

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Сиромятников Юрій Миколайович

УДК 631.31

ДИСЕРТАЦІЯ

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ КОМБІНОВАНОГО
ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

05.05.11 – Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Ю.М. Сиромятников

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Нанка Олександр Володимирович, кандидат технічних наук,
професор

Харків – 2019

АНОТАЦІЯ

Сиром'ятников Ю.М. Обґрунтування параметрів процесу комбінованого технічного засобу для поверхневого обробітку ґрунту. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.05.11 «Машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва» (133 - Галузеве машинобудування). – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка МОН України, Харків, 2019.

Дисертація присвячена підвищенню якості та зменшенню енергоємності процесу обробки ґрунту шляхом обґрунтування параметрів і удосконалення робочих органів роторної розрихлювально-сепаруючої машини.

Розглянуто результати дослідження технологічного процесу обробки ґрунту, конструкторсько-технологічні схеми та параметри робочих органів ґрунтообробної машини за допомогою обґрунтування параметрів процесу комбінованого технічного засобу для поверхневого обробітку ґрунту.

Теоретичні дослідження базувалися на пошуку технологічного процесу оптимізації фізико-механічних властивостей ґрунту, обґрунтуванні параметрів робочих органів, що забезпечують мінімальний тяговий опір на підйом та подачу ґрунту до розрихлювально-сепаруючого пристрою, обґрунтуванні технологічного процесу та параметрів робочих органів ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою. Експериментальні дослідження базувалися на визначенні достовірності результатів теоретичних досліджень, вивченні впливу параметрів робочих органів експериментальної ґрунтообробної установки на якісні показники її роботи у різних умовах використання, проведенні порівняльних випробувань у виробничих умовах.

Обробка результатів експериментів виконувалася із застосуванням стандартних комп'ютерних програм, розроблених на базі математичної статистики. В роботі використовувалися методи які включають теоретичні та

експериментальні дослідження, науково-виробничу перевірку виконаних робіт. Теоретичні дослідження проводились з використанням механіко-математичного моделювання взаємодії робочих органів з ґрунтом. Застосовано методи вищої математики та класичної механіки. Експериментальні дослідження проводилися за галузевими методиками із застосуванням тензометричних засобів та методів планування багатофакторних експериментів.

З використанням методу прямого варіаційного обчислення з заданим початковим кутом входження у ґрунт та кінцевим кутом у точці прилягання його до стійки для зниження енергоємності процесу підйому та подачі ґрунту до розрихлювально-сепаруючого пристрою машини обґрунтований профіль наральника з мінімальним тяговим опором. Наральник з теоретично обґрунтованим профілем порівняно з прямолінійним має менший тяговий опір у середньому на 61,5%. З використанням методу прямого варіаційного обчислення для зниження витрати енергії на привід ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою обґрунтовано раціональний профіль робочої частини ножа ротора з мінімальними витратами енергії на його роботу. Скориставшись методом, викладеним у теорії руху частки ґрунту по шерехатим поверхням П.М. Василенко отримано профіль ножа ротора, що забезпечує його обертання з мінімальними витратами енергії за умови зменшення розкидання ґрунту та запобігання сгужування його на сепаруючій решітці з урахуванням отриманої форми раціонального профілю робочої частини ножа ротора з мінімальними витратами енергії на його роботу. Але при цьому розглянуто рух елемента ґрунту не по поверхні, а по лезу ножа.

Експериментально встановлено, що використання пруткової решітки у розрихлювально-сепаруючому пристрою експериментальної ґрунтообробної установки сприяє збільшенню коефіцієнта структурності ґрунту приблизно у 1,5 рази по відношенню до робочих органів без неї. Збільшення швидкості руху експериментальної машини та глибини обробітку ґрунту сприяє зниженню коефіцієнта структурності ґрунту у верхньому шарі на 15–33%, у насінневному – на 28–43% в залежності від швидкості руху експериментальної установки. На

якість кришіння ґрунту експериментальною розрихлювально-сепаруючою установкою особливий вплив робить вологість та щільність складання, тому при щільності ґрунту $1,3-1,4 \text{ г/см}^3$ та мінімальній вологості ґрунту $11,4-14,4\%$ частоту обертання ротора необхідно збільшити до 127 об./хв.

Експериментальні дослідження установки у польових умовах показали високу якість обробки ґрунту за структурним складом при подрібненні стерні, знищенні бур'янів у результаті проведення лушення та передпосівної обробки ґрунту. Експериментальна установка для оптимізації агрофізичних властивостей ґрунту в умовах догляду за чорним паром забезпечує повне його очищення від бур'янів, у тому числі й коренепаросткових, за дві обробки.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вирішенні важливої задачі у галузі механізації сільськогосподарського виробництва, а саме отримано залежності які дозволяють обґрунтувати параметри підрезаюче-підйомних робочих органів, що забезпечують мінімальний тяговий опір на підйом та подачу ґрунту до розрихлювально-сепаруючого пристрою. Доведено взаємозв'язок між тиском ґрунту на робочу поверхню наральника, силою тертя між наральником та ґрунтом, довжиною виділеної ділянки на наральнику, кутом нахилу дотичної до профілю наральника, що дозволило визначити форму наральника мінімального тягового опору. Отримано залежність відносної швидкості руху елемента ґрунту на кінці ножа ротора від кута його нахилу, що дозволило обґрунтувати конструкцію ножа яка забезпечує обертання ротора з мінімальними витратами енергії за умови зменшення розкидання ґрунту та запобігання сгужування його на сепаруючій решітці.

Отримала подальший розвиток теорія обґрунтування параметрів робочих органів для операції кришення та сепарації структурних частинок ґрунту, яка на відміну від відомих враховує взаємозв'язок показників якості та енергоємності технологічних процесів механічного обробітку ґрунту.

Удосконалено параметри робочих органів для підрізання та подачі ґрунту до розрихлювально-сепаруючого пристрою. Встановлено, що наральник з теоретично обґрунтованим профілем порівняно з наральником прямого профілю

має тяговий опір на 61,5% менше. Підрізаюче-підйомний орган плоскоріжучої лапи з загнутими вгору крилами, знижує бічний зсув ґрунту від стійки та тим самим забезпечує зниження гребенястоті ґрунту по відношенню до серійної лапи на 62,6%. Параметри робочих органів ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою. Встановлено, що більший вплив на якість обробки ґрунту мають геометричні параметри ножа ротора, менший - частота обертання ротора.

На основі отриманих експериментальних даних визначено, що передпосівна обробка ґрунту з використанням роторної розрихлювально-сепаруючої машини дозволяє виключити передпосівне боронування та культивуацію, здійснити підготовку ґрунту до посіву за один прохід, та істотно знизити засміченість обробленого шару ґрунту. Польові дослідження свідчать, що розрихлювально-сепаруюча машина забезпечує підвищення коефіцієнта структурності ґрунту у 3 рази.

Практично важливим є те що, ґрунтообробна машина з удосконаленими робочими органами для обробки ґрунту шляхом поєднання процесів підрізання та сепарації ґрунту забезпечує створення найбільш сприятливих умов для накопичення вологи, її збереження, очищення полів від бур'янів та оптимальні умови для проростання насіння культурних рослин без застосування хімічних засобів захисту.

Застосування експериментальної ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої машини для передпосівної обробки ґрунту під посів сільськогосподарських культур дозволяє знизити витрати на 960 грн/га порівняно з застосуванням традиційних культиваторів.

Зниження витрат на утримання чорного пару засмічених коренепаростковими бур'янами при використанні експериментальної машини дозволяє знизити витрати порівняно з застосуванням традиційних знарядь на 964 грн/га, а в порівнянні з гербіцидними технологіями – на 1800 грн/га.

Ключові слова: ґрунтообробна машина, один прохід, обробка ґрунту, робота ножа, сепаруюча решітка, ротор, коефіцієнт структурності, робочий орган, перерозподіл ґрунту, якість

Список публікацій здобувача:

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Сыромятников Ю.Н. Совершенствование рабочих органов ротора рыхлительно-сепарирующей почвообрабатывающей машины обеспечивающих минимальные затраты энергии на его работу // Інженерія природокористування. – 2018. – №. 1 (9). – С. 91-95

2. Сыромятников Ю.Н. Обоснование формы наральника минимального тягового сопротивления // Сільськогосподарські машини. – 2018. – № 39. – С.117–132.

3. Пащенко В.Ф., Нанка О.В., Сыромятников Ю.М. Конструкція ножа ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою ґрунообробної машини // Інженерія природокористування. – 2019. – №. 1 (11). – С. 56-68.

4. Нанка О.В., Сыромятников Ю.М. Вплив частоти обертання ротора ґрунтообробної експериментальної установки на показники якості // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2019. – № 15. – С. 96-110.

5. Syromyatnikov Yu. N. Qualitative Performance Indicators of a Ripping-and-Separating Machine for Soil Cultivation // Agricultural machinery and technologies. – 2018. – V. 12. – № 3. – P. 38-44.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Пащенко В.Ф., Сыромятников Ю.Н., Храмов Н.С. Качественные показатели работы почвообрабатывающей машины с применением гибкого рабочего органа в системах "органического земледелия" // Збірник тез міжнародної науково-практичної конференції: «Теоретичні і практичні аспекти розвитку галузі овочівництва в сучасних умовах» – сел. Селекційне Харківської обл.: ИОБ НААН, 2018. – С.94–100.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

7. Пашенко В. Ф., Сиромятников Ю. М., Храмов М. С. Грунтообробна установка з використанням гнучкого робочого органу для контролю росту бур'янів // Овочівництво і баштанництво. – 2018. – № 64. – С.33–44.

ABSTRACT

Syromyatnikov Yu. N. Substantiation of the process parameters of a combined technical means for surface tillage. – The manuscript.

The thesis for the degree of doctor of philosophy (Ph.D) of technical sciences, specialty 05.05.11 «Machines and means of mechanization agricultural production» – Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The dissertation is devoted to improve the quality and reduce the energy intensity of the soil cultivation process by substantiating the parameters and developing new working bodies.

The results of the research of technological process of soil cultivation, design and technological schemes and parameters of the working bodies of the soil cultivating machine by using mechanical and technological means of improving the processes of soil cultivation. The theoretical research was based on the search for the technological process of the soil-working machine for optimizing the physical and mechanical properties of the soil, the justification of the parameters of the working bodies, which provide the minimum energy costs for undercutting and feeding the soil to the separating device of the soil-working machine, the substantiation of the technological process and parameters of the working bodies of the rotor of the rupture- separating soil cultivating machine. Experimental studies were based on determining the reliability of the results of theoretical studies, studying the influence of parameters of the working bodies of the experimental soil treatment installation on the qualitative indicators of its work in different conditions of use, conducting comparative tests of experimental soil treatment installation in production conditions.

The processing of the results of experiments was carried out using standard computer programs developed on the basis of mathematical statistics. In the work, methods of agricultural mechanics were used, which included theoretical and experimental research, scientific and production verification of the performed work. Theoretical studies were carried out using mechano-mathematical modeling of the interaction of working bodies with soil. Methods of higher mathematics and classical mechanics are applied. Experimental researches were carried out according to branch techniques using strain gauge means and methods of planning of multifactorial experiments. Using the method of direct variation calculations with the given initial angle of entry into the soil and the final angle at the point of adhering it to the rack to reduce the energy intensity of the process of cutting and feeding the soil to the separating device of the machine justified profile of chisel minimum energy consumption. The chisel with a theoretically justified profile, compared to justified, has a lower traction resistance of average 61,5%. Using the direct-variation calculation method, a rational profile of the working part of the rotor knife with minimum energy consumption for its operation was substantiated for reducing the energy consumption on the drive of the rotor of the soil-cultivating separating machine. For a knife with a reasonable form compared with the previously known, the need for energy expenditure is 22% less. Experimental studies of soil separating installation in the field showed the high quality of soil treatment by structural composition when shallow plowing, destroying weeds as a result of peeling and pre-planting soil treatment. An experimental plant for optimizing the agrophysical properties of the soil in conditions of care for black steam provides its complete purification from weeds, including rooted plants, after two treatments. The scientific novelty of the results obtained is to solve an important task in the field of mechanization of agricultural production, and in the process of improving the working bodies of the soil rotary cutting and separating machine, which provides the minimum energy costs and high quality indices. At the same time for the first time the theory of mathematical modeling with the use of direct variation calculus has been used to substantiate the profile of the working body of the minimum energy intensity with the given angles of inclination of the working surface at

the initial and final points. For the first time a mathematical model was developed for substantiating the rational profile of the working part of the rotor knife with minimal energy consumption for its operation.

On the basis of the obtained experimental data it was determined that pre-sowing soil tillage a rotary cutting-separating machine allows to exclude pre-sowing harrowing and cultivation, to prepare soil preparation for sowing in one passage, and to substantially reduce the contamination weeds of the treated layer of soil. Field studies indicate that the separating machine provides an increase in the soil structure factor of 3 times. The theory of substantiation of parameters of working bodies for the operation of fracture and separation of structural particles of soil was further developed. The situation of agricultural mechanics in solving the problem of improving the processes of soil cultivation, processes of interaction of working bodies with soil. Technology of growing crops.

The working bodies for undercutting and feeding the soil to the rupture separating device of the separating machine, the rotor knife with the minimum energy consumption for its operation have been improved.

It is of the utmost importance that a soil cultivator with improved working bodies for soil treatment by combining the processes of undercutting and soil separation ensures the creation of the most favorable conditions for the accumulation of moisture, its preservation, purification of fields from weeds and optimal conditions for the germination of seeds of cultivated plants without application chemical remedies.

The application of an experimental soil tillage separating machine for pre-sowing soil tillage under sowing of late crop agricultural crops can reduce costs by 96 UAH/ha compared with the use of traditional steam cultivators.

Reducing the cost of maintaining fields littered with weeds using an experimental machine allows you to reduce costs compared with the use of traditional soil cultivator for 964 UAH/ha, and compared with herbicide technologies – by 1800 UAH/ha.

Keywords: soil cultivating machine, one pass, soil cultivation, knife work, separating grating, rotor, coefficient of structure, working body, soil redistribution, quality

Publication list of candidate for a degree:

List of publication in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Syromyatnikov Yu.N. Improvement of rotor working bodies of loosening and separating tillage machine that providing minimum energy costs for its work // *Environmental Engineering*. – 2018. – №. 1 (9). – С. 91-95

2. Syromyatnikov Yu.N. Justification of the shape of the minimalist traction resistance // *Agricultural machinery*. – 2018. – № 39. – P.117–132.

3. Pachenko V.F., Nanka A.V., Syromyatnikov Yu.N. The design of the rotor blade of the loosening-separating machine of the tillage machine // *Інженерія природокористування*. – 2019. – №. 1 (11). – P. 56-68.

4. Nanka A.V., Syromyatnikov Yu.N. Influence of the rotation frequency of the rotor of a tillage machine on the quality of its operation // *Agrotechnics and power supply*. – 2019. – № 15. – P.96–101.

5. Syromyatnikov Yu. N. Qualitative Performance Indicators of a Ripping-and-Separating Machine for Soil Cultivation // *Agricultural machinery and technologies*. – 2018. – V. 12. – № 3. – P. 38-44.

Papers certifying the approbation of dissertation materials:

6. Pashchenko V.F., Syromyatnikov Yu.N., Hramov N.S. Qualitative indicators of the work of a tiller with the use of a flexible working organ in the systems of «organic farming» // abstracts of the international scientific-practical conference: «Theoretical and practical aspects of the development of the field of vegetable growing in modern conditions» – 2018. – P. 94–100.

Publication which prove approbation of the dissertation materials:

7. Pashchenko V.F., Syromyatnikov Yu.N., Hramov N.S. A tillage plant using a flexible working body to control weed growth // *Vegetables and melons*. – 2018. – № 64. – P.33–44.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	14
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	18
1.1. Аналіз умов для проростання насіння та розвитку рослин.....	18
1.2 Аналіз систем обробки ґрунту спрямованих на створення найбільш сприятливих умов для розвитку рослин та зниження енерговитрат в технологіях вирощування сільськогосподарських культур.....	24
1.3. Аналіз рішень спрямованих на зниження енергоємності та підвищення якості обробки ґрунту.....	41
1.4. Висновки до розділу 1.....	49
1.5. Мета та завдання досліджень.....	50
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ.....	52
2.1 Обґрунтування технологічного процесу роботи.....	52
2.2 Обґрунтування параметрів робочих органів для підйому та подачі ґрунту до розрихлювально-сепаруючого пристрою.....	54
2.2.1 Обґрунтування форми наральника мінімального тягового опору...	54
2.3 Обґрунтування параметрів розрихлювально-сепаруючих робочих органів.....	61
2.3.1 Обґрунтування форми ножа ротора, що забезпечує мінімальні витрати енергії на його роботу.....	61
2.3.2. Обводова швидкість руху ножа ротора.....	68
2.3.3. Конструктивні параметри ротора.....	69
2.3.4. Питома пропускна здатність сепаруючої решітки.....	87
2.3.5. Кут нахилу сепаруючої решітки та відстань між її прутами.....	88
2.4 Висновки до розділу 2.....	88
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ.....	91

3.1 Програма проведення експериментальних досліджень.....	91
3.2 Достовірність результатів досліджень, значимість і сила впливу факторів.....	91
3.3 Опис стендів та експериментальної установки.....	93
3.4 Методика визначення фізико-механічних властивостей ґрунту.....	102
3.5 Методика визначення енергетичних показників роботи наральника	103
3.6 Методика проведення експерименту по обґрунтуванню параметрів крила плоскоріжучої лапи підрізаюче-підйомного робочого органу.....	104
3.7 Методика визначення впливу параметрів ґрунтообробної установки на показники якості її роботи.....	108
3.7.1 Вплив частоти обертання ротора ґрунтообробної установки....	108
3.7.2 Вплив швидкості руху ґрунтообробної установки.....	110
3.7.3 Вплив глибини обробітку ґрунту ґрунтообробної установки....	111
3.8 Методика визначення впливу ґрунтообробної установки на фізико-механічні властивості ґрунту.....	112
3.9 Методика проведення випробувань експериментальної установки у польових умовах.....	113
3.10 Висновки до розділу 3.....	114
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	115
4.1 Визначення впливу профілю наральника плоско ріжучої лапи на енергоємність його роботи	115
4.2 Визначення гребнистості поверхні ґрунту після проходження серійної та експериментальної лапи.....	116
4.3 Визначення впливу параметрів ґрунтообробної установки на якісні показники її роботи.....	119
4.3.1 Вплив частоти обертання ротора.....	120
4.3.2 Вплив швидкості руху експериментальної установки.....	127
4.3.3 Вплив глибини обробітку ґрунту.....	132

4.4	Результати проведення випробувань експериментальної установки у польових умовах.....	134
4.5	Висновки до розділу 4.....	146
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ.....		147
5.1	Використання ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої машини стратифікатора «Докучаєвська» ПРСМ-5 для передпосівної підготовки ґрунту під посів пропасних культур.....	149
5.2	Використання ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої машини стратифікатора «Докучаєвська» ПРСМ-5 при догляді за чорними парами, засміченими коренепаростковими бур'янами	152
5.3	Висновки до розділу 5.....	154
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.....		155
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		158
ДОДАТКИ.....		175

ВСТУП

Актуальність теми. Собівартість продукції більшою мірою визначається технологіями її виготовлення. У сучасному сільському господарстві використовуються технології, у яких витрати палива на одиницю площі вирощування сільськогосподарських культур коливаються у великих межах. Тому в умовах ринку конкурують не окремі машини, а технології. Впровадження у виробництво енергозберігаючих технологій неможливо без забезпечення їх відповідними засобами механізації, науково-технічне обґрунтування яких і має визначити напрямки розвитку сільгоспмашинобудування України.

Сучасні світові тенденції на отримання екологічно чистої продукції вимагають відмови від хімічних засобів боротьби з бур'янами. Робочі органи ґрунтообробних машин не забезпечують раціонального впливу на ґрунт з точки зору агрономічної науки та екологічних вимог. Тому, для вдосконалення процесів обробки ґрунту необхідний комплексний підхід до питань зменшення руйнування робочими органами машин і знарядь структури ґрунту та розробки технологічних процесів, що забезпечують оптимізацію його агрофізичних властивостей.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до Закону України “Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні” від 08.09.2011р. № 3715-VI та п.2 Постанови Кабінету Міністрів України від 17.05.2012 р. № 397 “Деякі питання визначення середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності галузевого рівня на 2012-2016 рр.”, та відповідно до: НДР, що фінансується за рахунок коштів державного бюджету «Розробка нових технологій і технічних засобів у сільськогосподарській меліорації та овочівництві» (ДР 0118 U 003323, 2018 – 2022 рр.); науково дослідницької роботи «Розробка функціонально-стабільних машино-технологічних систем для аграрного виробництва» (ДР 0118 U 003318, 2018 – 2022 рр.).

Мета дослідження: підвищення якості та зменшення енергоємності процесу обробки ґрунту шляхом обґрунтування параметрів і розробки нових робочих органів.

Завдання дослідження:

- провести аналіз існуючих технологій та способів оптимізації фізико-механічного стану ґрунту;
- обґрунтувати параметри робочих органів, що забезпечують мінімальний тяговий опір на підйом та подачу ґрунту до розрихлювально-сепаруючого пристрою;
- обґрунтувати технологічний процес та параметри робочих органів ротора;
- провести комплекс експериментальних досліджень по визначенню достовірності результатів теоретичних досліджень;
- вивчити вплив параметрів робочих органів на якісні показники роботи у різних умовах використання;
- провести порівняльні випробування у виробничих умовах;
- впровадити результати досліджень науково-дослідної роботи у виробництво.

