коливаннями добових температур, зміною маси машини при завантаженні і т.д.

З метою ліквідації лінійних ефектів і ефектів першого порядку від можливих різних умов проведення експерименту, при плануванні допускається змішування між блокових ефектів з ефектами взаємодії другого порядку.

Наприклад, для виконання плану польового експерименту типу ПФЕ²³ по збиральним машинам із-за його трудомісткості доцільно проводити два блок експериментів – в першій та другій половині дня.

Оптимальна рандомізація такого експерименту заключається в поділі експерименту типу ПФЕ2³ на два плани експериментів типу ПФЕ2², які розміщені в часі випадковим чином (за таблицею випадкових чисел).

РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1. Визначення витрат, пов'язаних з удосконаленням виробу

Удосконалення робочої секції проріджувача цукрового буряка ПСА-2.7 дає переваги над існуючою конструкцією секції за рахунок збільшення ресурсу роботи та надійності при деякому збільшенні загальної металомісткості спарених проріджуючих секцій машини за рахунок використання додаткового бруса кріплення спарених проріджуючих секцій.

Визначимо виробничу собівартість конструкторської розробки спареної робочої секції проріджувача ПСА-2.7 користуючись формулою [15]:

$$C_{\text{КР}} = C_{\text{МАШ}} + 3I + C_{\text{МЕТЗ}} + C_{\text{МОНТ}} + I_{\text{ВИТ}}, \quad (4.1)$$

де $C_{\text{МАШ}}$ - ціна матеріалу робочої секції машини, яку визначимо за формулою:

$$C_{\text{МАШ}} = m_{\text{МЕТ}} \cdot C_{\text{1КГ.МЕТ}} = 4 \cdot 22 = 88 \text{ грн.},$$

де $m_{\text{МЕТ}}$ - маса металу, необхідна при модернізації робочої секції проріджувача

$$m_{\text{МЕТ}} \approx 4 \text{ кг};$$

$$C_{\text{1КГ.МЕТ}} - \text{ціна 1 кг металу, } C_{\text{1КГ.МЕТ}} = 22 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{МЕТЗ}} - \text{ціна метизів, } C_{\text{МЕТЗ}} = 24 \text{ грн.},$$

$$C_{\text{МОНТ}} - \text{ціна монтажу, } C_{\text{МОНТ}} = 35 \text{ грн.};$$

$$I_{\text{ВИТ}} - \text{інші витрати, } I_{\text{ВИТ}} = 15 \text{ грн.}$$

Тоді:

$\Pi_{кр} = 88 + 24 + 35 + 15 = 162$ грн.

При порівняльному розрахунку економічної ефективності інженерного рішення такі складові як $\dot{O}_{i\Delta\partial\zeta}$, $\dot{O}_{iii\partial}$ та ${}^2_{\Delta\Xi\partial}$ не визначаються, так як вони або

залишаються такими ж як і в базовому варіанті ($\dot{O}_{iii\partial}$), або скорочуються

зовсім ($\dot{O}_{i\Delta\partial\zeta}$), а тому при порівнянні варіантів у відповідні статті витрат достатньо записати їх різницю.

4.2. Визначення техніко-економічних показників

Основний економічний ефект від вдосконалення робочої секції проріджувача сходів цукрового буряка забезпечується за рахунок підвищення надійності та довговічності конструкції спареної проріджуючої секції, а відповідно, і зменшення витрат на технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт машини, при деякому збільшенні маси робочої секції.

Основою для розрахунку показників економічної ефективності є прямі експлуатаційні витрати: відрахування на реновацію, капітальний та поточний ремонт, технічне обслуговування, оплата праці, затрати на паливно-мастильні

матеріали, а також якість та кількість продукції, яку одержують за допомогою порівнювальних машин.

Економічний ефект від виробництва і використання за термін служби нової (вдосконаленої) машини у карбованцях визначають за формулою [16]:

$$\mathcal{E}_{\text{т}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{г}}}{a_{\text{н}} + E}, \quad (4.2)$$

де $a_{\text{н}}$ – коефіцієнт відрахувань на реновацію по новій машині, $a_{\text{н}} = 12\%$;

E – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, $E = 0,15$;

$\mathcal{E}_{\text{г}}$ – річний економічний ефект від експлуатації нової машини, грн. [16];

$$\text{НУБІП України} \quad \mathcal{E}_r = V_3 (\Pi_6 - \Pi_n + \mathcal{E}), \quad (4.3)$$

де Π_6, Π_n – приведені витрати на одиницю напрацювання по базовій і новій машинах, грн./од. напрацювання;

\mathcal{E} – економічний ефект від вивільнення робочої сили, досягнутих умов праці, від зміни кількості і якості продукції на одиницю напрацювання, грн./од. напрацювання.

V_3 – річне напрацювання нової машини в умовах даної природнокліматичної зони, од. напрацювання/рік. Річне напрацювання нової машини в умовах даної природнокліматичної зони таке ж як і базової машини (табл. 5.10).

Приймаємо $\mathcal{E} = 0$, оскільки таких змін не відбувається.

Приведені витрати на одиницю напрацювання (Π) визначають за формулою [16]:

$$\text{НУБІП України} \quad \Pi = \mathcal{I} + K\mathcal{E}, \quad (4.4)$$

де \mathcal{I} – прямі експлуатаційні витрати на одиницю напрацювання, грн./од. напрацювання;

K – капітальні вкладення на одиницю напрацювання, грн./од. напрацювання.

Прямі експлуатаційні витрати на одиницю напрацювання (\mathcal{I}) у гривнях визначають за формулою [16]:

$$\mathcal{I} = \mathcal{Z} + \Gamma + P + A + \Phi, \quad (4.5)$$

де \mathcal{Z} – витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн./од. напрац.;

Γ – витрати на паливно-мастильні матеріали, грн./од. напрацювання;

P – витрати на технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт, грн./од. напрацювання;

A – витрати на реновацію, грн./од. напрацювання;

Φ – інші прямі витрати на основні й допоміжні матеріали (настіння, добрива,

гербициди, дріт, шпатель, тара), грн./од. напрацювання.

Витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу (3) у гривнях на одиницю напрацювання визначають за формулою [16]:

$$З = \frac{1}{W_{\text{см}}} \sum L_j \tau_j k_d, \quad (4.6)$$

де $W_{\text{см}}$ – продуктивність агрегату за 1 год. змінного часу, од. напрацюв./год.;

τ_j – часова тарифна ставка оплати праці обслуговуючого персоналу j -го розряду, грн./год.;

k_d – коефіцієнт, що враховує доплати по розрахунку за продукцію, премії, надбавки за класність і стаж роботи, кваліфікацію, оплату відпусток і нарахування по соціальному страхуванню;

L_j – кількість j -го виробничого персоналу, чол.

Оскільки витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, витрати на паливно-мастильні матеріали та інші прямі витрати на основні й допоміжні матеріали у базовому та новому варіантах не відрізняються, то їх розрахунок не проводиться. Розраховуємо лише витрати на технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт та витрати на реновацію.

Витрати на технічне обслуговування (ТО), поточний і капітальний ремонт визначають по нормативах відрахувань від балансової ціни машини або за даними випробувань при наявності інформації про вартість ремонтів і показники надійності.

Витрати на ТО, поточний і капітальний ремонт по нормативах відрахувань від балансової ціни машини визначають за формулою [16]:

$$P = \frac{B(r_t + r_k)}{V_{\text{эк}} T_{\text{ч}}}, \quad (4.7)$$

де B – балансова ціна машини, $B = 110500$ грн./

$W_{\text{эк}}$ – продуктивність агрегату або робітника за 1 год. експлуатаційного часу, од. напрацювання/год., $W_{\text{эк}} = 1,35$ га/год. (табл. 4.1);
 $t_r + t_k$ – коефіцієнти відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування та відрахувань на капітальний ремонт;

$T_{\text{ч}}$ – нормативне річне завантаження, год. $T_{\text{ч}} = 300$ год./рік.

Витрати на реновацію машини (A) у гривнях на одиницю напрацювання визначають за формулою [16]:

$$A = \frac{B_a}{W_{\text{эк}} T_z}, \quad (4.8)$$

де a – коефіцієнт відрахувань на реновацію машини;
 T_z – зональне річне завантаження, год.

За даними протоколів випробувань проріджувача ПСА-2.7 зональне річне завантаження дещо більше нормативного річного завантаження і складає 335 год./рік.

Капітальні вкладення (K) на одиницю напрацювання (в гривнях) на одну машину визначають за формулою [16]:

$$K = \frac{B}{W_{\text{эк}} T_z}, \quad (4.9)$$

Капітальні вкладення на одиницю напрацювання по базовій машині:

$$K_6 = \frac{11050}{1,35 \cdot 300} = 272,8 \text{ грн.}$$

Капітальні вкладення на одиницю напрацювання по новій машині:

$$K_H = \frac{110500 + 162}{1,35 \cdot 335} = 244,7 \text{ грн.}$$

Тут B_H визначаємо як суму балансової вартості базової машини та собівартості конструкторської розробки спареної робочої секції проріджувача.