Об'єкт дослідження: технологічний процес обробки ґрунту та параметри ґрунтообробних робочих органів.

Предмет дослідження: параметри процесу комбінованого технічного засобу для поверхневого обробітку ґрунту.

Методи дослідження: в роботі використовувалися методи які включають теоретичні та експериментальні дослідження, науково-виробничу перевірку виконаних робіт. Теоретичні дослідження проводились з використанням механіко-математичного моделювання взаємодії робочих органів з ґрунтом. Застосовано методи вищої математики та класичної механіки. Експериментальні дослідження проводилися за галузевими методиками із застосуванням тензометричних засобів та методів планування багатofакторних експериментів.

Наукова новизна.

Вперше:

- отримано залежності які дозволяють обґрунтувати параметри підрезаюче-підйомних робочих органів, що забезпечують мінімальний тяговий опір на підйом

та подачу ґрунту до розрихлювально-сепаруючого пристрою. Доведено взаємозв'язок між тиском ґрунту на робочу поверхню наральника, силою тертя між наральником та ґрунтом, довжиною виділеної ділянки на наральнику, кутом нахилу дотичної до профілю наральника, що дозволило визначити форму наральника мінімального тягового опору.

– отримано залежність відносної швидкості руху елемента ґрунту на кінці ножа ротора від кута його нахилу, що дозволило обґрунтувати конструкцію ножа яка забезпечує обертання ротора з мінімальними витратами енергії за умови зменшення розкидання ґрунту та запобігання стругування його на сепаруючій решітці.

Отримала подальший розвиток:

– теорія обґрунтування параметрів робочих органів для операції кришення та сепарації структурних частинок ґрунту, яка на відміну від відомих враховує взаємозв'язок показників якості та енергоємності технологічних процесів механічного обробітку ґрунту.

Удосконалено:

– параметри робочих органів для підрізання та подачі ґрунту до розрихлювально-сепаруючого пристрою. Встановлено, що наральник з теоретично обґрунтованим профілем порівняно з наральником прямого профілю має тяговий опір в середньому на 61,5% менше. Підрізаюче-підйомний орган плоскоріжучої лапи з загнутими вгору крилами, знижує бічний зсув ґрунту від стійки та тим самим забезпечує зниження гребенястоті ґрунту по відношенню до серійної лапи на 62,6%.

– параметри робочих органів ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою. Встановлено, що більший вплив на якість обробки ґрунту мають геометричні параметри ножа ротора, менший - частота обертання ротора.

Практичне значення одержаних результатів. На підставі проведених досліджень вирішена науково-технічна задача підвищення якості та зменшення енергоємності технологічних процесів механічного обробітку ґрунту шляхом обґрунтування параметрів робочих органів для підйому та подачі ґрунту до

розрихлювально-сепаруючого пристрою, та параметрів робочих органів ротора розрихлювально-сепаруючої ґрунтообробної установки, які були передані у конструкторське бюро підприємства «Укр. Агро-сервіс» для розробки документації та виготовлення ґрунтообробної машини.

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно та викладені у 7 роботах. У наукових роботах, що опубліковані у співавторстві, здобувачу належать: визначення напрямів розробок [4, 6, 7], дано обґрунтування конструкції ножа ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою ґрунтообробної машини яка забезпечить його обертання з мінімальними витратами енергії на роботу за умови зменшення розкидання ґрунту, і запобігання сгужування його на сепаруючій решітці. [3].

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати теоретичних і експериментальних досліджень дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивні відгуки на міжнародних науково-практичних та науково-технічних конференціях: Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (Суми, Україна, 17–18 жовтня 2016 р.). Науковій конференції «Присвяченої 40-річчю Сумського НАУ» (Суми, Україна, 25–26 квітня 2017 р.). Міжнародній науково-практичній конференції «Теоретичні і практичні аспекти розвитку галузі овочівництва в сучасних умовах» (Харків, Україна, 25 липня 2018 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 6 наукових працях, у тому числі: 4 статті у спеціалізованих наукових виданнях України, 1 стаття у закордонних виданнях; 1 теза у збірнику доповідей наукових конференцій.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатку. Повний обсяг дисертації складає 189 сторінок, у тому числі 1 додаток на 15 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації становить 144 сторінки, 63 рисунки, 16 таблиць. Список використаних джерел нараховує 160 найменувань на 17 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз умов для проростання насіння та розвитку рослин

Технологічні операції обробки ґрунту при механічному впливі на неї спрямовані на створення сприятливих умов для зростання та розвитку рослин [1, 2, 3].

Завданням передпосівної механічної обробки ґрунту є розпушування верхнього шару на глибину загортання насіння, що забезпечує дрібногрудкову будову посівного шару, вирівнювання поверхні поля, ущільнення зони на глибині висіву насіння, закладення внесених добрив, знищення пророслих бур'янів та збереження вологи у шарі ґрунту, що обробляється [4, 5]. Обробка ґрунту також спрямована на створення сприятливих умов для роботи сільськогосподарських машин на висіві, при догляді за посівами та збиранню врожаю [6].

Вимоги агротехніки для створення найкращих умов проростання насіння та розвитку рослин викладені в рекомендаціях та є загальновідомими. Дослідження показують, що існуючі вимоги до обробки ґрунту не завжди виправдані та забезпечують рослини найбільш сприятливими умовами з урахуванням особливостей оброблюваних культур та ґрунтово-кліматичних умов даної зони. Не завжди рослини забезпечуються всім необхідним в повному обсязі [7]. І якщо за період з моменту висіву та до збирання врожаю хоча б один параметр не врахований, втрачається частина врожаю [8]. Тому і виникла необхідність у розгляді оптимальних умов для проростання насіння та розвитку рослин.

Встановлено що механічний склад ґрунту визначається кількісним співвідношенням у ньому чотирьох основних фракцій: піщаного (розмір часток 2,00–0,05 мм); пилуватого (розмір частинок менше 0,002 мм); з розміром частинок від 2 до 25 мм являє собою грубозернистий супісок, а фракція з розміром частинок більше 25 мм – грудки. Родючим ґрунтом з гарною структурою вважається такий ґрунт, в якому тверда фаза займає більше 50%, ґрунтове повітря та рідка фаза – по 25% загального обсягу.

Залежно від властивостей рідку фазу (воду), що міститься в ґрунті, ділять на гігроскопічну та капілярну [7]. Гігроскопічна вода не здатна переміщатися, не може засвоюватися рослинами і мікроорганізмами, тому не має особливого значення для рослин та якості обробки ґрунту. Капілярна вода, навпаки, має вирішальне значення для розвитку рослин та суттєво впливає на якість обробки ґрунту [11]. Капілярна вода заповнює пори між частинками ґрунту. Під впливом капілярних сил вода піднімається на рівень вище дзеркала ґрунтових вод. Висота підйому залежить від різновиду ґрунтів. У капілярах важких ґрунтів підйом води відбувається значно повільніше, ніж у піщаних ґрунтах, де ширші капіляри [12]. Тому й швидкість висихання ґрунту залежить від його механічного складу.

Визначено що тріщини, що утворилися в результаті висихання ґрунту можуть досягати глибини 2 м. Шари ґрунту містять запас вологи. Вважається, що цей запас використовується в основному в результаті вертикального руху потоків. В період розкриття тріщин може відбуватися додатковий приплив вологи з глибоких шарів. Цей процес викликає висушування нижніх шарів ґрунту, при цьому чим довше будуть розкриті тріщини, тим більше висушуються глибокі шари ґрунту [13]. Утворення кірки на поверхні ґрунту свідчить про підйом вологи, що підійшла до поверхні ґрунту. Для того, щоб перешкодити висиханню ґрунту, необхідно розпушити його на невелику глибину для руйнування капілярної системи у верхньому шарі [14]. Вагова вологість не дає повної інформації про придатність ґрунту до обробки [9], тому важливіше знати відносну вологість ґрунту, тому що вона виражає відношення абсолютної вологості до повної вологості ґрунту, яка отримана після заповнення водою всіх ґрунтових пор. Відносна вологість видів ґрунтів змінюється у граничних значеннях 40–60%. При вологості нижче 40% в'язучі ґрунти твердіють та під впливом ґрунтообробних знарядь може відбутися руйнування їх грудкуватої структури [9]. При відносній вологості більше 60% в'язучі ґрунти стають пластичними та дія ґрунтообробних знарядь замість кришіння та збільшення пористості може призводити до руйнування структури ґрунту [15].

Виявлено що низька теплоємність ґрунту є причиною швидкого охолодження ґрунту. Прогрівання ґрунту пов'язане з теплопровідністю: у вологому ґрунті високий коефіцієнт теплопровідності, а у сухому – низький. Тому розпушений слабо вологий шар ґрунту уповільнює нагрівання та висихання розташованого під ним нижнього шару ґрунту. Навесні, коли бажано, щоб ґрунт швидше прогрівся, не можна розпушувати ґрунт з високим вмістом вологи, тому що це ускладнює та уповільнює прогрівання шару під верхнім шаром ґрунту, який розпушували [16].

У Лісостепу України, переважають чорноземні ґрунти середнього та важко-суглинистого складу, які можуть накопичувати велику кількість вологи, але багато її втрачають при випаровуванні [17, 18, 19].

При незначній засміченості поля бур'янами, гарному стані ґрунту не для всіх культур необхідно застосовувати традиційні системи обробітку, які включають у себе лушення стерні, оранку, передпосівний обробіток [20]. Ці методи можна замінити на обробку ґрунту з одночасним висівом [6, 21, 22].

На думку Н.А. Качинського, структура ґрунту в агрономічному відношенні вважається найціннішою, якщо вона представлена механічно міцними, водостійкими та пористими грудками розміром від 0,25 до 10 мм.

Вчені, досліджуючи орний шар, показали, що якщо водостійких грудок розміром більше 0,25 мм знаходиться не менше 40–45%, то показники щільності, твердості, загальної пористості та пористості аерації знаходяться в оптимальних межах. У чорноземах орний шар таких грудок містить 55–60%. Тому, якщо вимогами, пов'язаними із засміченістю полів або біологічними та агрофізичними властивостями ґрунту не обмежується мінімальна глибина обробітку, то немає необхідності у глибокій обробці ґрунту [23].

Дослідники С.І. Долгов та Н.В. Кузнецова стверджують, що якщо у ґрунті міститься водо міцних грудок від 40 до 60%, то він придатний для застосування систем мінімальної та «нульової» обробітків. Але вельми важливою умовою застосування нульових і поверхневих обробок ґрунту є вид оброблюваної культури. Дослідження ясно показують, що нульова обробка найбільш прийнятна

під озиму пшеницю і жито, менше - під ярові зернові, однорічні трави; поверхнева - додатково під гречку; непридатні ці способи під просапні культури.

Другою важливою умовою є тип ґрунту, його агрофізичні та агрохімічні властивості, зокрема, гранулометричний склад і щільність, водо утримуюча здатність, вміст гумусу та інших поживних речовин [24, 25]. Можна вважати твердо встановленим фактом, що на окультурених чорноземах з високим вмістом гумусу і поживних речовин, легкого і середнього гранулометричного складу, нульові і поверхневі способи основного обробітку ґрунту можуть застосовуватися під зернові два роки, а на сірих лісових і дерново-підзолистих ґрунтах, як правило, середнього і важкого гранулометричного складу, при меншому вмісті гумусу і поживних речовин - не більше одного року поспіль.

Загальновідомо, що нульові і поверхневі обробки ґрунту забезпечують найкращі результати в посушливі роки [26], особливо під посів озимих, коли пізніше проведення оранки веде до висушування орного шару, а виключення обробок або проведення їх тільки в шарі 0-10 см дозволяє зберегти вологу і, головним чином, уникнути утворення зайвої брильності ґрунту [18].

Якщо ж обробка ґрунту проводиться до настання фізичної стиглості, то внаслідок дії ходових систем сільськогосподарських агрегатів та їх робочих органів ґрунт сильно деформується, при цьому утворюються великі за розміром грудки та брили розміром до 10 см та більше зі значно більшою щільністю. Менші грудки, які при такій обробці зруйнувалися та злиплися у брили, у подальшому утворюють значну кількість пилу.

Перенасичення складу ґрунту великими грудками та брилами призводить до збільшення ступеня аерації, а перенасичення пилом сприяє вітровій ерозії. І те, і інше веде до висушування ґрунту та втрати гумусу.

Вивченням впливу на врожайність сільськогосподарських культур співвідношення структурних частинок та допустимих норм їх вмісту займалися В.Р. Вільямс, П.А. Некрасов, П.А. Пігуєвський та ін. [27, 28, 29, 30, 31]. У досліджах, які проводив В.В. Медведев, було встановлено найбільш сприятливий механічний склад ґрунту, який забезпечує рослини поживними речовинами та вологою. При

цьому грудок ґрунту розміром 5–20 мм має знаходитись приблизно 20–25%, агрономічне цінних грудок розміром 0,25–5,0 мм – 60–65% і не більше 15% грудок менше 0,25 мм [32, 33].

При такому співвідношенні структурних частинок рослини ефективно використовують вологу та елементи живлення. Крім цього, було встановлено, що максимальний ефект врожайності сільськогосподарських культур було отримано при приблизно рівних розмірах насіння та частинок ґрунту посівного шару, а верхній шар ґрунту, товщиною до 4 см, повинен мати більші частки ґрунту розміром від 5 до 20 мм [32, 33].

На розвиток рослин у вегетаційний період впливає щільність складання поверхневого шару ґрунту, яка відхиляється від оптимальних меж у посушливі роки на $0,08 \text{ г/см}^3$ у бік збільшення та у вологі роки – приблизно на $0,05 \text{ г/см}^3$ у бік зменшення. Тому для підтримки оптимальної щільності ґрунту у поверхневому шарі доцільно проводити ущільнення або розпушування [32, 33].

Дослідження багатьох вчених доводять, що якщо у орному шарі ґрунту 40–45% агрономічне цінних грудок, то його щільність, твердість та пористість знаходяться у оптимальних межах.

У зоні лісостепу України переважають важкі суглинні чорноземи, які здатні накопичувати велику кількість вологи. У складі таких ґрунтів знаходиться 55–65% агрономічне цінних грудок.

Рівноважна щільність нижнього шару чорнозему у зоні розвитку кореневих систем рослин, при його вологості, близької до фізичної стиглості, знаходиться у межах оптимуму навіть без механічної обробки [32, 33]. Отже, для підтримки щільності ґрунту в оптимальних межах, а також накопичення та збереження вологи обробку ґрунту необхідно проводити протягом усього вегетаційного періоду розвитку рослин.

У лісостеповій зоні України в період вирощування сільськогосподарських культур спостерігається значна нерівномірність випадання атмосферних опадів [34]. У період посушливого сезону щільність ґрунту стає вище, ґрунт тріскається та утворюються брили значних розмірів, що вимагає додаткової обробки ґрунту,

спрямованої на його подрібнення [35]. У такий період мінімальне випаровування вологи може бути забезпечене при достатньому кришенні ґрунту, коли поверхневий його шар складається з частинок розміром 0,5–5 мм [10]. Але частинки такого розміру можуть легко видуватися вітрами, що призводить до ерозії ґрунту. Тому слід враховувати, що для забезпечення стійкості ґрунту до ерозії поверхневий шар повинен мати грудок діаметром більше 1 мм більше 50% [36, 37, 38]. Такі грудки видуваються при великих вітрах, які в Україні бувають рідко.

Встановлено що для збереження вологи та зниження температури поверхні ґрунту добрий ефект дає мульчування його поверхні рослинними залишками [39, 40, 41, 42, 43]. Мульчування ґрунту може бути створене під час збору зернових культур шляхом розкидання подрібненої соломи по поверхні поля. Це підтверджує досвід 2005 р., коли в умовах осінньої посухи на значних площах посівів озимих культур сходи не з'являлися. У той час по слідах валків, які утворилися після проходу комбайнів при збиранні ранніх зернових культур, спостерігалися дружні сходи.

В умовах вологого року в орному шарі ґрунту знаходиться максимальна кількість агрономічне цінних грудок. Однак внаслідок дії атмосферних опадів, поверхневий шар також втрачає більші грудки. В цей період виникає необхідність у механічній сепарації ґрунту, спрямованої на структурний перерозподіл часток по його верствам [32, 33].

Спираючись на аналіз проведених досліджень, можна зробити висновок що такий параметр якості механічного обробітку ґрунту як структурний склад на пряму пов'язаний з фізичними, фізико-механічними та реологічними (пластичними) властивостями ґрунту. Отже і шар ґрунту, що обробляється повинен бути диференційований за ключовим параметром – структурним складом. В поверхневому шарі ґрунту повинні переважати грудочки розміром від 5 до 20 мм, а в зоні загортання насіння - від 0,25 до 10 мм.

Тому одним із завдань даного дисертаційного дослідження є пошук технологічного процесу для оптимізації фізико-механічного стану ґрунту. Це

дозволить створити найбільш сприятливі умови для зростання та розвитку рослин, що знизить перевитрати енергії на процес передпосівної механічної обробки ґрунту, та повисить урожайність.

1.2. Аналіз систем обробки ґрунту спрямованих на створення найбільш сприятливих умов для розвитку рослин та зниження енерговитрат в технологіях вирощування сільськогосподарських культур

Обробка ґрунту є найважливішим прийомом в системі традиційних технологій вирощування зернових культур. Технології обробки ґрунту відрізняються окремими параметрами, отже, і видами застосовуваних машин і знарядь.

При використанні полицевої технології основний обробіток ґрунту виконують плугами [44]. Цей спосіб обробки передбачає оборот ґрунту та забезпечує глибоке підрізання бур'янів, якісне закладення в ґрунт поживних решток, добрив та ін. У той же час сприяє кришінню ґрунту, поліпшенню водного, температурного та повітряного режимів.

Основний обробіток є найбільш енергонасиченим з усього спектра обробітків полицевої системи обробки ґрунту, так як виконується на глибину до 30 см. Наступні обробки спрямовані на підготовку поораного поля до посіву. Після проходження плуга створюється велика нерівномірність поверхні поля та велика кількість брил значних розмірів й підвищеної твердості [45, 46, 47, 48], тому для їх розробки використовується цілий спектр ґрунтообробних машин: борони, вирівнювачі, культиватори, катки й ін.

Перед оранкою, з метою поліпшення кришіння ґрунту та збереження вологи, виконують обробку луцильниками, важкими дисковими боронами або плоскорізами. У кінці сівозміни перед оранкою вноситься основна доза органічних й мінеральних добрив [49]. Все це збільшує кількість проходів агрегатів по полю, ущільнює підорний шар та збільшує загальні витрати енергії при використанні відвальної системи обробки ґрунту. Часті та глибокі обробки

щорічно провокують втрату до 2% органічних речовин, які мають велике значення для формування фізико-механічних властивостей ґрунту.

Ряд досліджень показують, що численні механічні обробки в значній мірі сприяють знищенню бур'янів та ущільнення ґрунту, який, в свою чергу, потребує подальших обробок. З цього приводу В.Ф. Пащенко робить висновок, що чим більше ґрунт обробляється, тим більше потребує обробок [50].

Вченими робилися спроби зменшити енергоємність оранки за рахунок зменшення сил тертя ґрунту щодо робочих органів плуга, які складають 65–75% загальних енерговитрат. Ці роботи були спрямовані на вдосконалення конструкції плугів [51, 52, 53, 54, 55] або технології оранки [56, 57, 58, 59, 60]. Всі ці вдосконалення широкого застосування на виробництві не отримали в результаті технологічної ненадійності розробок або погіршення інших параметрів оранки та ін., хоча вдосконалення давали можливість зменшити опір плуга на 25%. Тому виникла необхідність створення принципово нових ґрунтообробних машин і знарядь, нових способів обробки ґрунту. Останнє, можливо шляхом скорочення або суміщення технологічних операцій, зменшенням глибини обробки і т.д., що входить в технологію безполицевого обробки ґрунту так званих «мінімальних» і «нульових» обробок ґрунту.

Доцільність безполицевого обробки ґрунту під посів озимих доведена багаторазовими дослідженнями, а також виробничим досвідом і знаходить широке застосування на практиці [61, 62, 63, 64, 65]. Технологія передбачає глибоку чизельну або плоско різну обробку ґрунту на ту ж глибину, що й оранка без обороту пласту ґрунту. Вивчався вплив способу обробки ґрунту під посів озимих після стерньових і не стерньових попередників на якість кришення шару ґрунту [65]. Порівнювалася оранка на глибину 20–22 см і різні способи поверхневої обробки на глибину 8–10 см. Найбільша кількість великих грудок розміром більше 25 мм містила зорана земля (34,6%) і оброблена плоскорізом (40,4%). При цьому брили після оранки в подальшому дробилися значно важче, ніж після плоскорізного обробки. При безполицевому способі основного обробки ґрунту під сою лемішними луцильником ПЛ-5-25, дисковою бороною

БДТ-3 і плоскорізом КПГ-250 небезпечних дрібних частинок розміром менше 1 мм в обробленому шарі було відповідно на 2,1% і 9,4% більше, ніж при оранці. Проведені дослідження способів обробітку ґрунту в тривалому стаціонарному сівозміні показали, що в варіантах полицевої оранки з різними схемами внесення добрив кількість небезпечних частинок в оброблюваному ґрунті склало 8,03%–8,59%. У варіантах із застосуванням плоскорезов і дискових знарядь кількість таких грудочок ґрунту знаходилося в межах 5–7%. При цьому число агрономически цінних грудочок першій-ліпшій нагоді обробки не перевищувало 61–63%, а в поверхневому шарі (0–10 см) кількість ерозійно небезпечних частинок першій-ліпшій нагоді обробки ґрунту було на 3–10% більше, ніж в нижніх шарах орного шару. Чизелювання на глибину 20–45 см використовують як основний обробіток ґрунту замість полицевої оранки лемішними плугами, а також для обробітку ґрунту на парах. Полосове чизелювання виконують на глибину до 60 см замість щілювання для боротьби з водною ерозією на схилах, а також для покращення пасовищ [66, 67].

Аналізуючи результати проведених досліджень можна зробити висновок про те, що застосування плоскорізного обробітку ґрунту дозволяє частково усунути недоліки оранки. При цьому підвищується продуктивність агрегатів, знижується на 30–35% витрата енергії на обробіток ґрунту, зменшуються втрати органічних речовин і вологи. Однак через недостатнє кришення пласта ґрунту витрата енергії зростає на наступні додаткові обробки, які неминуче пов'язані зі збільшенням кількості проходів агрегатів і недоліками, пов'язаними з ними.

Наступні поверхневі обробки спрямовані на вирівнювання поверхні поля після основного обробітку та займають в даній системі менший відсоток, так як шар ґрунту, який оброблявся, зазнав менше переміщення в просторі і не перекидався. Отже, поверхня поля після проведення обробки ґрунту в безвідвальній системі залишається більш вирівняною, ніж при проведенні оранки.

Операції, спрямовані на підготовку поля до посіву сільськогосподарських культур, та наступні збігаються з подібними операціями у полицевій системі обробки ґрунту, тому в подальшому ми їх розглядати не будемо.

Безполицева система обробки використовується на ґрунтах легкого і середнього механічного складу в умовах нестачі вологи та необхідності збереження стерні на поверхні поля. Стерня забезпечує більш якісне снігозатримання взимку та захист від вітрової і частково водної ерозії. Але при роботі на важких ґрунтах після проходу подібних знарядь ґрунт сильно переущільнюється [68].

При вивченні способів основного обробітку ґрунту було виявлено, що використання безполицевих знарядь, в порівнянні з полицевими плугами, призводить до збільшення щільності орного шару. Різниця в щільності зберігається протягом усього періоду вегетації розвитку рослин, але при цьому величина рівноважної щільності не виходить за межі оптимуму [60, 69, 70, 71].

При вивченні впливу безполицевого обробітку ґрунту, в порівнянні з полицевою обробкою, на врожайність озимих культур досліді проводилися у різних регіонах. Вони показали незначну різницю в урожайності цих культур. І тільки в посушливі роки, при достатній кількості внесення мінеральних добрив, безполицеві системи обробки виявили більш-менш вагому перевагу [72, 73, 74]. Полицева система обробки сприяє активізації біологічних процесів у нижніх шарах орного горизонту [32, 74], у той час як безполицева система обробки сприяє підвищенню гумусу у верхніх його шарах.

Аналізуючи дослідження [75, 76], можна зробити висновок, що використання безполицевої обробки ґрунту частково компенсує недоліки традиційної полицевої системи у результаті зменшення енерговитрат, збільшення продуктивності виконання операцій з основного обробітку, зменшення втрати вологи й органічної речовини [77]. Однак при недостатніх заходах боротьби з бур'янами поля засмічуються та через недостатню міру кришіння ґрунту зростають енерговитрати на операції поверхневої обробки. У зв'язку з цим в останні роки інтерес сільськогосподарських виробників до безполицевої системи обробки ґрунту значно знизився. Це сталося у результаті того, що при використанні безполицевої системи обробки ґрунту поля засмічувалися, особливо коренепаростковими рослинами, у більшій мірі активізувалися хвороби та шкідники.

Для боротьби з цими явищами широко використовуються хімічні засоби захисту сільськогосподарських рослин [78, 79, 80]. Але, незважаючи на це, врожаї сільськогосподарських культур можуть знижуватися на третину [29]. У результаті відсутності обороту пласту, насіння бур'янів залишаються у поверхневому шарі ґрунту. А так як вони можуть зберігати схожість протягом десятиліть, боротьба з ними істотно ускладнюється.

При внесенні органічних добрив у ґрунт вноситься до 100 млн шт. насіння бур'янів на один гектар площі. За даними І.В. Дудкіна та З.М. Шмат, у орному шарі ґрунту може знаходитись від 100 млн. до 4–5 млрд. штук насіння бур'янів на одному гектарі [81]. Багаторічне використання технології обробки ґрунту безполицевими знаряддями забезпечує локалізацію насіння у поверхневому шарі ґрунту. Тут вони знаходяться під інтенсивним впливом факторів, які викликають їх загибель (різке коливання температур, періодичне зволоження, висихання та ін.) [82, 83]. Це дає можливість боротьби з ними додатковими механічними обробками, особливо восени. Але збільшується кількість рослин, які розмножуються, в основному, завдяки кореневим системам та, як показує практика, такі бур'яни найбільш важко знищуються.

Сільськогосподарські машини, які використовуються в безполицевій системі обробки ґрунту призначені для глибокого розпушування шару ґрунту та виконують завдання щодо підвищення якості кришіння пласту. Саме до таких відносяться машини в яких плоскоріжучі робочі органи встановлені один за одним, але на різних ярусах обробки, що забезпечує високу ступінь кришіння пласту по всій глибині обробки [84]. Для глибокого обробітку ґрунту застосовуються також робочі органи з відносно невеликою шириною захвату. Стійка СІБІМЕ, Дельтаплау та «Параплау». Ці робочі органи мають відносно невелику ширину захвату, проте порівняно з плоскорізами якість кришіння пласта по всій глибині обробки більш висока [29, 85].

Порівняльні оцінки якості кришіння ґрунту різними робочими органами показали, що коефіцієнти структури ґрунтів після проходу машин з названими робочими органами вище, ніж у відвального плуга [70]. Отже, полю після проходу

таких сільськогосподарських машин потрібна менша кількість механічних обробок. Одним із загальних недоліків знарядь, що забезпечують обробку ґрунту без обороту пласта, що знижують їх переваги, є бур'яни, хвороби і шкідники. Через них, незважаючи на широке використання хімічних засобів захисту, втрачається близько 1/3 врожаю.

Отже безполицева технологія має недоліки, які є перешкодою для більш широкого її застосування, ними є: 1) багатоопераційність; 2) енерговитратність; 3) низька якість робіт.

Сучасна наука рекомендує виробництву застосування мінімальної ґрунтозахисної системи обробітку ґрунту шляхом зменшення глибини обробки, кількості механічних обробок або об'єднання ряду технологічних операцій.

Основи мінімального обробітку ґрунту в нашій країні були розроблені в кінці минулого століття І.Є. Овсинським. В Україні широко використовуються системи мінімального обробітку ґрунту зі зменшенням кількості проходів сільськогосподарської техніки по полю з метою мінімізації негативного впливу на ґрунт ходових систем і робочих органів агрегатів [86, 87, 88, 89]. Така система обробки може використовуватися на ґрунтах легкого та середнього механічного складу в умовах достатнього використання хімічних методів боротьби з хворобами й бур'янами [90, 91].

Система мінімального обробітку ґрунту не передбачає глибоку основну обробку та обмежує її на глибині, мінімально необхідної для нормального розвитку і росту рослин. Основний обробіток при даній системі може виконуватися плоскорізами або важкими дисковими знаряддями, які здатні обробити ґрунт на глибину до 16 см. Вже згадана система обробки є менш енерговитратною в порівнянні з відвальною та безвідвальною системами обробки [86, 88, 89].

Мінімальна система обробки, базується на застосуванні плоскорізьблених ґрунтообробних знарядь, сприяє раціональному використанню опадів, особливо в посушливих умовах; зменшення мінералізації гумусу, зниження енерговитрат на обробку ґрунту, та, зрештою, забезпечує високий ґрунтозахисний ефект від водної

та вітрової ерозії. При мінімальній обробці збільшується продуктивність праці за рахунок застосування широкозахватних машин та знарядь.

Як показують дослідження, врожайність зерна кукурудзи по оранці склала 92,0 ц/га, а при мінімальній обробці – 91,6 ц/га. Основний недолік такої системи обробки, небезпека збільшення засміченості полів бур'янистою рослинністю. При мінімальній обробці ґрунту перехідний період відрізняється великою засміченістю оброблюваних площ, тому необхідно проводити велику кількість технологічних операцій по боротьбі з бур'янами або збільшувати дози (шляхом багаторазового внесення) гербіцидів [92, 93]. У світі все ширше впроваджується технологія вирощування сільськогосподарських культур із застосуванням прямого посіву [94, 95, 96, 97, 98]. Це сприяє значному зниженню втрат ґрунту від вітрової та водної ерозії, збереження ґрунтової вологи, поліпшенню його фізичних властивостей. Однак дослідження, проведені Г. Кантом, свідчать про те, що застосування сівалок для посіву у необроблений ґрунт допускається тільки при дотриманні ряду умов [99]. Перш за все така технологія обробітку найбільш прийнятна для кормових та зернових культур. При цьому слід враховувати агрофізичний стан ґрунтового покриву, зональні кліматичні особливості, попередників, сівозміни, наявність необхідних технологічних засобів, ефективних гербіцидів та навіть сортовий склад вирощуваних культур.

Основним завданням комплексів машин для енергозберігаючих технологій є зменшення деградації ґрунтів за рахунок зниження інтенсивності та глибини обробки ґрунту. В умовах наявності оптимальної щільності як у над насінневному, так та у кореневих шарах ґрунту відкриваються можливості для застосування технології «No till», яка базується на використанні сівалок прямого посіву [100, 101, 102, 103, 104, 105]. Технологія процесу роботи сівалок прямого посіву включає мульчування поверхневого шару ґрунту на глибину загортання насіння, рядковий або смуговий посів насіння, внесення добрив та прикочування ґрунту з метою усунення недоліків його кришіння. Боротьба з бур'янами та падалицею проводиться хімічними методами [106].

Технології «No till» є найбільш енергозберігаючими та у порівнянні з традиційними можуть забезпечити 70–75% економії палива, зниження витрат праці – на 59–82%, зменшення прямих експлуатаційних витрат – на 56–69% [107, 108, 109, 110].

На основі аналізу результатів експериментальних досліджень у ННЦ «Інститут землеробства УААН» зроблений висновок про переваги комбінованих систем різноглибинного обробітку, які не виключають можливість використання технологій «No till». Досліди з вивчення таких технологій та їх результати свідчать як на користь, так й проти впровадження різних варіантів мінімалізації обробітку ґрунту [111, 112].

На основі багаторічних комплексних досліджень відділу рільництва Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва та кафедри землеробства Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва [113] для умов Східного Лісостепу розроблена комбінована різноглибинна ґрунтозахисна ресурсозберігаюча система основного обробітку ґрунту під культури польового сівозміну, яка включає:

- поверхневу обробку ґрунту на глибину 6–8 см;
- безполицеву обробку із застосуванням чизельних та протиерозійних культиваторів на глибину від 16–18 см під ярі зернові й круп'яні, до 25–27 см – під соняшник;
- глибоку оранку чорного пару (при внесенні органічних добрив), а також під цукровий буряк та кукурудзу на зерно на глибину від 25 до 32 см;
- прямий посів зернових колосових культур спеціальними сівалками для посіву у необроблений ґрунт.

Найбільший ресурсозберігаючий та ґрунтозахисний ефекти досягаються шляхом застосування комбінованих агрегатів та знарядь, які сприяють тривалому збереженню післяжнивних залишків на поверхні ґрунту [8, 114].

Таким чином, різноглибинна система основного обробітку ґрунту у сівозмінах передбачає доцільність використання технологій «No till» для вирощування зернових культур, які потребують зменшення вимог сівалок

прямого посіву до вирівнювання поверхні полів. Трирічні випробування сівалки прямої сівби АПП-6 показали практичну неможливість отримання дружніх сходів рослин при використанні її у системах різноглибинної основної обробки ґрунту.

«Нульова» обробка представляє собою утримання ґрунту мульчуваного рослинними залишками в непорушеному стані протягом усього року [115]. Для сівби нарізають у ґрунті щілині, у які вкладається насіння. Застосовується у зонах посушливого, недостатнього та нестійкого зволоження. На всіх сівалках для використання у технологіях «No till» встановлюються пресові колеса для ущільнення ґрунту. Наприклад, фахівці університету штату Північна Дакота (США) рекомендують проводити посів озимої пшениці (при «нульовій» обробці) у стерньові залишки ячменю, льону, висота яких становить 15,2–20,3 см, а також у рослинні залишки сої, соняшнику, гороху, пшениці. При висіві пшениці по пшениці підвищується ступінь захворюваності рослин [116, 117, 118].

З вище наведеного можна зробити висновок що так звана «нульова» обробка ґрунту передбачає обробку гербіцидами міжрядь, а в зоні загортання насіння проводиться розпушування ґрунту. Основним недоліком «нульової» обробки є те, що вона не забезпечує створення необхідного контакту насіння з ґрунтом середнього та важкого механічного складу, що є основною причиною відмови від нульового обробітку у США.

Існує багато наукових обґрунтувань про можливість повної відмови від великої кількості механічних обробок та багато способів мінімізації обробітку ґрунту, але всі основні заходи зводяться до наступного: 1) використання гербіцидів; 2) застосування широкозахватних агрегатів; 3) застосування комбінованих агрегатів; 4) фрезерування ґрунту.

З перерахованих способів мінімізації обробітку ґрунту пріоритетний напрямок набрало застосування комбінованих ґрунтообробних машин і агрегатів. Останні мають високу продуктивність, дешеві у використанні, не порушують агротехнічних вимог і сприяють зниженню термінів виконання технологічних операцій. Розділяють три основні типи комбінованих машин і агрегатів: 1) агрегат комплектується з декількох, послідовно з'єднаних простих машин, кожна з яких

виконує свою операцію; 2) послідовно встановлюються на одній рамі різні робочі органи для виконання технологічного процесу; 3) машини зі спеціальними комбінованими робочими органами.

Широкого поширення набули комбіновані ґрунтообробні машини типу «Європак, до робочих органів яких відносяться Вирівнювачі, S-образні лапи і ротаційні подрібнювачі грудок. Використання даних машин у виробництві дозволяє об'єднати від двох до шести операцій і знизити на 20–40% витрати палива на передпосівну підготовку ґрунту. Агрегати, складені на основі комбінації одноопераційних знарядь, хоча і мають деякі переваги, не виправдовують себе через свою громіздкість, нестійкості руху в прямолінійній напрямку і невідповідності їх ширини захвату. Посівні комбайни, з встановленими на одній рамі робочими органами сівалки і ґрунтообробних знарядь, виконані у вигляді лап або дисків, менш громіздкі.

Застосування на комбінованих машинах активних робочих органів дозволяє за один прохід агрегату забезпечити високу якість обробки ґрунту. Такі машини, як правило, складаються з фрез і робочих органів сівалки. Однак широкого поширення машини з активними робочими органами не отримали через великий енергоємності та ненадійності в роботі. Останнє пояснюється великими витратами енергії на відкидання ґрунту фрезами, які в загальних витратах енергії складають від 30 до 70%. Зниження енергоємності комбінованих машин з активними робочими органами може бути отримано при смуговому обробітку ґрунту. Такі машини створюються на основі просапних фрез і сівалок. Передпосівна обробка ґрунту звичайними знаряддями супроводжується перерозподілом дрібних та великих частинок за глибиною оброблюваного шару [119]. Робочі органи знарядь, переміщаючись у ґрунті, виштовхують великі грудочки на поверхню, а дрібні просипаються донизу. Зі збільшенням кількості обробок перерозподіл часток ґрунту, тобто її сепарація за глибиною обробки, посилюється [120, 121]. При цьому багаторазові обробки ґрунту перед посівом призводять до збільшення числа великих частинок ґрунту у зоні загортання насіння, що є небажаним.

Перерозподіл часток ґрунту за глибиною посівного шару поліпшується у тому випадку, коли робочі органи знарядь закріплені на рамі за допомогою пружин-вібраторів або на пружних стійках [122, 123, 124, 125]. Вібрація робочих органів призводить до того, що дрібні частинки ґрунту більш інтенсивно просипаються донизу, а на поверхню виштовхуються більші її фракції [126]. Однак приведені види робочих органів для фракційного перерасподілу ґрунту за глибиною посівного шару також не гарантують вилучення всіх крупних комочків з зони заробки насіння.

Для фракційного перерозподілу ґрунтових частинок застосовується багатокорпусний плуг з пристроєм для просіювання грудок ґрунту під відвал (рис. 1.1–1.2).

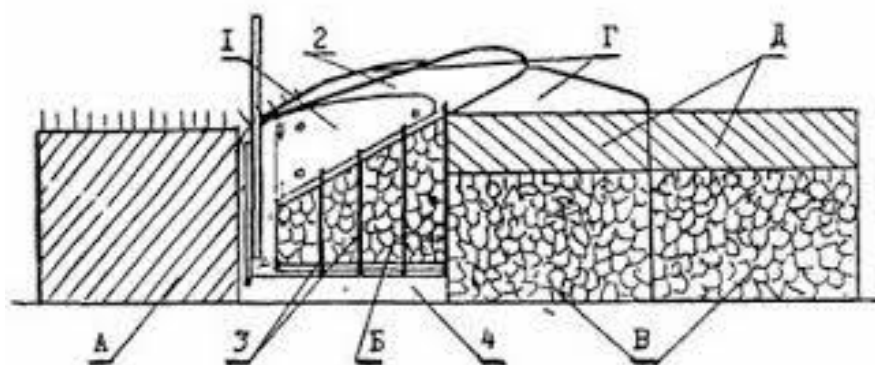


Рис. 1.1. Технологічний процес оранки з просіюванням дрібних грудок та частинок ґрунту під відвал: А – ґрунтовий шар для корпусу – неораний; Б – ґрунтовий шар у корпусі при оранці; В – ґрунтовий шар після проходження корпусу; Г – верхня частина шару при його обороті на відвалі; Д – перевернутий верхній шар; 1 – корпус плугу; 2 – відвал; 3 – просіваючий пристрій (стрижні); 4 – леміш [127]

Оранка таким плугом здійснюється так само, як й серійним, але ґрунтовий пласт, пройшовши леміш 1 (він трохи вужче, ніж на серійному плузі), просівається між стрижнями, а решта маса дробиться нижньої кромкою 4 відвалу 3 та по ньому звальюється у попередню борозну. На гвинтових відвалах залишки ґрунту обертаються. Стійкість прямолінійного руху плугу підтримується ребрами (лижами) 5, встановленими замість крайніх стрижнів на кожному корпусі та

з'єднують по кінцях леміш з відвалом. Передній кінець першого лемеша черенковим ножом 6 зв'язаний з рамою 2 плугу.

Для виконання такого способу обробки ґрунту можна використовувати плуг з поверненими лемешами [127] (див. рис. 1.2), але з заміною вставки між лемешами та відвалами пружними стрижнями 7, розташованими зі просвітом між ними та по ходу шару ґрунту на корпусах плугу.

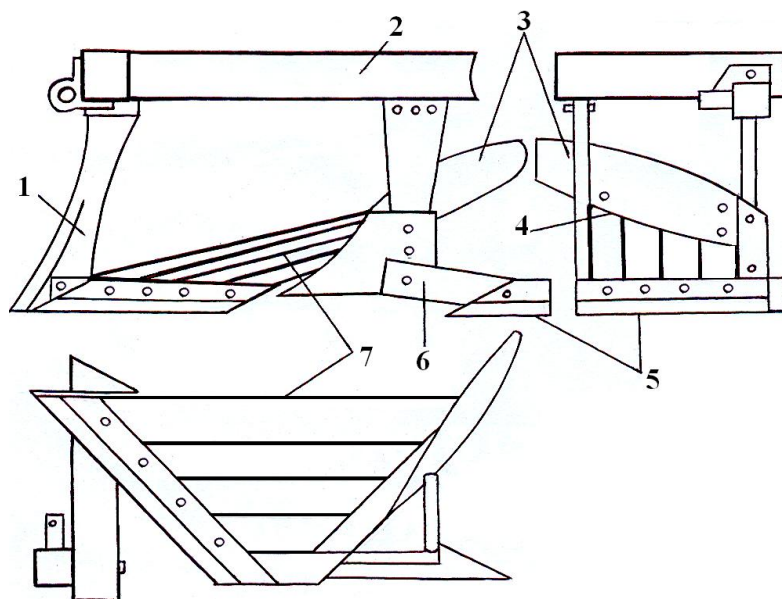


Рис. 1.2. Багатокорпусний плуг з пристроєм для просіювання дрібних грудок та частинок ґрунту під відвал: 1 – леміш (сито); 2 – рама; 3 – відвал; 4 – нижня кромка відвалу; 5 – лижа; 6 – черенковий ніж; 7 – пружні стрижні [127]

Перевагою запропонованого способу обробки ґрунту є його ґрунтозахисні та енергозберігаючі властивості, а плугу – поліпшення їм агротехнологічних якостей оранки. Це забезпечує:

- збереження дрібних частинок ґрунту у місцях розпушування шляхом опускання їх на дно борозни за лемешем після підйому та кришіння;

- економію енергії, тому що вона не витрачається на підйом дрібних грудок на відвали та їх подрібнення, при цьому не відкидається і не несеться вітром ґрунтовий пил;

- зменшення можливості утворення плужної підшви – плуг буде підніматися стрижнями та відвалами, спираючись на дрібні грудки, які

просипались між стрижнями та пройшли під відвалами, тим самим протидіючи силі заглиблення плугу лемешами у ґрунт;

– краще подрібнення ґрунтового шару за рахунок різних умов руху його частин, при яких лівий край проходить на корпусі більший шлях, правий край - менший, у результаті чого пласт деформується, дрібні грудки просипаються, а великі - додатково кришаться на відвалі, зсуваючись по ньому вбік. Крім того, краще подрібнення забезпечується ще й тим, що пласт, піднятий та розколотий лемешем, дробиться ще і нижньою кромкою відвалу;

– зниження опору плугу з поверненими лемешами за рахунок зменшення сили бокового тиску його польової дошки на стінку борозни, що покращує прямолінійність руху агрегату, і навіть на твердих ґрунтах тиск направляється в протилежну сторону у порівнянні з серійним плугом (у борозну). В результаті зменшується поворот (відведення) трактора і створюється можливість становити асиметричні орні агрегати з малопотужними тракторами без порушення стабільності їх прямолінійного руху.