Витрати на реновацію базової та нової машин на одиницю напрацювання:

$$A_{\sigma} = \frac{110500 \cdot 0,15}{1,35 \cdot 300} = 40,92 \text{ грн.}$$

$$A_H = \frac{110662 \cdot 0,12}{1,35 \cdot 335} = 29,36 \text{ грн.}$$

Витрати на ТО, поточний і капітальний ремонт:

$$P_{\sigma} = \frac{110500 \cdot 0,34}{1,35 \cdot 300} = 92,77 \text{ грн.}$$

$$P_H = \frac{110662 \cdot 0,28}{1,35 \cdot 335} = 68,5 \text{ грн.}$$

Прямі експлуатаційні витрати на одиницю напрацювання:

$$I_{\sigma} = P_{\sigma} + A_{\sigma} = 40,92 + 92,77 = 133,62 \text{ грн.}$$

$$I_H = P_H + A_H = 29,36 + 68,5 = 97,86 \text{ грн.}$$

Приведені витрати на одиницю напрацювання:

$$\Pi_{\sigma} = I_{\sigma} + K_{\sigma} E = 133,62 + 272,8 \cdot 0,15 = 174,54 \text{ грн.}$$

$$\Pi_H = I_H + K_H E = 97,86 + 244,7 \cdot 0,15 = 134,57 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект від експлуатації нової машини:

$$\mathcal{E}_T = 335 \cdot (174,54 - 134,57) = 13389,95 \text{ грн.}$$

Економічний ефект від виробництва і використання за термін служби нової (вдосконаленої) машини:

$$\mathcal{E}_{c.c.} = \frac{13389,95}{0,12 + 0,15} = 49592,41 \text{ грн.}$$

Термін окупності капітальних вкладень - критерій ефективності нового виробу, визначається за формулою [16]:

$$T_{ок} = \frac{K_H - K_{\sigma}}{I_{\sigma} - I_H} \leq \frac{1}{E_H} \quad (4.10)$$

Якщо умова (4.13) виконується, тобто $T_{ок} \leq 6,7$ років, то новий виріб ефективний не залежно від значення річного економічного ефекту \mathcal{E}_T .

$$T_{ок} = \frac{272,8 - 244,7}{133,62 - 97,86} = 0,79 < 6,67 \text{ років.}$$

Отже, при впровадженні у виробництво запропонованих інженерних рішень, капітальні вкладення на удосконалення робочої секції проріджувача цукрового буряка ПСА-2.7 окупляться за 0,75 років.

Таблиця 4.1
 Показники розрахунку економічної ефективності

Показники	Значення показника		%
	Базова	Модерн	
Продуктивність за 1 год. змінного часу, га/год.	1,35	1,35	-
Капітальні вкладення на одиницю напрацювання, грн./га	272,8	244,7	11,1
Витрати на реновацію на одиницю виробки, грн./га	40,92	29,36	10,7
Відрахування на капітальний ремонт і технічне обслуговування, грн./га	92,77	68,5	7,6
Прямі експлуатаційні видатки, грн./га	133,62	97,86	5,7
Приведені витрати, грн./га	174,54	134,57	9,6
Економічний ефект, грн.	-	13389,95	-
Термін окупності, років	-	0,75	-

4.3. Висновки до розділу

1. Річний економічний ефект від експлуатації нової машини становить 13389,95 грн., при цьому економічний ефект від виробництва і використання за термін служби вдосконаленої машини – 49592,41 грн.

2. Термін окупності капітальних вкладень становить 0,75 років.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що підвищення надійності роботи проріджувача досягається шляхом об'єднання його шість робочих секцій попарно, утворивши три спарені проріджуючі секції.

Симетричне розташування двох проріджуючих секцій відносно паралелограмної та протилежне розташування пари ножів однієї секції відносно іншої (тобто коли одна пара ножів переміщується справа – наліво, то інша пара ножів – зліва – направо) дозволяє суттєво зменшити вплив бокових сил на стійкість роботи спареної робочої секції проріджувача ПСА-2.7.