Однак, такий тип робочих органів не забезпечить високої якості перерозподілу часток ґрунту по глибині посівного шару. Підйом ґрунту можна здійснити відомими способами за допомогою фрези [128], дисків або лемеша [129, 130]. Найбільш простим та надійним способом, що виправдав себе в картоплезбиральних машинах, можна вважати підйом ґрунту пасивним лемешем [131, 132]. Однак, при переміщенні лемеша на малих глибинах (0,03–0,12 м) рух ґрунту по ньому ускладнено через ґрунтовий валок, що утворюється перед лемешем. Ґрунт при цьому розпушується та розсипається в сторони, не забезпечуючи належного підпору, необхідного для переміщення його до розрихлювально-сепаруючого пристрою.

Для того, щоб ґрунт не вивантажував у вигляді валка та не розсипався в сторони, по обидва боки лемеша можна встановити пасивні обертові диски по типу дисків картоплезбиральної машини [129, 130]. Сепарація ґрунту вельми трудомістка, тому що при швидкості руху агрегату 2 м/с через нього треба

пропускати в одну секунду близько 20 кг ґрунту. При цьому необхідно забезпечити гарне його подрібнення.

Менш енергоємними і більш надійними в роботі є комбіновані ґрунтообробні машини з активно-пасивними робочими органами. Однією з таких типів машин є комбінована ґрунтообробна машина для передпосівної підготовки ґрунту під посів насіння цукрових буряків [133, 134, 135, 136]. Випробування даної експериментальної ґрунтообробної машини проводилися в порівнянні з традиційними ґрунтообробними машинами. На контрольному варіанті проводилася ранньовесняна обробка ґрунту, вирівнювання, передпосівна культивуація та сівба. На розрахункових ділянках експериментальної машини (рис. 1.3) – ранньовесняна обробка ґрунту, передпосівний обробіток ґрунту з сепарацією її фракцій за структурним складом та сівба. Дві останні операції проводились за один прохід комбінованого агрегату. Результати якості передпосівної підготовки ґрунту за структурним складом наведені у табл. 1.1 (дані УНІПА) [134].

Дані таблиці показують, що обробка ґрунту експериментальною машиною у порівнянні з традиційними знаряддями дозволяє збільшити коефіцієнт структурності ґрунту в насінневому шарі приблизно у 1,7 рази. При цьому протягом усього вегетаційного періоду рослин цукрових буряків істотної зміни в структурному складі ґрунту за варіантами експерименту не відзначено. Останнє свідчить про відносну стабільність агрофізичних параметрів, що створені експериментальною машиною. Однак така машина призначена для обробки ґрунту на глибину загорання насіння в традиційних системах основного обробітку та для оптимізації фізико-механічних властивостей ґрунту в зоні загорання насіння.

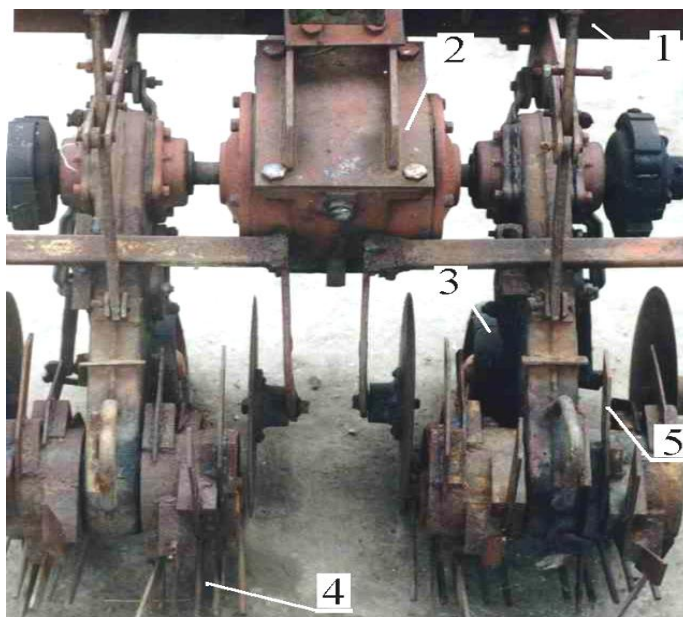


Рис. 1.3. Робочі секції машини для передпосівної підготовки ґрунту під посів цукрового буряка: 1 – рама; 2 – редуктор; 3 – опірні колеса; 4 – сепаруюча решітка; 5 – ротор

Таблиця 1.1. Структурний склад чорнозему типового в посівному шарі в залежності від виду обробки ґрунту

Варіант дослідження	Кількість грудок, %							
	перед висівом				перед збиранням врожаю			
	розміри грудок, мм			K _{стр}	розміри грудок, мм			K _{стр}
	>10	10...0,25	<0,25		>10	10...0,25	<0,25	
Контроль	26,0	70,6	3,4	2,4	37,9	60,2	1,9	1,52
Експериментальна машина	16,0	80,7	3,3	4,18	22,9	75,5	1,6	3,08

Відома також ґрунтообробна машина КПР-3,2 для оптимізації фізико-механічних властивостей оброблюваного шару ґрунту на глибину до 18 см [137, 138].

На рис. 1.4 показано загальний вид машини. Ґрунтообробна машина складається з рами, двох опорних коліс, плоскоріжучих стрілочастих лап, до яких приварені прутки сепаруючої решітки, ротора та його приводу. Привід ротора

здійснюється від валу добору потужності трактора з частотою обертання 540 ± 20 мин^{-1} . У приводі ротора є запобіжна муфта та двоступеневий редуктор, що дозволяє регулювати частоту його обертання в залежності від необхідної якості кришіння шару ґрунту. Глибина обробки ґрунту регулюється за допомогою гвинтових механізмів опорних коліс.

Працює машина в такий спосіб. Плоскоріжуча лапа, що складається з бруса та наклепаних 11-ти сегментних лап (рис. 1.5), підрізає пласт ґрунту і подає його на сепаруючу решітку. Ножі ротора захоплюють ґрунт, переміщують його по сепаруючій решітці з одночасним його кришінням. Дрібні грудки ґрунту проходять через проміжки сепаруючої решітки, великі – ножами ротора переміщуються у верхні шари ґрунту. При цьому на поверхню ґрунту викидаються великі грудки й кореневища рослин, у тому числі й корененащадкових бур'янів. В результаті сепарації оброблюваного шару ґрунту відбувається диференціація його за структурним складом, а на поверхні з пожнивних залишків утворюється мульчований прошарок. Ножі ротора, переміщуючись у зазорах сепаруючої решітки, очищають її та самі очищаються від налиплого ґрунту й рослинних залишків.



Рис. 1.4. Машина для обробки орного шару ґрунту: 1 – рама; 2 – опорні колеса; 3 – ротор; 4 – сепаруюча решітка; 5 – леміш

Застосування на комбінованій машині активного робочого органу (ротора) дозволяє за один прохід агрегату забезпечити високу якість обробки ґрунту. А взаємодія активно-пасивних робочих органів дозволяє поліпшити якість кришіння шару ґрунту з одночасним зниженням енергетичних витрат. Активні робочі органи подрібнюють пласт ґрунту, який підтягтий та піднятий сегментним брусом, переміщаючи ґрунт по сепаруючій решітці, перерозподіляючи його за структурою, тим самим забезпечують у зоні загортання насіння дрібно грудкувату структуру.

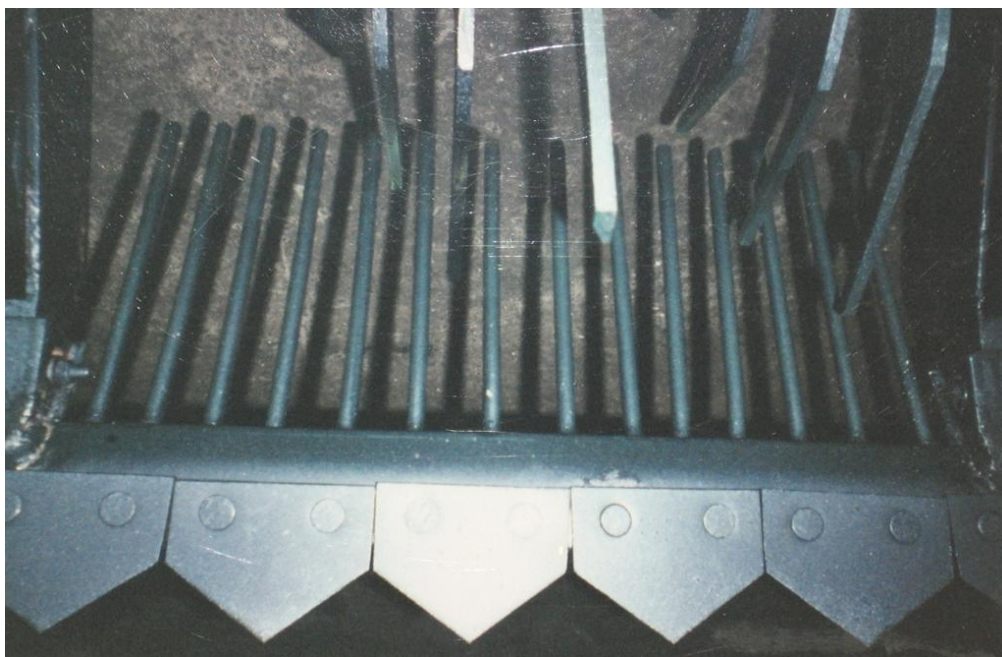


Рис. 1.5. Розташування робочих органів машини КПП-3,2

В процесі роботи комбінованої ґрунтообробної машини близько 30% від загальних витрат енергії витрачається на привід ротора.

Профіль дна борозни після проходу машини має пиловидну форму з висотою нерівностей до 3 см. Тож ця машина не призначена для роботи на щільних ґрунтах, а отже, її використання у таких випадках стає малоефективним.

У зв'язку з зазначеними недоліками машини КПП-3,2 необхідно модернізувати підрезаюче-підйомні робочі органи з метою усунення перерахованих недоліків та створення умов для використання зазначеної машини на щільних попередньо необроблених ґрунтах у різних системах обробітку

грунту. Параметри ножа ротора повинні бути обґрунтовані з урахуванням зниження розкидання грудок ґрунту ротором, виключення можливості заклинювання ґрунту між ножем та прутками у момент входу його у сепаруючу решітку, та мінімальними витратами енергії на його роботу.

1.3. Аналіз рішень спрямованих на зниження енергоємності та підвищення якості обробки ґрунту

Дослідженням процесу взаємодії з ґрунтом робочих органів сільськогосподарських машин займалися В.П. Горячкін, П.М. Василенко, П.М. Заїка, І.В. Морозов, Г.М. Синєоков, А.М. Панченко, Я.С. Гуков, А.С. Кушнар'єв, В.Ф. Пашенко, І.А. Шевченко, В.М. Сало, О.В. Козаченко, О.М. Шкрегаль та ін. Однак, незважаючи на значний накопичений обсяг теоретичних і експериментальних робіт, багато питань, що стосуються як суті технологічного процесу взаємодії робочих органів з ґрунтом, так і вибору їх оптимальних параметрів з урахуванням умов та особливостей роботи, вивчені ще недостатньо.

Певною мірою протиріччя в рекомендаціях проявляється в результаті принципово різного підходу до пошуку оптимальних рішень щодо обґрунтування форми та параметрів ріжучих елементів робочого органу. Так, в роботах Е. Дінгера та І. Ратьє розглядаються закономірності процесу різання ґрунту вертикальними сталевими листами (елементарними профілями), ґрунтуючись на теорії механіки сипучого середовища з урахуванням допущення Кулона про те, що тіло «випора» зберігає під час витіснення ножем свою форму [145]. У цих роботах розкриті такі фізичні особливості процесу, як утворення ґрунтового наросту (ущільненого ядра) на ножі та наявність критичної глибини для розрихлювального ножа, наводиться формула для визначення сили різання P вертикального профілю:

$$P = E + 2T + K \quad (1.1)$$

де E – зусилля, необхідне для подолання сили тяжіння тіла «випора»; T – зусилля, необхідне для подолання тертя ґрунту по бокових поверхнях ножа; K – зусилля зсуву у ґрунтовому масиві.

Зроблені авторами практичні висновки малоприменні для їх використання стосовно до природних умов та натурних зразків машин. Подальший розвиток питання взаємодії робочих органів розпушувального типу з ґрунтом отримали в роботах А.І. Зеленіна, Р.П. Турецького, Ю.А. Ветрова, Г.Н. Сінеокова, І.М. Панова та ін. [53, 133]. В результаті встановлено межі зон сколювання та ущільнення, які визначаються критичною глибиною розпушування; обґрунтовані умови утворення ущільненого ядра; знайдені залежності сил опору ножа від глибини та кута різання, ширини ножа й інших чинників. Так, наприклад, стосовно до мінеральних ґрунтів А.І. Зеленін запропоновано формулу для розрахунку тягового опору вертикального ножа, що базується на використанні експериментальних даних [145]

$$P = 10^{-2} \cdot C_{y\delta} \cdot h^{1,35} \cdot (1 + 0,1\delta_n) \cdot \left(1 - \frac{90^\circ - \alpha_n}{180^\circ}\right) \cdot k_\gamma \quad (1.2)$$

де $C_{y\delta}$ – число ударів динамічного плотномеру ДОРНІІ;

h – глибина розпушування, см;

δ_n – товщина ножа, см;

α_n – кут різання, град;

k_γ – коефіцієнт що залежить від кута загострення.

Ця формула широко використовувалася в певний час у навчальних та розрахунково-методичних курсах, у конструкторських розрахунках при розробці ґрунтообробних машин. В роботі Сінеокова Г.Н., Панова І.М. [53] досить повно розглянуті питання деформації ґрунту при впливі на нього розпушувальних робочих органів сільськогосподарських машин. У цій роботі, зокрема, показано, що поперечний переріз контуру розпушування має форму трапеції, мала основа якої, знаходиться на дні борозни, дорівнює ширині зуба, а бічні сторони утворюють з горизонтальною площиною кути сколювання $\psi = 40-60^\circ$. Величина кута ψ залежить від механічного складу та вологості

грунту. При розпушуванні зубами суглинних й глинистих ґрунтів руйнування їх відбувається в результаті відриву, а супіщаних ґрунтів – у результаті зсуву [53]. У більшості випадків питання взаємодії розпушувальних робочих органів з ґрунтом та вибір їх параметрів вирішуються експериментальним шляхом. Звісно, що в цьому випадку не завжди можливо прогнозувати перспективні напрямки в удосконаленні розпушувальних робочих органів та вибір їх оптимальних параметрів. В.І. Ветохін при обґрунтуванні форми розпушувальних робочих органів чизельного плугу використовував теорію Кулона-Мора. Він запропонував математичну модель процесу взаємодії розрихлювальної робочої поверхні з ґрунтом. В результаті досліджень встановлено, що для зниження енергоємності розпушування ґрунту необхідно забезпечити його деформацію переважно розтягуванням і зрушенням з мінімальною швидкістю змінно-спрямованих деформацій. Отримано поздовжню форму поверхні розпушувального елемента, в якому увігнутий профіль в передній його частині поступово переходить до заднього його обрізу в опуклий. Однак дослідження, що базуються в своїй основі на теорії міцності і руйнування матеріалів (теорії Мора-Кулона) не дають достатньо достовірних результатів стосовно швидкісних ґрунтообробних машин. У цих роботах підхід до силової взаємодії робочих органів з ґрунтом заснований на принципі стійкості підпірних стінок (теорія граничної рівноваги ґрунтів) при цьому динамічний вплив на робочий орган не розглядається.

Також застосування знаходять аналітичні методи досліджень взаємодії робочих органів розпушувального типу з ґрунтом. При цьому ряд дослідників використовують методи подібності та математичного моделювання, засновані на використанні реологічних моделей. Питання про вибір ґрунтової моделі є важливим, тому що ґрунт, як об'єкт обробки, веде себе по різному в залежності від умов. В одних випадках його можна розглядати як тверде тіло, що здатне до деформації, в інших – як сипучу і пластичну середу. У будь-якому випадку вибір моделі буде вельми умовним, тому що фізична сутність явищ, що протікають при руйнуванні ґрунту складна. Вибір складних реологічних моделей, що найбільш повно відображає властивості реальних ґрунтів, ускладнюється складністю

визначення (дослідним шляхом) реологічних констант і тому проводиться найчастіше з формальних міркувань (як комбінації простих реологічних моделей). Реологічні моделі, як правило, використовують для якісного аналізу. Кількісну оцінку параметрів процесу обробки ґрунту зазвичай проводять, використовуючи найбільш прості властивості реальних тіл, вибір яких хоча і проводиться з певними припущеннями, але дозволяє забезпечити аналітичне рішення різних практичних завдань з достовірністю, що відповідає сучасному стану науки. При дослідженні процесу руйнування ґрунтів вони розглядаються в більшості випадків як лінійно-деформоване середовище. У роботах Балабанова У.М. відзначається істотний вплив лобового профілю розпушувального робочого органу на його залипання та тяговий опір. Приймаючи допущення про те, що лобовий профіль може бути представлений як гнучка нитка, елементи якої знаходяться під впливом зовнішнього горизонтального тиску і внутрішніх сил натягу, Балабанов У.М. запропонував рівняння, що аналітично описує форму лобового профілю:

$$dy' = \frac{1}{\beta} \cdot f(x) \cdot dx \quad (1.3)$$

де β – коефіцієнт що визначається дослідним шляхом;

$f(x)$ – закономірність зміни питомого опору ґрунту за глибиною обробки.

Рекомендації Балабанова У.М. не мають певної конкретності, тому що не містять пропозицій для вибору закономірностей $f(x)$ для тих чи інших видів робочих органів та різних умов їх роботи. Крім цього, аналітичні розробки [157] базуються на передумовах про те, що натяг нитки в кожній її точці однаковий, що обумовлює і сталість коефіцієнту β . Та, нарешті, рекомендації Балабанова У.М. не містять пропозицій, що стосуються оптимізації форми лобового профілю стосовно різних умов. Морозовим П.О. в роботі наведено аналітичне рівняння направляючої кривої симетричного робочого органу:

$$y = \iint [\varphi(x) dx] dx + \int C_1 dx + C_2 \quad (1.4)$$

де $\varphi(x) = \frac{f(x)}{T}$ – залежність питомого опору копання по глибині обробки;

T – сила натягу умовної нитки.

Морозов П.О. вважає, що необхідну форму направляючої кривої $y=y(x)$ можна отримати, задаючи різні закони зміни $\varphi(x)$. Однак рекомендації щодо визначення $\varphi(x)$ і за попередніми оцінками необхідної форми кривої $y=y(x)$ їм не наводяться. Відсутні також рекомендації по методиці визначення сили натягу T умовної нитки. Незважаючи на значну кількість робіт, присвячених обґрунтуванню параметрів розпушувальних робочих органів питання вибору раціональної геометрії ще не вирішено. У цьому плані значний інтерес представляють роботи Короткевича П.С, Третьяка В.П., Сторчака С.В. та ін., в яких для вирішення завдань оптимізації геометрії розпушувальних робочих органів використовуються принципи варіаційного обчислення, вперше запропоновані для вирішення завдань землеробської механіки Василенко П.М. Однак у зазначених роботах рішення задач оптимізації надається стосовно машин причіпного типу (причіпні культиватори) та для глибин розпушування, відповідних глибині оранки. Як показано низкою дослідників, вибір оптимальної форми робочого органу визначається характером зміни по глибині обробки питомих тисків на передню грань ножа. Василенко П.М. на цей рахунок зазначає, що «...знаючи закономірність розподілу тиску на поверхні ріжучого робочого органу в залежності від глибини, на основі принципів варіаційного обчислення можна вирішувати завдання про вибір екстремальної форми бічного профілю» [147] пропонує для старопахотних ґрунтів застосовувати закон зміни горизонтальної складової q_z питомого тиску на передню грань ножа пропорційним глибині різання. Для заданої залежності $q_z=\varphi(x)$ їм встановлено, що оптимальною формою бічного профілю розрихлювальної лапи культиватора буде крива, близька до логарифмічної.

Аналогічні результати отримані Сторчаком С.В. [159]. Приймаючи для важкосуглинкових чорноземів в межах орного шару ступеневу залежність горизонтальної складової $q_z=ax^n$ нормального тиску по глибині, він також встановив, що мінімальний тяговий опір розпушувальних лап культиватора досягається при логарифмічній формі кривої бічного профілю ножа. Метод

варіаційного обчислення почав широко впроваджуватися в практику досліджень ґрунтообробних машин. В роботі [160] Лукьянов А.Д. застосував цей метод для пошуку оптимальної форми ріжучого елемента фрези. Він встановив, що найменший опір різанню при пошаровому знятті стружки буде відчувати ріжучий елемент, у якого лезо ножа у площині переміщення виконано у формі кривої другого порядку (параболи). Показано застосування цього методу для розрахунку кривої лобового профілю стійки робочого органу чизельного плуга. В результаті створено робочий орган, що забезпечує зниження тягового опору на 18%. Шаршак В.К. використовував метод варіаційного обчислення для обґрунтування форми поздовжнього профілю леза ножа підпокривного фрезерувача [158], а також для обґрунтування форми бічного профілю робочого органу розпушувального типу. Згідно з його дослідженням, з урахуванням умов підпокривного фрезерування екстремалами є прямі лінії, причому мінімальний опір різанню забезпечується при встановленні ножа фрезерувача під кутом α до його поздовжньої вісі. Величина кута α залежить від коефіцієнта зовнішнього тертя f :

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{-1 + \sqrt{1 + f^2}}{f} \quad (1.5)$$

Використовуючи експериментальну залежність питомої нормального тиску від глибини обробки, представлену у вигляді многочлену:

$$q_r(x) = a_0 x^3 + b_0 x^2 + c_0 x \quad (1.6)$$

Шаршак В.К. встановив, що мінімальний опір розпушування буде забезпечуватися при криволінійній формі бічного профілю ножа, виконаної у вигляді логарифмічної кривої. Юзбашев В.А. пропонує встановлювати розпушувальні робочі органи у вигляді прямих плоских стійок з нахилом їх до вертикалі під кутом $25^\circ\text{--}30^\circ$ ($\alpha=60^\circ\text{--}65^\circ$) [46]. При цьому їм показано, що робочі органи з криволінійними стійками та великим вильотом наральника мають значний тяговий опір. У зв'язку з цим, на думку Юзбашева В.А. найбільш перспективні прямі похилі стійки з наральником. Однак ці рекомендації

абсолютно не узгоджуються з пропозиціями Сакуна В.А. та ін. [58] про доцільність використання навпроти криволінійних стійок. У дослідженнях В.Ф. Пашенко [134] було відзначено, що якість виконуваних робіт і кількість енергії, що витрачається на одиницю площі залежить перш за все від геометричного профілю робочої поверхні виконуючого органу. Також було встановлено, що показники якості та енергоємності обробітку ґрунту визначаються типами і параметрами робочих органів, режимами роботи, агрофізичними властивостями ґрунту. Відділення пласта ґрунту від моноліту відбувається шляхом зсуву або відриву перебуваючи в прямій залежності від типу, та фізико-механічних властивостей ґрунтів.

Узагальненими показниками фізико-механічних властивостей ґрунтів та енергоємності при обробці ґрунту можуть бути: тиск ґрунту на поверхню робочого органу, коефіцієнт тертя робочого органу об ґрунт. Ці показники можливо формалізувати при складанні енергетичних функціоналів. Клас допустимих функцій визначається виходячи з параметрів обробки ґрунту, конструктивно-функціональних показників ґрунтообробних машин і знарядь. Якщо завдання не визначає жорстких вимог до граничних умов ґрунту, то його доцільно розраховувати за допомогою методів варіаційного числення з плаваючими межами. Це дозволяє знайти найбільш раціональний профіль робочого органу з точки зору збереження енергії при операції обробки ґрунту [134].

Методика складання математичних моделей взаємодії робочого органу з ґрунтом у двомірному вимірі на підставі використання прямого варіаційного обчислення складається з етапів:

- побудови схеми сил на робочий орган та вибір системи розрахунків;
- визначення закономірності розподілу питомого опору ґрунту на поверхню робочого органу:

$$q=f_1(x, y, y'), \quad (1.7)$$

- складання енергетичного функціоналу:

$$J = \int_{\Omega} F(q, x, y, y') d\Omega; \quad (1.8)$$

- знаходження голономних і неголономних рівнянь зв'язку, які вводять обмеження на профіль робочого органу з точки зору якісних показників його роботи:

$$\varphi_i(x, y) = 0; \varphi_j(x, y, y') = 0 \quad (1.9)$$

- для задач з рухомими кінцями рівняння кривих, які визначають дозволене положення кінцевих точок:

$$y_0 = \varphi_0(x_0); y_1 = \varphi_1(x_1); \quad (1.10)$$

- вигляд кривої, яка описує профіль робочого органу та задовольняє кінцевим умовам у вигляді поліному:

$$y = y_0'x + \frac{x^2(y_k - x_k y_0')}{x_k^2} + C_1 x(x - x_k) + C_2 x^2(x - x_k) + \dots + C_n x^n(x - x_k), \quad (1.11)$$

де $C_1 \dots C_n$ – коефіцієнти.

- підстановка обраних рівнянь у функціонал, диференціювання за коефіцієнтами та приведення до нуля

$$\frac{\partial J}{\partial C_i} = \int_{x_0}^{x_1} \frac{\partial F_1(q; x; y; y')}{\partial C_i} dx = 0; \quad (1.12)$$

- розрахунок отриманої системи з урахуванням рівнянь зв'язку та трансверсальності визначають профіль робочого органу.

Функціонал для визначення тягового опору робочого органу:

$$R_x = \int_0^{x_c} \int_0^{y_c} (q_x + dF_x) dx dy + \int_{x_A}^{x_B} \int_0^{y_c} (q_x + dF_x) dx dy + \int_{x_B}^{x_A(x_A-x)} \int_0^{y_c} (q_x + dF_x) dx dy, \quad (1.13)$$

де $x_c; y_c; x_B; x_A$ – координати точок; $\gamma_1; \gamma_2$ – кути між осями OX та лініями OC та A_1B_1 .

Система рівнянь для визначення коефіцієнтів C_i :

$$\frac{\partial R_x}{\partial C_i} = \int_0^{x_c} \int_0^{y_c} \frac{\partial(q_x + dF_x)}{\partial C_i} dx dy + \int_{x_A}^{x_B} \int_0^{y_c} \frac{\partial(q_x + dF_x)}{\partial C_i} dx dy + \int_{x_B}^{x_A(x_A-x)} \int_0^{y_c} \frac{\partial(q_x + dF_x)}{\partial C_i} dx dy = 0,$$

$$\overline{i = 1,4}$$

$$\text{де } \frac{\partial(q_x + dF_x)}{\partial C_1} = b\rho v^2 \left\{ \begin{array}{l} \left[-\frac{(z'_x)^3}{H(1+(z'_x)^2)} \frac{\partial \alpha}{\partial C_i} + \left(1 - \frac{h}{H}\right) \frac{(3+z'^2)z'^2}{(1+(z'_x)^2)^2} \frac{\partial z'_x}{\partial C_i} + \right. \\ \left. + \left(1 - \frac{h}{H}\right) \left\{ \begin{array}{l} \left[(1+(z'_y)^2) \frac{\partial z'_x}{\partial C_i} \right] \times \\ \times (1+(z'_x)^2 + (z'_y)^2)^{-3/2} - \\ - \frac{2 \cos \theta}{1+(z'_x)^2} \frac{\partial z'_x}{\partial C_i} \end{array} \right\} \right] \end{array} \right\}, \quad (1.14)$$

де $z=f(x; y)$ – рівняння поверхні робочого органу, яка позначається коефіцієнтами C_i .

Конструктивні параметри ґрунтообробних робочих органів істотно впливають не тільки на енергоємність процесу, а й на якість обробки. На додаток до цього можна зробити висновок про те, що завдання вибору та оптимізації геометричних параметрів робочих органів має вирішуватися окремо для кожного конкретного випадку, тобто для конкретного типу і конкретних умов їх роботи.

Аналіз результатів досліджень показує досить високу ефективність використання варіаційного обчислення для рішень завдань спрямованих на зниження енергоємності та підвищення якості розпушування ґрунту, що дає підставу говорити про великі можливості та перспективи даної методики.

Тому одним із завдань цієї дисертаційної роботи стало обґрунтування параметрів робочих органів, що забезпечують підйом та подачу ґрунту до розрихлювально-сепаруючого пристрою, та обґрунтування форми ножа ротора з врахуванням узагальнених показників фізико-механічних властивостей ґрунтів та енергоємності з допомогою методу варіаційного обчислення.

1.4. Висновки до розділу 1

1. Найбільш сприятливі умови для рослин створюються при диференціації оброблюваного шару ґрунту за структурним складом. При цьому у поверхневому шарі ґрунту повинні переважати грудки розміром від 5 до 20 мм, а у зоні загортання насіння – від 0,25 до 10 мм.

2. Засоби механізації для обробки ґрунту у полицевій, безполицевій, мінімальних та нульових системах забезпечують необхідні умови для

вирощування сільськогосподарських культур. Однак для створення близьких до оптимальних параметрів фізико-механічного стану ґрунту, а також для боротьби з бур'янами необхідно проводити відносно велику кількість механічних обробок та вони не виключають використання гербіцидів для очищення полів.

3. Система «No till», яка базується на використанні сівалок прямої сівби, у порівнянні з традиційною дозволяє знизити витрати енергії на підготовку ґрунту та сівбу на 70–75%. Однак існуючі сівалки прямої сівби не забезпечують створення найбільш сприятливих умов для проростання насіння та розвитку рослин.

4. Для отримання дрібно грудкуватої структури ґрунту у зоні розташування насіння не обов'язково інтенсивно його кришити та тим самим збільшувати енергоємність процесу. Необхідна структура може бути отримана при суміщенні операції кришіння ґрунту та фракційного його розподілу за глибиною обробки.

5. Існуюча машина КПП - 3,2 для оптимізації агрофізичного стану орного шару ґрунту дозволяє, у порівнянні з традиційними культиваторами, підвищити коефіцієнт структурності приблизно у 2,5 рази, підтримувати у літній період вологість ґрунту на 1–2% вище, ніж на контролі, та істотно знизити засміченість обробленого шару ґрунту. Однак конструкція робочих органів для підйому та подачі ґрунту до розрихлювально-сепаруючого пристрою машини та високі витрати енергії на привід ротора не дозволяють використовувати його на ґрунтах підвищеної щільності.

6. Аналіз результатів досліджень показує досить високу ефективність використання варіаційного обчислення для рішень завдань спрямованих на зниження енергоємності та підвищення якості розпушування ґрунту.

1.5. Мета та завдання досліджень

Якість виконання поверхневого, основного та передпосівного обробітку ґрунту визначається не тільки глибиною, гребнистістю поверхні, закладенням пожнивних залишків та брильністю але також й структурним складом шару, що обробляється. Останній параметр на пряму пов'язаний з фізичними, фізико-

механічними та реологічними (пластичними) властивостями ґрунту. Його величина в оброблюваному шарі повинна відповідати вимогам культур, що висіваються. Отже, і шар ґрунту, що обробляється повинен бути диференційований за ключовим параметром – структурним складом.

У зв'язку з цим, ціллю роботи є підвищення якості (створення найбільш сприятливих умов для наповнення та збереження вологи у ґрунті, очищення полів від бур'янів) з одночасним зниженням витрат енергії на обробіток ґрунту.

Для зменшення енергетичних витрат та підвищення якості обробки ґрунту необхідно:

- провести аналіз існуючих технологій та способів оптимізації фізико-механічного стану ґрунту;
- обґрунтувати параметри робочих органів, що забезпечують мінімальний тяговий опір на підйом та подачу ґрунту до розрихлювально-сепаруючого пристрою;
- обґрунтувати технологічний процес та параметри робочих органів ротора;
- провести комплекс експериментальних досліджень по визначенню достовірності результатів теоретичних досліджень;
- вивчити вплив параметрів робочих органів на якісні показники роботи у різних умовах використання;
- провести порівняльні випробування у виробничих умовах;
- впровадити результати досліджень науково-дослідної роботи у виробництво.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

2.1. Обґрунтування технологічного процесу роботи

Інтенсивність обробки ґрунту, активно сприяє погіршенню фізико-механічних та інших його властивостей, що неминуче призводить до зниження врожайності і підвищення витрати енергії на отримання продукції. Тому при розробці сучасної техніки та технологій необхідно враховувати важливість збереження родючості ґрунтів.

Виходячи з проведеного аналізу машин та знарядь для обробітку ґрунту встановлено (розділ 1), що для оптимізації фізико-механічного стану шару ґрунту, що обробляється може бути використана ґрунтообробна машина для сепарації ґрунту за структурним складом (див. рис. 1.4).

Недоліком існуючої машини є те, що робочий орган для підрізання та подачі ґрунту до розрихлювально-сепаруючого пристрою не забезпечує необхідну заглибленість у попередньо необроблений ґрунт.

Робочі органи для підрізання та підйому ґрунту пропонується розробити на базі плоскоріжучих стрілчастих лап сівалки прямої сівби.

Кінці крил вказаних лап загнути під кутом 90^0 щоб зменшити зміщення ґрунту у боки, та відстань між ними, розташувати в один ряд, що істотно спростить конструкцію сепаруючого пристрою.

Для забезпечення необхідної заглибленості робочих органів у щільний ґрунт пропонується використовувати наральник у передній частині стрілчастої лапи від чизельного робочого органу, який розташований під кутом до горизонту.

Для забезпечення мінімальної енергоємності процесу роботи пропонується теоретично обґрунтувати та застосувати наральник мінімального тягового опору, а також ніж ротора що забезпечує мінімальні витрати енергії на його роботу, та високу якість механічної обробки ґрунту.

Під час руху технічного засобу (рис. 2.1), наральник 1, встановлений на стрілчастій лапі 2 встановленій на стійці 3 закріпленій на рамі 6, забезпечує заглиблення в ущільнений шар ґрунту. Підрізаний стрілчастою лапою 2 ґрунт піднімається, частково кришиться, загнуті кінці лапи не дають сходити ґрунтові з робочого органу у боки. Стрільчаста лапа (леміш) 2, забезпечує підйом шару ґрунту, який піднімаючись, частково кришиться, утворюючи ґрунтове ядро перед лемешем, та рухається, потрапляючи на сепаруючу решітку 5.

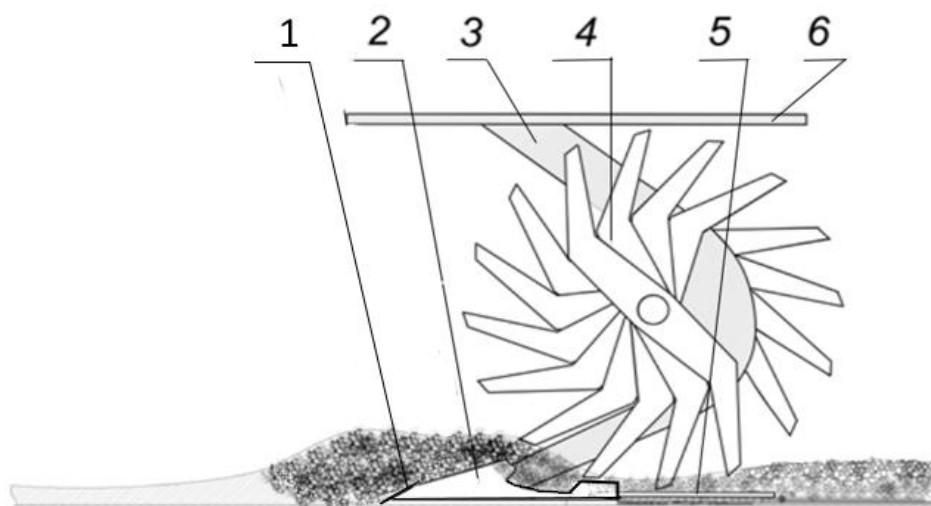


Рис. 2.1. Принципова схема технічного засобу: 1 – наральник; 2 – леміш; 3 – стійка; 4 – робочий орган ротора; 5 – сепаруюча решітка; 6 – рама

Ножі ротора 4 захоплюють ґрунт, кришать та переміщують його по решітці. Дрібні грудки проходять через зазори сепаруючої решітки, при цьому на поверхню ґрунту викидаються великі грудки, пожнивні залишки, та рослини з коренем, в тому числі й кореневища бур'янів. У результаті відбувається сепарація оброблюваного шару ґрунту, розшарування його за структурним складом, знищення бур'янів шляхом їхнього механічного вичісування з оброблюваного шару, а на поверхні утворюється мульчований шар [130].

2.2. Обґрунтування параметрів робочих органів для підйому та подачі ґрунту до розрихлювально-сепаруючого пристрою

2.2.1. Обґрунтування форми наральника мінімального тягового опору

Робочі органи сільськогосподарських машин з наральниками отримали широке застосування. Наральники встановлюються на робочих органах знарядь для основного обробітку ґрунту, дрібної обробки та сівалок прямої сівби. Метою встановлення наральника на сільськогосподарських машинах є створення необхідних умов для заглиблення робочих органів у ґрунт, забезпечення стійкості їхнього ходу на заданій глибині, поліпшення кришіння пласту ґрунту та ін.

Метою встановлення наральника на подрізаюче-підйомні робочі органи ґрунтообробної машини є забезпечення їхнього заглиблення у щільний, попередньо необроблений ґрунт.

Профіль наральника будемо шукати у вигляді кривої, яка проходить через задані граничні точки, а кути нахилу дотичних до кривої у них повинні рівнятися заданим величинам у рухомій декартовій системі координат XOZ (рис. 2.2) [139].

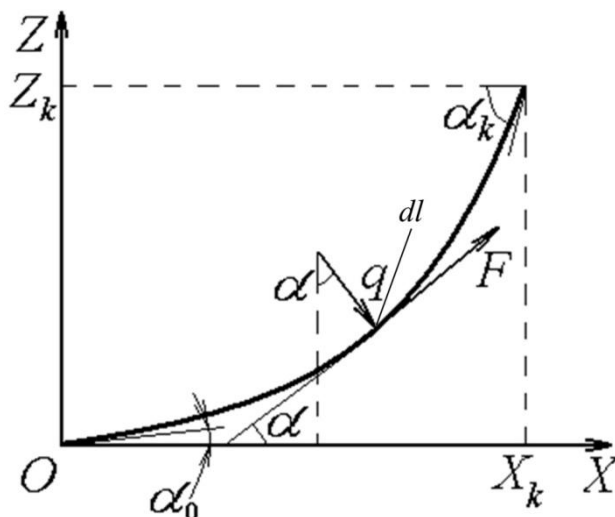


Рис. 2.2. Схема для обґрунтування профільної лінії наральника

Кут нахилу у початковій точці наральника забезпечує необхідне його заглиблення, та становить 26° [140]. Кут нахилу стійки у точці X_k визначається конструктивними особливостями ґрунтообробної машини для оптимізації структурного складу ґрунту за глибиною обробки. Цей кут визначався за умови,

що стійки кріплення робочих органів проходять за віссю обертання ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою [141]. Таке розташування стійок сприяє тому, що ґрунтове ядро, яке утворюється перед стійкою, потрапляє до зони роботи ротора. Це виключає можливість забивання машини ґрунтом та забезпечує можливість встановлення плоскоріжучих лап у шеренговому порядку. Значення кінцевої точки $X_k Z_k$ визначалося експериментальним шляхом відповідно до висоти розташування ґрунтових валків.

У точці O крива проходить під кутом α_o , а у точці $X_k Z_k$ – під кутом α_k . Якщо допустити, що наральник переміщається в однорідному шарі ґрунту з постійною швидкістю, то на елементарний відрізок робочої поверхні dl діє нормальна сила тиску ґрунту q та сила тертя F .

Для вирішення задачі використовуємо метод варіаційного обчислення. Основний метод обчислення різноманітних варіаційних задач зводиться до вирішення диференціального рівняння або системи диференціальних рівнянь Ейлера [134, 142]. Для вирішення диференціальних рівнянь використовуються чисельні методи, які розв'язуються за допомогою комп'ютера. А при ускладненні завдання необхідно проводити громіздкі перетворення, що створює труднощі при складанні диференціальних рівнянь Ейлера. Тому при вирішенні завдань землеробської механіки одержання та розв'язання рівнянь Ейлера є трудоємним процесом [141].

У зв'язку з трудоємністю вирішення даного роду рівнянь виникає необхідність використання прямих методів варіаційного обчислення. Прямі методи надають можливість відшукати необхідну криву при побудові послідовних наближень до неї. Це дозволяє звести рішення задачі про екстремум функціоналу до екстремуму функції з використанням методу Рітца [141].