2. При сталій кутовій швидкості обертання ножа проріджувача $\omega = const$ і сталій поступальній швидкості агрегату $V_a = const$, значення абсолютного прискорення периферійної точки леза ножа дорівнює значенню її відцентрового прискорення, яке описується залежністю (2.23).

3. На основі теоретичного аналізу встановлено раціональні параметри робочого процесу проріджування: поступальна швидкість – $V_f = 4,6$ м/с; колова швидкість ножа - $V_\omega = 3$ м/с (при частоті обертання $\omega \approx 10$ об/хв.); абсолютна швидкість ножа – $V_a = 5,5$ м/с; кут між нормаллю до леза ножа та вектором абсолютної швидкості руху ножа $\xi = 56,75^\circ > \varphi = 35^\circ$; показник кінематичного режиму $\lambda = 1,53$.

4. Встановлено, що необхідна сила для переміщення проріджуючої секції становить 960 Н при мінімальному діаметрі опорного колеса секції 0,214 м.

5. Річний економічний ефект від експлуатації нової машини становить 13389,95 грн., при цьому економічний ефект від виробництва і використання за термін служби вдосконаленої машини – 49592,41 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні рекомендації з технології вирощування енергетичних цукрових буряків / [Курило В.Л., Ганженко О.М., Мазуренко А.М. та ін.] - Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2014. – 32 с.

2. Сисоєв П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. – Г.І. Машини для рільництва. – К.: Урожай, 2001. – 384 с.

3. Сільськогосподарські і меліоративні машини: Навчальний посібник / Кошук О. Б., Лузан П. Г., Мося І. А., Герлянд Т. М., Романов Л. А. – К.: ІНТОН НАПН України, 2015. – 291 с.

4. Войтюк Д. Г., Гаврилук Г. Р. Сільськогосподарські машини / Д.Г. Войтюк, Г.Р. Гаврилук. – К.: Каравела, 2015. – 552 с.

5. Грабак Н. Х. Основи ведення сільського господарства та охорона земель: Навчальний посібник / Н.Х. Грабак, І.Н. Топіха. – Київ: Професіонал, 2005. – 796 с.

6. Барабаш Г. Особливості обґрунтування режимів роботи машинних агрегатів з використанням сучасних енергетичних засобів / Г. Барабаш, В. Зубко, О. Барабаш, Т. Щур // Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. – Львів: ЛНАУ, 2013. № 17. – С. 110–116.

7. Булгаков В.М. Теорія бурякозбиральних машин. Монографія / В.М. Булгаков. – К.: Видавничий центр НАН, 2005. – 245 с.

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

9. Попович П.В. Оцінка залишкової довговічності с/г машин / П.В. Попович, С.П. Сікорський, О.П. Цьонь // Перша науково-технічна конференція ФХВ ТНТУ ім. Івана Пулюя. – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2011. – С. 15.

10. Рибак Т.І. Моделювання міцності елементів металоконструкцій с/г машин при стендових випробуваннях // Т.І. Рибак, П.В. Попович, Н.І. Хомик, О.П. Цьонь // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2012. – Вип. №122. – С. 198 – 203.

11. Рибак Т.І. Підвищення надійності сільськогосподарських машин. Том 4. / Т.І. Рибак. – Тернопіль: ТНТУ, 2012. – 279 с.

12. Баранов А.М. Основи наукових досліджень. Частина II "Статистична обробка даних і планування експерименту": Методичні вказівки по виконанню самостійної роботи студентами денної форми навчання / А.М. Баранов. – Х.: УІПА., 2003. – 44 с.

13. 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. Цьонь // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Міжнародна науково-практична конференція "Проблеми надійності машин і засобів механізації с/г виробництва." – Харків, 2012. – Вип. № 128. – С. 24 – 28.

14. Ветохін В.І. Фізичні аспекти прояву зворотного зв'язку та авторегулювання форми знаряддя в системі «знаряддя-грунт» // В.І. Ветохін // Техніка в с.-г. виробі., галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту. - Кіровоград, 2009. - Вип. 22. - С. 119-124.

15. Гончарук Г. С. Якісна сівба – запорука високого врожаю / Г. С. Гончарук // Цукрові буряки. – 2001. – №2. – С. 8-10.

16. Заришняк А. С. Ще раз про тактику вирощування коренеплодів / А. С. Заришняк // Цукрові буряки. – 2003. – №3. – С. 20-21.

17. Марущак О. В. Ключова проблема технології вирощування / О. В. Марущак // Цукрові буряки. – 2002. – №3. – С. 9-10.