Ідея методу полягає в тому, що значення функціоналу розглядається на можливих лінійних комбінаціях певних функцій з постійними коефіцієнтами, які складені з перших членів послідовності:

$$J(y) = \int_{x_0}^{x_1} F(x, y, y') dx. \quad (2.1)$$

На відрізку (x_0, x_1) побудується повна послідовність функцій $\varphi_k = \varphi_k(x)$ з класу C' , тобто таких, при яких для всякого $y \in C'$ і будь-якого $\varepsilon > 0$ знайдеться така кінцева лінійна комбінація, що:

$$\left\| y - \sum_{k=1}^n C_k \varphi_k \right\| < \varepsilon. \quad (2.2)$$

Ставиться умова щодо лінійної незалежності φ_k для всіх n . Таку послідовність $\{\varphi_k\}$ прийнято називати координатною.

Будується лінійна комбінація перших n координатних елементів:

$$y_n(x) = \varphi_0(x) + \sum_{k=1}^n C_k \varphi_k(x), \quad (2.3)$$

де $\varphi_0(x)$ – функція, що забезпечує проходження шуканої кривої через задані граничні точки.

Після підстановки рівняння (2.3) у функціонал він перетворюється у функцію незалежних змінних C_1, \dots, C_n :

Змінні $\{C_k\}$ підбираються таким чином, щоб отримана функція досягала свого найменшого значення. Для цього має бути виконана така умова:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial \Phi}{\partial C_1} = 0, \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial \Phi}{\partial C_k} = 0 \end{array} \right\}. \quad (2.4)$$

Отримана система рівнянь є лінійною тільки для квадратичних функціоналів. Підбираючи значення n досить великим, можна знайти рішення $y(x)$ з будь-яким ступенем точності.

Для визначення функції, а отже й функціоналу, достатньо задати нескінченну послідовність коефіцієнтів C_1, C_2, \dots, C_n . Якщо послідовність забезпечує функціоналу мінімум, вона називається мінімізуючою послідовністю. Швидкість збіжності останньої до деякої функції буде найчастіше залежати тільки від вдало або невдало обраного правила побудови послідовності. Одне з методів Рітца полягає в тому, що значення функціоналу розглядається на можливих лінійних комбінаціях певних функцій з постійними коефіцієнтами, які складені з перших членів послідовності.

Виокремлюємо на робочій поверхні наральника елементарну ділянку dl , на яку діє сила нормального тиску ґрунту q та сила тертя ґрунту об поверхню наральника F . Тоді елементарна сила опору руху наральника визначається за формулою:

$$dR_x = q \cdot \sin \alpha \cdot dl + F \cdot \cos \alpha \cdot dl, \quad (2.5)$$

де q – елементарний нормальний тиск ґрунту на робочу поверхню наральника; α – кут нахилу дотичної до профілю наральника на елементарній ділянці та віссю координат; dl – елементарна довжина виділеної ділянки на наральнику; F – елементарна сила тертя між наральником та ґрунтом.

Якщо рівняння шуканого профілю записати в загальному вигляді, то отримаємо рівняння:

$$Z = f(x). \quad (2.6)$$

Загальновідомо, що тангенс кута нахилу дотичної до шуканого профілю наральника та віссю координат OX визначається за формулою:

$$Z' = \frac{dZ}{dx}, \quad (2.7)$$

а косинус та синус кута виразити через тангенс кута, відповідно одержимо:

$$\sin \alpha = \frac{Z'}{\sqrt{1 + (Z')^2}}; \quad (2.8)$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1+(Z')^2}}, \quad (2.9)$$

то рівняння (2.5) запишеться:

$$dR_x = q \frac{Z'}{\sqrt{1+(Z')^2}} dl + F \frac{1}{\sqrt{1+(Z')^2}} dl. \quad (2.10)$$

З врахуванням того, що:

$$F = q \cdot f, \quad (2.11)$$

де f – коефіцієнт тертя ґрунту по металу наральника, а:

$$dl = \sqrt{(dx)^2 + (dZ)^2} = dx \sqrt{1+(Z')^2}, \quad (2.12)$$

рівняння (2.10) запишеться:

$$dR_x = q(Z' + f) dx. \quad (2.13)$$

Виходячи з того, що в результаті проведення експериментальних досліджень [135] визначено залежності для обчислення питомого тиску ґрунту на наральник:

$$q = a_1 Z^{a_2}, \quad (2.14)$$

де a_1, a_2 – постійні коефіцієнти.

Для чорноземних ґрунтів показники середнього механічного складу відповідно становлять $a_1=1,31 \text{ Н/м}^2$, $a_2=1,081 \text{ Н/м}^2$. Значення коефіцієнтів визначено експериментальним шляхом для чорноземних ґрунтів.

Після підстановки рівняння (2.14) у рівняння (2.13) та інтегрування рівняння (2.13) отримаємо енергетичний функціонал роботи наральника:

$$R_x = a_1 \int_0^{x_k} Z^{a_2} (Z' + f) dx, \quad (2.15)$$

де x_k – координата кінцевої точки наральника.

Стаavimo задачу: серед групи кривих, які проходять через граничні точки $Z(X_0)=0$ та $Z(X_k)=Z_k$, виходять з початкової точки під кутом a_0 та проходять у

кінцеву точку під кутом a_k , знайти криву, яка описує профіль наральника мінімальної енергоємності, тобто забезпечує екстремум функціоналу.

Для вирішення задачі скористаємося методом прямого варіаційного обчислення, який дозволяє задачу визначення екстремуму функціоналу перевести у задачу знаходження екстремуму функції. Задаємо рівняння кривої профілю наральника, що задовольняє граничним умовам:

$$Z = Z'_0 X + \frac{3Z_k - X_k (Z'_k - 2Z'_0)}{X_k^2} X^2 + \frac{(Z'_k + Z'_0) X_k - 2Z_k}{X_k^3} X^3 + (C_1 X^2 + C_2 X^3)(X_k - X)^2, \quad (2.16)$$

де C_1 та C_2 – шукані коефіцієнти;

Z'_0 та Z'_k – тангенси кутів нахилу дотичних до профільної лінії наральника;

X_k ; Z_k – координати кінцевої точки кривої, яка описує профіль наральника.

Перша похідна до рівняння (2.16) має вигляд:

$$Z' = Z'_0 + 2X \frac{3Z_k - X_k (Z'_k + 2Z'_0)}{X_k^2} + \frac{(Z'_k + Z'_0) X_k - 2Z_k}{X_k^3} 3X^2 + 2(X - X_k)(C_1 X^2 + C_2 X^3) + (X - X_k)^2 (2C_1 X + 3C_2 X^2). \quad (2.17)$$

Підставивши рівняння (2.16) та (2.17) у функціонал (2.15), отримаємо функцію для визначення тягового опору наральника:

$$R_x = a_1 \int_0^{x_k} \left[Z'_0 X \frac{3Z_k - X_k (Z'_k - 2Z'_0)}{X_k} X^2 + \frac{(Z'_k + Z'_0) X_k - 2Z_k}{X_k^3} X^3 + (X_k - X)(C_1 X + C_2 X^2) \right]^{a_2} \cdot \left[Z'_0 + 2X \frac{3Z_k - X_k (Z'_k + 2Z'_0)}{X_k^2} + \frac{(Z'_k + Z'_0) X_k}{X_k^3} 3X^2 + 2(X - X_k)(C_1 X^2 + C_2 X^3) + (X - X_k)^2 (2C_1 X + 3C_2 X^2) + f \right] dx. \quad (2.18)$$

У задачу досліджень входить визначення відповідно у початковій та кінцевій точках значень постійних коефіцієнтів C_1 і C_2 таким чином, аби вони забезпечили мінімум функції (2.18).

Визначивши частинні похідні (2.18) за C_1 та C_2 й прирівнявши їх до нуля, отримаємо систему рівнянь, розв'язання якої дозволить знайти значення шуканих коефіцієнтів:

$$\frac{\partial R_x}{\partial C_1} = a_1 \int_0^{x_k} \left\{ a_2 Z^{a_2-1} \frac{\partial Z}{\partial C_1} (Z' + f) + Z^{a_2} \frac{\partial Z'}{\partial C_1} \right\} dx = 0, \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial R_x}{\partial C_2} = a_1 \int_0^{x_k} \left\{ a_2 Z^{a_2-1} \frac{\partial Z}{\partial C_2} (Z' + f) + Z^{a_2} \frac{\partial Z'}{\partial C_2} \right\} dx = 0, \quad (2.20)$$

де:

$$\frac{\partial Z}{\partial C_1} = X^2(X - X_k), \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial Z'}{\partial C_1} = 2(X - X_k)X^2 + 2(X - X_k)^2 X, \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial C_2} = (X - X_k)^2 X^2, \quad (2.23)$$

$$\frac{\partial Z'}{\partial C_2} = 2(X - X_k)X^3 + 3(X - X_k)^2 X^2. \quad (2.24)$$

Систему рівнянь (2.19 та 2.20) вирішували чисельним методом за відношення шуканих коефіцієнтів C_1 та C_2 .

Для розрахунку застосовували: $F=0,5$, $X_0=0$, $X_k=0,18$ m, $Z_0=0$, $Z_k=0,085$ m, $Z'_0=\text{tg}15^\circ$, $Z'_k=\text{tg}25^\circ$. Знайдені значення шуканих коефіцієнтів C_1 та C_2 відповідно дорівнюють $C_1=-104,0088$; $C_2=-3346,742$.

Після підстановки значень отриманих коефіцієнтів у рівняння (2.16) отримаємо вираз, який описує профіль наральника стійки ґрунтообробної машини мінімальної енергоємності:

$$Z = -3316.74X^5 + 1090.02X^4 - 76.5083X^3 - 1.06674X^2 + 0.2679X. \quad (2.25)$$

Крива лінія, побудована за рівнянням (2.25), показує форму наральника мінімального тягового опору (рис. 2.3).

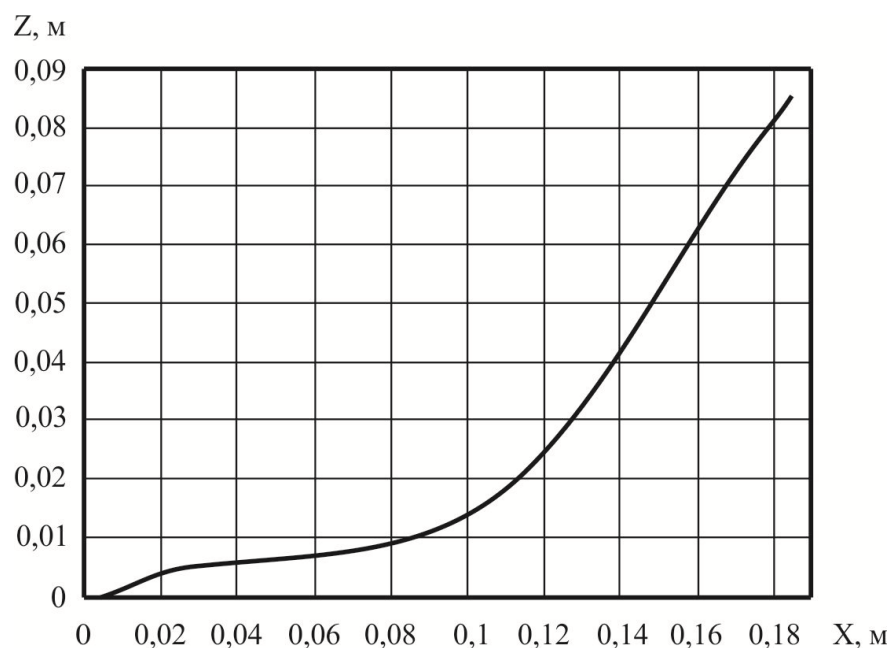


Рис. 2.3. Обґрунтована форма наральника мінімального тягового опору

2.3. Обґрунтування параметрів розрихлювально-сепаруючих робочих органів

2.3.1. Обґрунтування форми ножа ротора, що забезпечує мінімальні витрати енергії на його роботу

В процесі роботи ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої машини близько 30% від загальних витрат енергії витрачається на привід ротора. Одним з основних факторів, що визначають енергоємність роботи ножа ротора є профіль його робочої крайки. При взаємодії ножа ротора з ґрунтом крутильний момент не є величиною постійною та змінюється за часом залежно від положення щодо сепаруючої решітки. Аналіз роботи показав, що крутильний момент досягає найбільшої величини при максимальному зануренні його в ґрунт, тобто в момент входу його у проміжки сепаруючої решітки.

Завдяки рішення цієї задачі за допомогою методу прямого варіаційного обчислення був обґрунтований профіль ножа, що забезпечує мінімальне значення крутного моменту тільки у певних положеннях [134]. Обґрунтований профіль ножа ротора забезпечує найкращі умови для транспортування ґрунту у

початковий момент входження його у ґрунт та мінімальні витрати енергії на його привід.

Однак отримана форма робочої крайки ножа не забезпечує мінімальної витрати енергії на роботу як окремого ножа, так й ротора у цілому. Найбільш повним показником роботи ножа ротора є витрати енергії на виконання одного повного циклу, тобто одного обороту ножа [143].

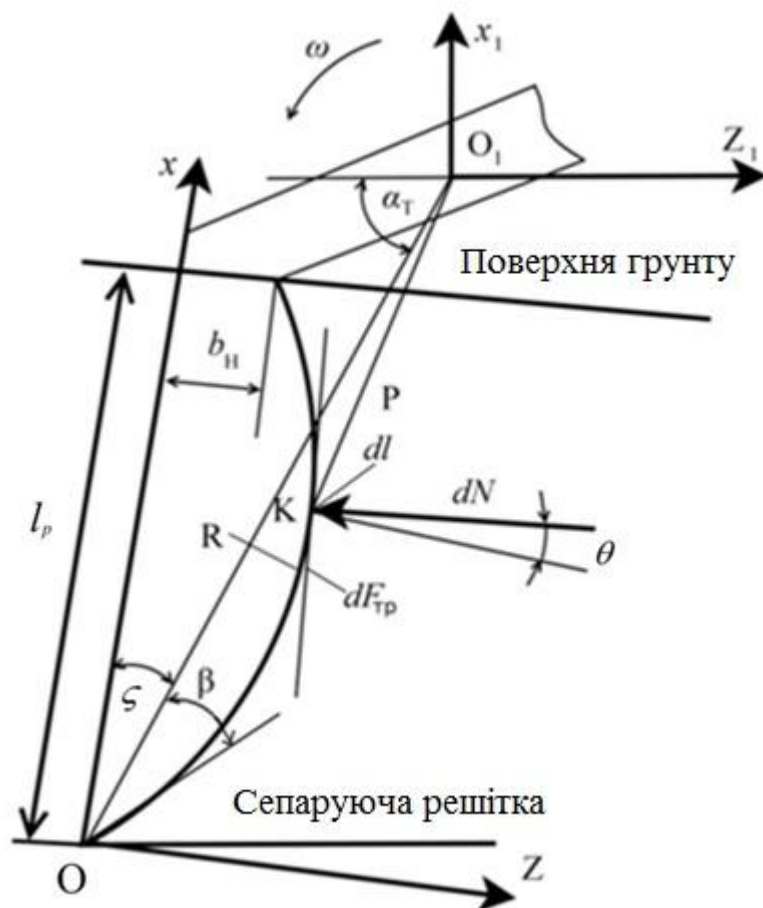


Рис. 2.4. Сили діючі на ніж ротора [134]

На ніж ротора діє нормальна сила тиску ґрунту qdl , сила тертя ґрунту о його ріжучу кромку $qfdl$, сила тертя об бічну поверхню (рис. 2.4). Величина елементарного крутного моменту ротора визначається, відстанню від поверхні ґрунту елементарної площадки, радіусом ротора, кутом між напрямком дії нормальної сили та перпендикуляром до радіусу обертання сили, силою тертя елементарної площадки, радіусом обертання елементарної площадки [134].

Для визначення крутного моменту на привід одного ножа ротора скористалися результатами відомих досліджень [135]. З урахуванням того, що

$Z = f(x)$, $Z' = \frac{dZ}{dx}$ величина елементарного крутного моменту ротора

визначається із рівняння:

$$dM_0 = \frac{g\rho(1 + \operatorname{tg} \theta)\sqrt{1 + Z'^2}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \theta}} dx, \quad (2.26)$$

де g – питомий нормальний тиск ґрунту на кромку ножа; ρ – радіус обертання елементарної площадки; θ – кут між напрямком дії нормальної сили та перпендикуляром до радіусу обертання елементарної площадки.

Питомий нормальний тиск ґрунту на кромку ножа, визначається:

$$g = Kh^{n-1}, \quad (2.27)$$

де K та n – постійні коефіцієнти, які залежать від фізико-механічних властивостей ґрунту;

h – відстань від поверхні ґрунту до елементарної площадки визначаємо [135]:

$$h = \frac{[K_1 \sin(\alpha_T + \zeta) - \cos(\alpha_T + \zeta)]x - [\sin(\alpha_T + \zeta) + K_T \cos(\alpha_T + \zeta)]Z}{\sqrt{K_1^2 + 1}} + \frac{R(\cos \alpha_T - K_1 \sin \alpha_T) + b}{\sqrt{K_1^2 + 1}}, \quad (2.28)$$

де K_1 та b – постійні коефіцієнти, що визначаються товщиною шару ґрунту на решітці та його відстань до осі обертання ротора; α_T – поточний кут повороту радіуса-вектора ($\alpha_T = \omega t$); ζ – кут між віссю координат OX і радіусом-вектором; R – радіус ротора.

З урахуванням того, що елементарна довжина виділеної ділянки

$dl = \sqrt{1 + Z'^2} dx$, замінивши косинус і синус через тангенс кута θ , на підставі співвідношення (2.26) :

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{Z'(R \cos \zeta - x) - R \sin \zeta + Z}{Z'(R \sin \zeta - Z) + R \cos \zeta}. \quad (2.29)$$

Радіус обертання елементарної площадки $-\rho$, визначається із рівняння:

$$\rho = \sqrt{R^2 - 2R(x \cos \zeta + Z \sin \zeta) + X^2 + Z^2}. \quad (2.30)$$

Визначаємо роботу, виконану ножем ротора за одне обертання.

З урахуванням того, що процес взаємодії ножа з ґрунтом можна розділити:

а) від моменту входження ножа у ґрунт до входження у проміжок сепаруючої решітки;

б) рух ножа між проміжками сепаруючої решітки;

в) від моменту виходу ножа із решітки до виходу із ґрунту.

Рівняння набуває вигляду функціонала, який являє собою математичну модель процесу взаємодії ножа з ґрунтом у трьох фазах:

$$A = \int_{X_{n1}}^{X_{K1}} \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} dM_0 d\alpha_T dx + \int_{X_{n2}}^{X_{K2}} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} dM_0 d\alpha_T dx + \int_{X_{n3}}^{X_{K3}} \int_{\alpha_2}^{\alpha_3} dM_0 d\alpha_T dx, \quad (2.32)$$

де $X_{n1}, X_{n2}, X_{n3}, X_{K1}, X_{K2}, X_{K3}$ – початкові та кінцеві координати лінії, що визначає ріжучу кромку ножа ротора у трьох фазах його роботи; $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – початкові та кінцеві кути повороту ножа у трьох фазах його роботи.

Враховуючи вираз (2.28), запишемо:

$$dM_0 = \frac{K[K_1 \sin(\alpha_T + \zeta) - \cos(\alpha_T + \zeta)]x - [\sin(\alpha_T + \zeta) + K_1 \cos(\alpha_T + \zeta)]Z + \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \theta} \sqrt{K_1^2 + 1}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \theta} \sqrt{1 + Z'^2}} + \frac{R(\cos \alpha_T - K_1 \sin \alpha_T + f) + b\rho(1 + \operatorname{tg}^2 \theta \sqrt{1 + Z'^2})}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \theta}}. \quad (2.33)$$

де f – коефіцієнт тертя ґрунту об кромку ножа.

Вводимо позначення:

$$B_1 = \frac{K\rho(1 + \operatorname{tg}^2 \theta \sqrt{1 + Z'^2})}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \theta}}, \quad (2.34)$$

$$B_2 = [XK_1 \sin(\alpha_T + \zeta) - X \cos(\alpha_T + \zeta) - Z \sin(\alpha_T + \zeta) - ZK_1 \cos(\alpha_T + \zeta) - R \cos \alpha_T + RK_1 \sin(\alpha_T + \zeta)]. \quad (2.35)$$

Рівняння матиме вигляд:

$$A = \int_{X_{n1}}^{X_{K1}} B_1 B_2 \Big|_{\alpha_0}^{\alpha_1} dx + \int_{X_{n2}}^{X_{K2}} B_1 B_2 \Big|_{\alpha_1}^{\alpha_2} dx + \int_{X_{n3}}^{X_{K3}} B_1 B_2 \Big|_{\alpha_2}^{\alpha_3} dx. \quad (2.36)$$

Для знаходження екстремуму функціонала (2.36) використовуємо прямий метод варіаційного числення Рітца. Постановка варіаційної задачі при цьому формулюється так: серед множини кривих, знайти криву, яка описує профіль ножа ротора, що забезпечує мінімум функціоналу та проходить через дві задані граничні точки X_0, Z_0 й X_K, Z_K та виходить з початкової точки під заданим кутом.

Представимо рівняння кривої, яке задовольняє умови постановки задачі, у вигляді многочлена [134]:

$$Z = XZ'_0 + X^2 \frac{Z_K - X_K Z'_0}{X_K^2} + X^2 (X - X_K) C_1 + X^3 (X - X_K) C_2 + X (X - X_K) C_3, \quad (2.37)$$

де Z'_0 – тангенс кута між віссю OX та дотичної до кривої у початковій його точці;

C_1, C_2, C_3 – коефіцієнти які визначають профіль робочої поверхні;

X_K, Z_K – кінцеві граничні коефіцієнти рівняння.

$$Z'_0 = tg(\beta + \theta). \quad (2.38)$$

де β – кут між радіус-вектором носка ножа та дотичної до кривої в цій же точці.

Після підстановки рівняння (2.37) у (2.36) задача зводиться до знаходження значення постійних коефіцієнтів C_1, C_2, C_3 , що визначають форму ножа ротора, яка забезпечує мінімальну величину крутильного моменту його приводу.

Знаходимо частинні похідні від рівняння (2.36) за C_1, C_2, C_3 та прирівнюємо їх до нуля.

$$\begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial C_1} = & \int_{X_{n1}}^{X_{K1}} \left(\frac{\partial B_1}{\partial C_i} B_2 + B_1 \frac{\partial B_2}{\partial C_i} \right) \Big|_{\alpha_0}^{\alpha_1} dx + \int_{X_{n2}}^{X_{K2}} \left(\frac{\partial B_1}{\partial C_1} B_2 + B_1 \frac{\partial B_2}{\partial C_1} \right) \Big|_{\alpha_1}^{\alpha_2} dx + \\ & + \int_{X_{n3}}^{X_{K3}} \left(\frac{\partial B_1}{\partial C_1} B_2 + B_1 \frac{\partial B_2}{\partial C_1} \right) \Big|_{\alpha_2}^{\alpha_3} dx = 0, \end{aligned} \quad (2.39)$$

де

$$\frac{\partial B_1}{\partial C_i} = \frac{\sqrt{1+tg\theta} \left\{ g\sqrt{1+Z'^2} (ftg\theta-1) \frac{\partial \rho}{\partial C_i} + \rho \sqrt{1+Z'^2} (ftg\theta-1) \frac{\partial g}{\partial C_i} + \right.}{1+tg^2\theta} \quad (2.40)$$

$$\left. + \frac{g \left[\frac{Z'(ftg(\theta-1))}{\sqrt{1+Z'^2}} \frac{\partial Z}{\partial C_i} + \sqrt{1+Z'^2} f \frac{\partial tg\theta}{\partial C_i} \right]}{1+tg^2\theta} \right\} - \rho g \sqrt{1+Z'^2} (ftg\theta-1) \frac{\partial tg\theta}{\partial C_i} dx = 0;$$

$$\frac{\partial B_2}{\partial C_i} = -\frac{\partial Z}{\partial C_i} \sin(\alpha_T + \zeta) + \frac{\partial Z}{\partial C_i} K_1 \cos(\alpha_T + \theta); \quad (2.41)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial C_1} = \frac{Z \frac{\partial Z}{\partial C_1} - R \sin \zeta \frac{\partial Z}{\partial C_i}}{\sqrt{R^2 - 2R(Z \sin \zeta + X \cos \zeta) + Z^2 + X^2}}; \quad (2.42)$$

$$\frac{\partial g}{\partial C_1} = K(n-1)h^{n-2} \left(-\frac{\sin(\alpha_T + \zeta) + K_1 \cos(\alpha_T + \zeta)}{\sqrt{K_1^2 + 1}} \frac{\partial Z}{\partial C_1} \right); \quad (2.43)$$

$$\frac{\partial tg\theta}{\partial C_i} = \frac{\left[Z'(R \sin \zeta - Z) + R \cos \zeta - X \right] \left[(R \cos \zeta - X) \frac{\partial Z}{\partial C_i} + \frac{\partial Z}{\partial C_1} \right]}{\left[Z'(R \sin \zeta - Z) + R \cos \zeta \right]^2} \times \quad (2.44)$$

$$\frac{\left[Z'(R \cos \zeta - X) - R \sin \zeta + Z \right] \left[(R \sin \zeta - Z) \frac{\partial Z}{\partial C_i} - Z' \frac{\partial Z'}{\partial C_i} \right]}{\left[Z'(R \sin \zeta - Z) + R \cos \zeta \right]^2};$$

$$Z' = Z'_0 + 2X \frac{Z_K - X_K Z'_0}{X_K^2} + 2X(X - X_K)C_1 + X^2 C_1 + 3X^2(X - X_K)C_2 + (X - X_K)C_3 + X C_3; \quad (2.45)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial C_1} = X^2(X - X_K); \quad (2.46)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial C_2} = X^3(X - X_K); \quad (2.47)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial C_3} = X(X - X_K); \quad (2.48)$$

$$\frac{\partial Z'}{\partial C_1} = 2X(X - X_K) + X^2; \quad (2.49)$$

$$\frac{\partial Z'}{\partial C_2} = 3X^2(X - X_K) + X^3; \quad (2.50)$$

$$\frac{\partial Z'}{\partial C_3} = (X - X_K) + X = 2X - X_K. \quad (2.51)$$

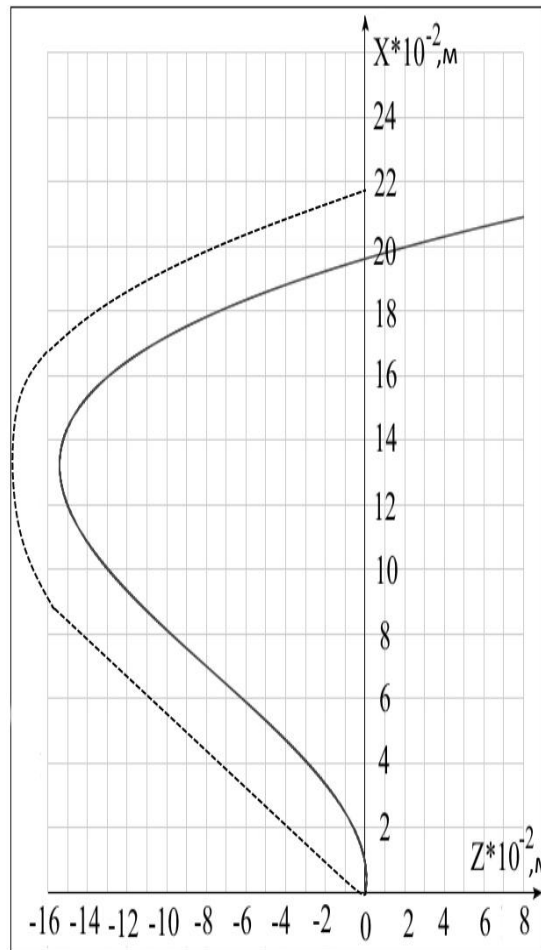


Рис. 2.5. Профіль робочої частини ножа ротора з мінімальними витратами енергії на його роботу

Система рівнянь вирішувалася за допомогою чисельного метода Ньютона. Розрахунки проводилися за такими значеннями:

$R=0,73$ м; $K=4000$; $n=199$ Н/м²; $b=-0,1$; $K_l=-4$; $f=0,5$; $l_p=0,2$ м; $b_n=0,03$ м; $\alpha_T=20^0$; $\zeta=12^0$; $Z'_o=0,9$.

Рівняння (2.37), яке описує геометричну форму робочої кромки ножа ротора, що забезпечує мінімальні витрати енергії, запишеться:

$$Z = 0,2575 X - 30,268 X^2 + 147,4458 X^3 \quad (2.52)$$

Крива лінія, побудована за рівнянням (2.52), показує форму профілю робочої частини ножа ротора з мінімальними витратами енергії на його роботу (рис. 2.5).

2.3.2. Обводова швидкість руху ножа ротора

Із літературних джерел відомо, що витрати енергії на привод ротора будуть мінімальними при найменших значеннях його радіусу та кутової швидкості обертання, які допускаються поступальною швидкістю руху машини та агротехнічними вимогами [144, 145, 146].

Дрібно-грудкова будова ґрунту у зоні загортання насіння забезпечується шляхом перерозподілу його частинок за глибиною посівного шару, що виключає необхідність інтенсивно кришити ґрунт.

Ніж ротора у момент входу у ґрунт не повинен перешкоджати руху його по сепаруючій решітці (рис. 2.6).

Для цього повинна дотримуватися умова:

$$V'_0 \geq V_{II}, \quad (2.53)$$

де V'_0 – проекція обводової швидкості руху ножа ротора на поверхню рухомої сепаруючої решітки, м/с; V_{II} – швидкість руху ґрунту щодо сепаруючої решітки, м/с.

Виходячи з умови безперервності руху ґрунту по сепаруючій решітці, можна записати:

$$V_{II} = \frac{V_M}{\cos \psi_P}. \quad (2.54)$$

При цьому: $V'_0 = V_o \cdot \cos(\alpha_{ex} + \psi_P)$,

де V_o – обвідна швидкість руху ножа ротора, м/с; ψ_P – кут нахилу сепаруючої решітки; α_{ex} – кут входу ножа ротора у ґрунт; V_M – поступальна швидкість ґрунтообробної машини.

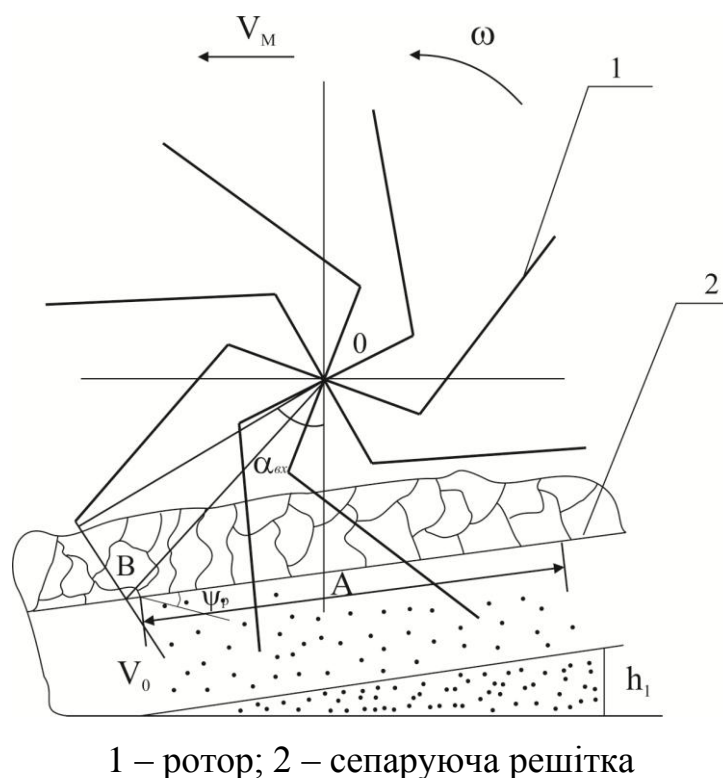


Рис. 2.6. Схема для визначення параметрів розрихлювально-сепаруючих робочих органів

2.3.3. Конструктивні параметри ротора

Кут між ножами, радіус ротора, кількість ножів, геометричні параметри ножа, відстані між ножами, є конструктивними параметрами ротора, які залежать один від одного.

Мінімальний радіус ротора R вибирається з таким розрахунком, аби його ножі проходили у проміжках сепаруючої решітки по всій його робочій довжині. При цьому вісь ротора повинна розташовуватися над поверхнею ґрунту, що знаходиться на сепаруючій решітці.

Із трикутника OAB (див. рис. 2.6) маємо:

$$OB = \sqrt{OA^2 + AB^2}, \quad (2.55)$$

де при $\psi_p = 0$:

$$AO = a + a_3 + a_4 + r_B - \frac{h_1}{2}, \quad (2.56)$$

$$OB = R_{\min}, \quad (2.57)$$

$$AB = \frac{l}{2}, \quad (2.58)$$

де a_3 – величина розпушеного ґрунту, м; a_4 – проміжок між поверхнею ґрунту та віссю вала ротора, м; r_B – радіус вала ротора, м; l – робоча довжина сепаруючої решітки, м; h_l – товщина дрібногрудкуватого шару ґрунту, необхідного для покриття насіння, м.

Отже:

$$R \geq \sqrt{\left(a + a_3 + a_4 + r_B - \frac{h_l}{2}\right)^2 + \frac{l^4}{4}}. \quad (2.59)$$

Геометричні параметри ножа ротора за відомим радіусом визначаються кутами ψ , γ та β (рис. 2.7).

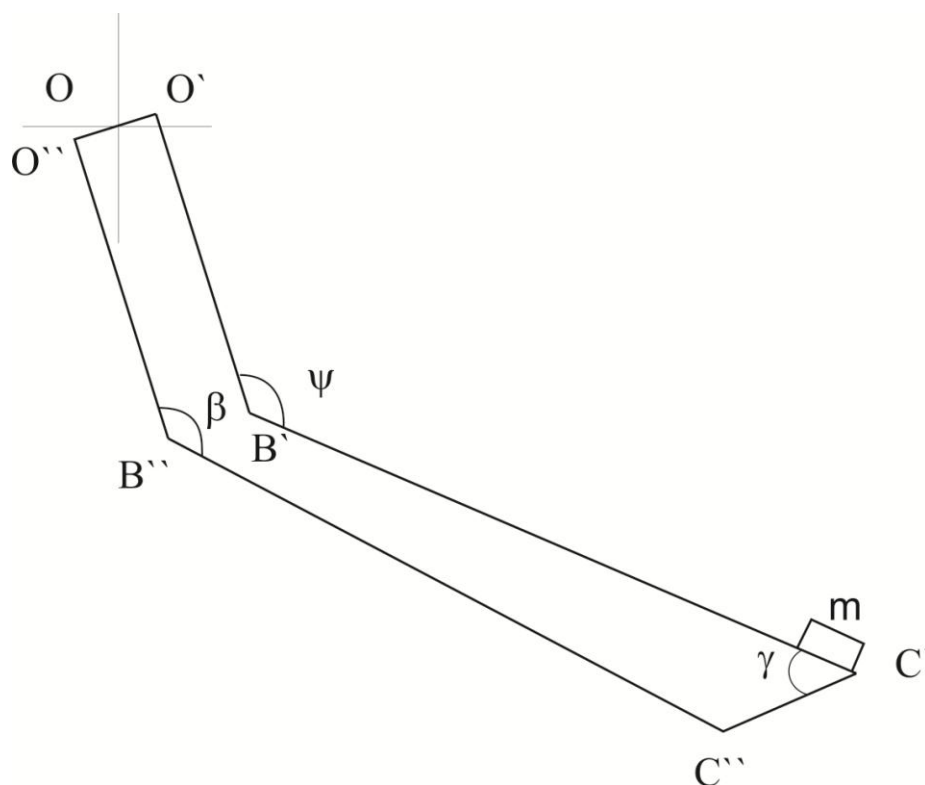


Рис. 2.7. Схема ножа ротора

До однієї з задач технологічного процесу ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої машини входить сепарація оброблюваного шару ґрунту, розшарування його за структурним складом. Внаслідок цього на поверхню ґрунту викидаються великі грудки ґрунту, післяжнивні залишки та рослини з коренем.

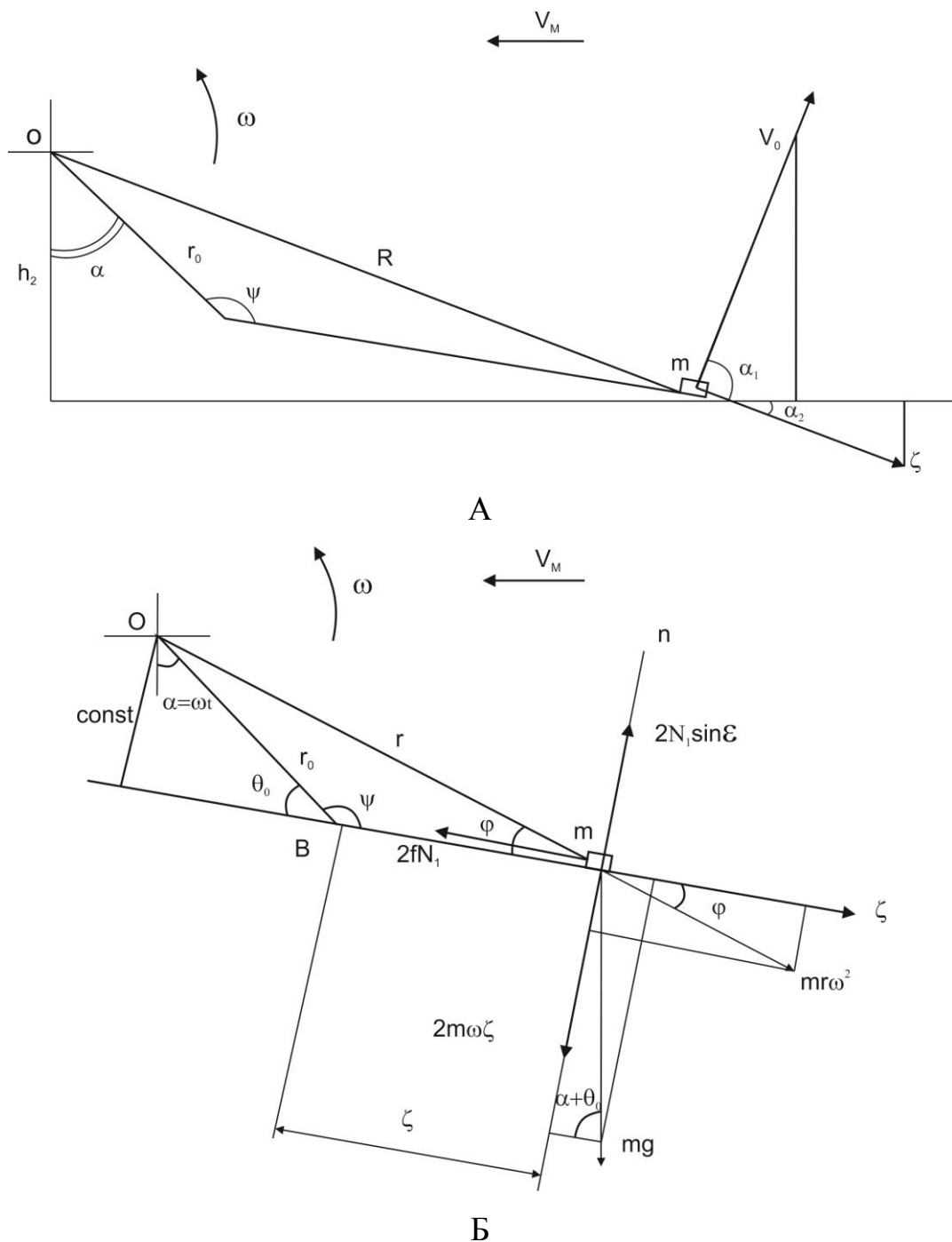


Рис. 2.8. Схема до визначення конструктивного кута ножа ротора ψ

Для досягнення останнього геометричні параметри ножа ротора при даному радіусі визначаються кутом ψ нахилу пологої дотичної до профілю ножа у найбільш не вигідному його положенні (рис. 2.8). Найменший кут нахилу дотичної до профілю ножа матимуть після виходу його з ґрунту, який переміщується по сепаруючій решітці. Для обґрунтування кута ψ розглянемо рух елемента ґрунту по лезу ножа ротора за умови, що ротор обертається у площині щодо точки «0» з

постійною кутовою швидкістю $\omega = const$. Елемент ґрунту «m» здійснює складний рух: переносний – навколо точки «0» та відносний – по лезу ножа ротора.

Задача ножа ротора полягає в тому, щоб переміщати ґрунт по сепаруючій решітці, запобігати його залипанню та виштовхувати великі частки ґрунту на поверхню. При цьому розкидання ґрунту повинно бути зведено до мінімуму. Как видно з рис. 2.8, зі зменшенням величини кута ψ виштовхуюча здатність ножа ротора підвищується. Однак при цьому зменшується відносна швидкість руху елемента ґрунту «m» по лезу ножа ротора, що може призвести до зміщення ґрунту по ходу руху машини та його сгужуванню на сепаруючій решітці.

Отже, результуюча швидкість зсуву частки ґрунту з леза ножа не повинна перевищувати поступальної швидкості руху розрихлювально-сепаруючої машини та повинна бути спрямована горизонтально в бік, протилежно цій швидкості, тобто (див. рис. 2.8, а)

$$V = V_M = \sqrt{V_0^2 + \dot{\zeta}^2}, \quad (2.60)$$

де V – результуюча швидкість зсуву елемента ґрунту «m» з ножа ротора, м/с; V_M – поступальна швидкість машини, м/с; V_0 – обвідна швидкість ножа ротора, м/с; $\dot{\zeta}$ – відносна швидкість елемента ґрунту «m» по лезу ножа ротора, м/с.

Однак, при заданих частоті обертання ротора та його радіусі, виконання цієї умови не представляється можливим. Тому для зменшення розкидання ґрунту та запобігання сгужування його на сепаруючій решітці кут ψ вибираємо таким, щоб сума проєкцій складових рівнодійної швидкості зсуву частки ґрунту з ножа ротора на горизонтальну площину дорівнювала поступальній швидкості машини та була спрямована у протилежний бік.

Підставою для виконання цих вимог є такі передумови. Як показано на рис. 2.8 а, переміщення елемента ґрунту по лезу ножа буде обумовлюватися співвідношенням між геометричними параметрами ножа (розміром початкового радіуса r_0 та кутом ножа ψ), а також кінематичними елементами обертального руху ротора (значенням кута α та кутовою швидкістю ω).

Під час зсуву, для виконання зазначених умов, необхідно, щоб (див. рис. 2.8, а):

$$V_M = V_0 \cdot \cos \alpha_1 + \dot{\zeta} \cos \alpha_2. \quad (2.61)$$

Звідси відносна швидкості руху частинки по лезу ножа $\dot{\zeta}$ визначається за формулою:

$$\dot{\zeta} = \frac{V_M - V_0 \cdot \cos \alpha_1}{\cos \alpha_2}. \quad (2.62)$$

Як видно з рис. 2.8, а):

$$\alpha_1 = \arccos \frac{h_2}{R}, \quad (2.63)$$

$$\alpha_2 = \frac{\pi}{2} - \arccos \frac{h_2}{R} - \arcsin \frac{r_0}{R} \sin(\pi - \psi). \quad (2.64)$$

Тоді:

$$\dot{\zeta} = \frac{V_M - V_0 \frac{h_2}{R}}{\sin \left\{ \arccos \frac{h_2}{R} - \arcsin \left[\frac{r_0}{R} \sin(\pi - \psi) \right] \right\}}, \quad (2.65)$$

де h_2 – відстань від осі обертання ротора до поверхні ґрунту, що знаходиться на сепаруючій решітці, r_0 – початковий радіус ножа, ψ – кут ножа.

Для визначення значення $\dot{\zeta}$ складаємо диференціальне рівняння щодо руху елемента ґрунту «т» по лезу ножа, скориставшись для цього методом, викладеним у теорії руху частки ґрунту по шорстким поверхням П.М. Василенко [147]. Але при цьому розглянемо рух елемента ґрунту не по поверхні, а по лезу ножа.

Результуюча реакцій поверхонь крайки ножа визначиться з виразу

$$\bar{N} = \bar{N}_1 + \bar{N}_2, \quad (2.66)$$

де \bar{N}_1 та \bar{N}_2 – реакції поверхонь крайки ножа ротора, Н.

При цьому, вважаємо, що $N_1 = N_2$.

Результуюча цих сил дорівнює:

$$N = 2N_1 \cdot \sin \varepsilon, \quad (2.67)$$

де ε – кут утворений ножем по мірі занурення у ґрунт

Сили тертя елемента ґрунту « m » о метал леза ножа ротора спрямовані уздовж двох крайок ножа у сторону, протилежну напрямку відносної швидкості ζ .

Результуюча цих сил дорівнює:

$$F_{TP} = 2tg\varphi \cdot N_1, \quad (2.68)$$

де φ – кут нахилу рівнодійної сил опору.

Будемо вважати, що прямолінійний ніж ротора обертається у площині щодо точки O з постійною кутовою швидкістю ω . Елемент ґрунту з масою m здійснює складний рух: переносний – навколо точки O та відносний – по лезу ножа ротора. Крім того, на елемент ґрунту « m » діє сила інерції $mr\omega^2$, сила тяжіння mg (його вага), Коріолісова сила $2m\omega\zeta$, нормальна сила N та сила тертя Nf [147].

Рух частинки буде забезпечено при виконанні умови:

$$mr\omega^2 \cos\theta + mg\cos(\alpha + \theta_0) > Nf. \quad (2.69)$$

Проектуючи на нормаль до ножа всі діючі на частку сили, отримаємо значення нормальної сили:

$$N = 2m\omega\zeta + mg \sin(\alpha + \theta_0) + mr\omega^2 \sin\theta. \quad (2.70)$$

Зв'язок відстані ζ з кутами α та θ_0 знаходиться за допомогою відомих формул рішення косокутних та прямокутних трикутників (див. рис. 2.8):

$$h = \frac{r_0 \sin \theta_0}{\sin(\alpha + \theta_0)} + \left[\frac{r_0 \sin \theta_0}{\sin(\alpha + \theta_0)} + \zeta \right] \cos(\alpha + \theta_0), \quad (2.71)$$

де h – відстань від осі обертання ротора до поверхні ґрунту, що знаходиться на сепаруючій решітці.

Після перетворення рівняння одержимо:

$$\zeta = \frac{h}{\cos(\alpha + \theta_0)} - \frac{r_0 \sin \theta_0}{\sin(\alpha + \theta_0) \cos(\alpha + \theta_0)} - \frac{r_0 \sin \alpha}{\sin(\alpha + \theta_0)}. \quad (2.72)$$

Рівняння руху у проекціях на прийнятні осі координат ζ та n запишуться:

$$m\ddot{\zeta} = mg \cdot \cos(\alpha + \theta_0) + mr\omega^2 \cdot \cos\theta - 2tg\varphi \cdot N_1, \quad (2.73)$$

$$0 = 2N_1 \cdot \sin\varepsilon - mg \cdot \sin(\alpha + \theta_0) - mr\omega^2 \cdot \sin\theta - 2m\omega\dot{\zeta}. \quad (2.74)$$

З рисунку 2.8 видно, що

$$h_2 = r_0 \cdot \sin\theta_0 = r \cdot \sin\theta = const, \quad (2.75)$$

$$r_0 \cdot \cos\theta_0 + \zeta = r \cdot \cos\theta, \quad (2.76)$$

де ζ – відстань елемента «m» ґрунту від точки В.

m – маса елемента ґрунту;

$\ddot{\zeta}$ – прискорення руху елемента ґрунту по лезу ножа ротора;

ω – кутова швидкість обертання ножа ротора;

$\dot{\zeta}$ – відносна швидкість руху елемента ґрунту по лезу ножа ротора;

r – радіус обертання елемента ґрунту;

φ – кут між радіусом обертання елемента ґрунту та лезом ножа ротора;

f – коефіцієнт тертя;

α – кут повороту ножа ротора;

θ_0 – кут між прямою, що проходить по лезу ножа та його плечем;

N_1 – сила нормальної дії ножа ротора на елемент ґрунту;

r_0 – початковий радіус ножа;

g – прискорення вільного падіння.

Виключивши з рівнянь (2.73) нормальну реакцію N_1 та з урахуванням рівнянь (2.75), отримаємо

$$m\ddot{\zeta} = mg \cdot \cos(\alpha + \theta_0) + m\omega^2 r_0 \cdot \cos\theta + m\zeta\omega^2 - fm \frac{g}{\sin\varepsilon} \cdot \sin(\alpha + \theta_0) - fm \frac{r_0 \cdot \sin\theta_0}{\sin\varepsilon} \omega^2 - 2m \cdot tg\varphi \cdot \omega \frac{\dot{\zeta}}{\sin\varepsilon}, \quad (2.77)$$

або:

$$\ddot{\zeta} + 2 \frac{tg\varphi}{\sin\varepsilon} \omega \dot{\zeta} - \omega^2 \zeta = A \cdot \sin\alpha + B \cdot \cos\alpha + r_0 \omega^2 D, \quad (2.78)$$

де

$$A = -g \left(\sin \theta_0 - \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sin \varepsilon} \cdot \cos \theta_0 \right); \quad (2.79)$$

$$B = g \left(\cos \theta_0 - \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sin \varepsilon} \cdot \sin \theta_0 \right); \quad (2.80)$$

$$D = \cos \theta_0 - \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sin \varepsilon} \cdot \sin \theta_0; \quad (2.81)$$

$$\alpha = \omega t. \quad (2.82)$$

Розв'язавши рівняння (2.78) та визначивши довільні постійні за умови $\zeta = 0$ та $\dot{\zeta} = 0$ при $t = 0$, отримуємо [147]:

$$\zeta = ae^{\lambda_1 t} + be^{\lambda_2 t} - c \sin \omega t - d \cos \omega t - e, \quad (2.83)$$

де

$$a = \frac{\left(\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sin \varepsilon} \cdot A - B \right) \lambda_2 - \left(A - \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sin \varepsilon} B \right) \omega}{2\omega^2 \left(1 + \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi}{\sin^2 \varepsilon} \right) (\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{r_0 \lambda_2 D}{\lambda_2 - \lambda_1}; \quad (2.84)$$

$$b = \frac{\left(A - \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sin \varepsilon} B \right) \omega - \left(\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sin \varepsilon} \cdot A - B \right) \lambda_1}{2\omega^2 \left(1 + \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi}{\sin^2 \varepsilon} \right) (\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{r_0 \lambda_1 D}{\lambda_2 - \lambda_1}; \quad (2.85)$$

$$c = \frac{A - \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sin \varepsilon} B}{2\omega^2 \left(1 + \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi}{\sin^2 \varepsilon} \right)}; \quad (2.86)$$

$$d = \frac{\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sin \varepsilon} \cdot A - B}{2\omega^2 \left(1 + \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi}{\sin^2 \varepsilon} \right)}; \quad (2.87)$$

$$e = r_0 D; \quad (2.88)$$

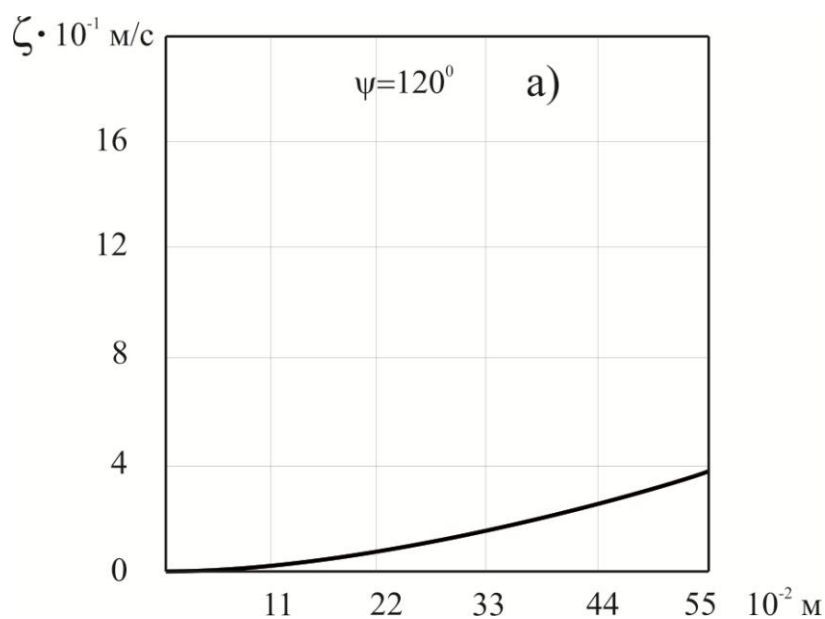
$$\lambda_1 = \omega \left(-\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sin \varepsilon} + \sqrt{1 + \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi}{\sin^2 \varepsilon}} \right); \quad (2.89)$$

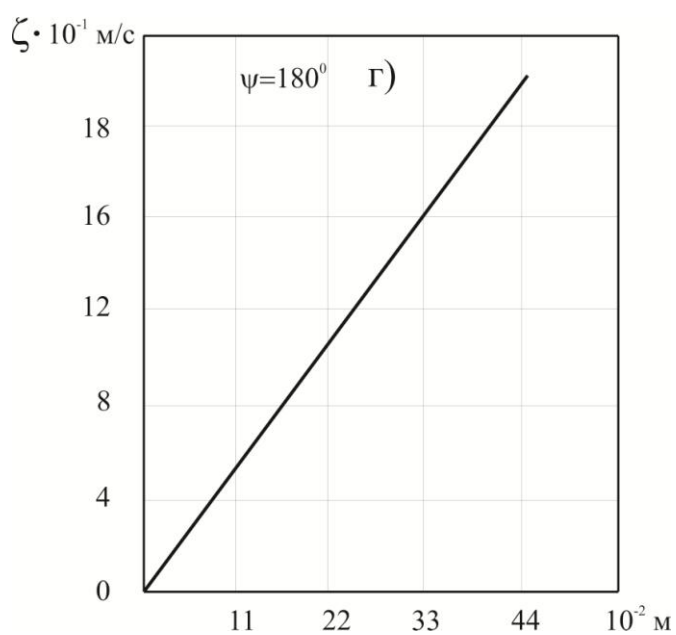
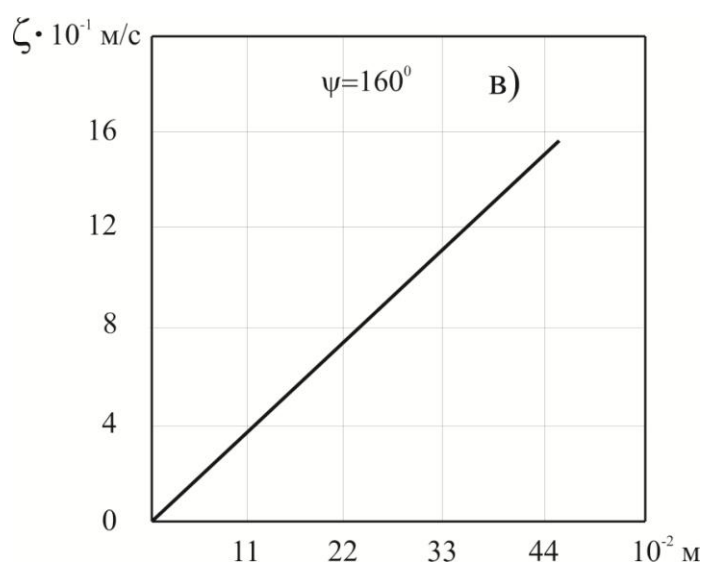
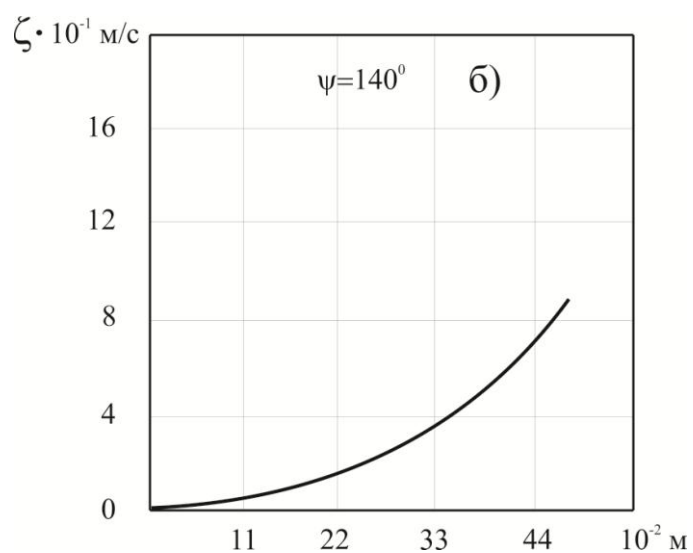
$$\lambda_2 = \omega \left(-\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sin \varepsilon} - \sqrt{1 + \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi}{\sin^2 \varepsilon}} \right). \quad (2.90)$$

Для визначення відносної швидкості руху елемента ґрунту «m» по лезу ножа, диференціюючи рівняння (2.83), отримаємо

$$\dot{\zeta} = a\lambda_1 e^{\lambda_1 t} + b\lambda_2 e^{\lambda_2 t} - c\omega \cdot \cos \omega t + d\omega \cdot \sin \omega t. \quad (2.91)$$

Для визначення $\dot{\zeta}$ на кінці ножа ротора необхідно побудувати графіки відносних швидкостей руху ґрунту по лезу ножа ротора. Такі графіки (рис. 2.9) побудовані на підставі рівнянь (2.83) та (2.91) при значеннях $\varphi=26^{\circ}30'$, $\varepsilon=30^{\circ}$ [53], $\omega=18,84 \text{ с}^{-1}$, $R=0,73 \text{ м}$. Величину t знаходимо з урахуванням конструктивних та кінематичних параметрів ротора. Значення r_0 приймали рівними 0,28; 0,41; 0,53 та 0,66 м.

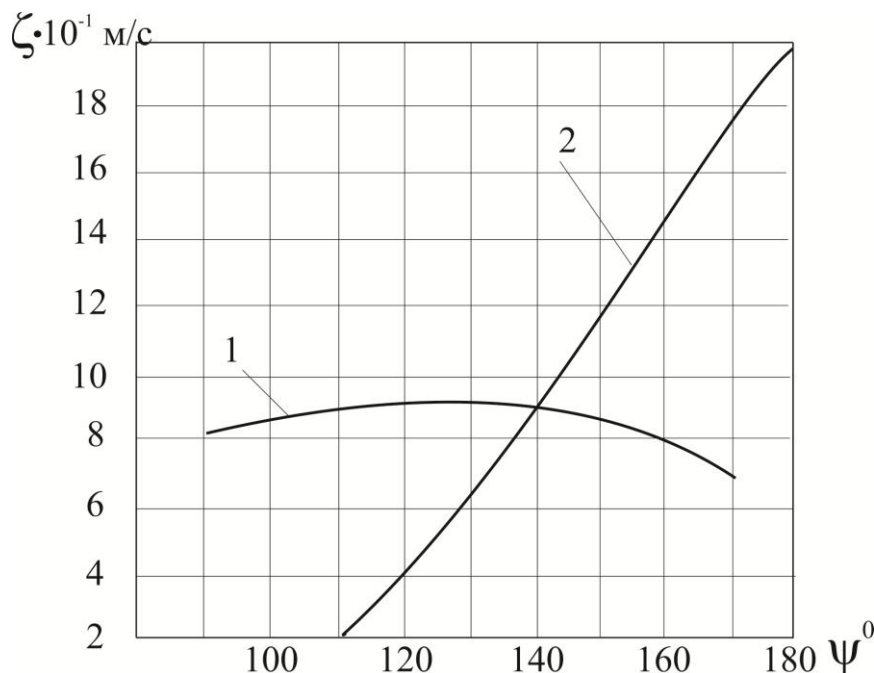




а) – $\psi=120^{\circ}$; б) – $\psi=140^{\circ}$; в) – $\psi=160^{\circ}$; г) – $\psi=180^{\circ}$

Рис. 2.9. Графіки відносних швидкостей руху ґрунту по лезу ножа ротора

З рівняння (2.65) та з отриманих графіків швидкостей побудовані залежності відносної швидкості руху елемента ґрунту при сходженні з леза ножа ротора в залежності від значення кута ножа ротора ψ (рис. 2.10).



1 – необхідна відносна швидкість руху;

2 – відносна швидкість руху ґрунту, визначена з графіків швидкостей

Рис. 2.10. Залежність відносної швидкості руху елемента ґрунту на кінці ножа ротора від величини кута ψ

Із рис. 2.10 видно, що при заданих параметрах ножа ротора та частоті його обертання при $\psi=142^\circ$ розкидання ґрунту та його сгружування на сепаруючій решітці відсутні. Отже, оптимальним кутом нахилу ножа ротора можна вважати кут ψ , близький до 142° , відповідно виходячи з рис. 2.8 значення кута θ_0 між прямою, що проходить по лезу ножа та його плечем дорівнюватиме 38° .

Тоді рівняння кривої профілю ножа ротора за умови зменшення розкидання ґрунту та запобігання сгружування його на сепаруючій решітці описується наступним чином [134]:

$$z = \begin{cases} Z = 0,2575 X - 30,268 X^2 + 147,4458 X^3 & \text{при } 0 \leq x \leq 0,01 \\ x \operatorname{tg} 38^\circ + c, & \text{при } x > 0,01. \end{cases} \quad (2.92)$$

Профіль ножа ротора, що забезпечує його обертання з мінімальними витратами енергії за умови зменшення розкидання ґрунту та запобігання сгужування його на сепаруючій решітці показано на рис. 2.11.

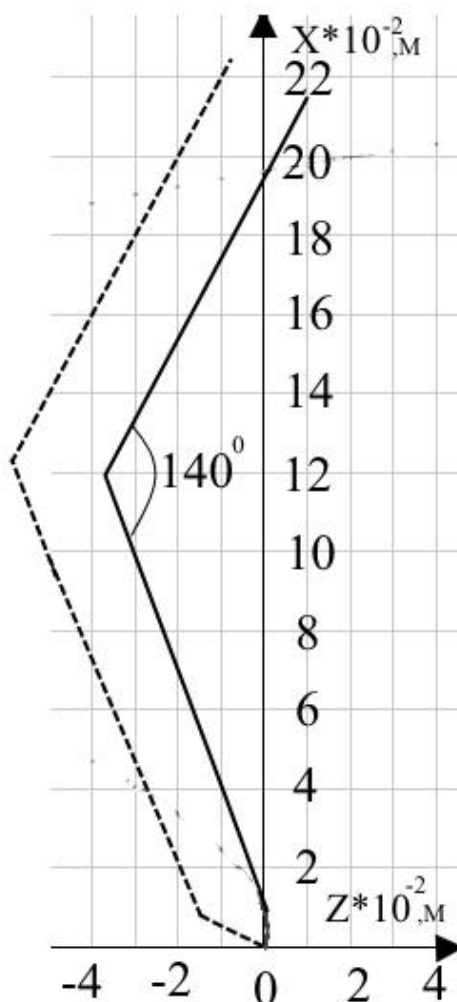


Рис. 2.11. Профіль ножа ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою, що забезпечує його обертання з мінімальними витратами енергії за умови зменшення розкидання ґрунту та запобігання сгужування його на сепаруючій решітці

Кут γ вибирається з умови перешкоди заклинювання ґрунту під час опускання кромки ножа ротора (рис. 2.12) у зазори сепаруючої решітки. Тобто:

$$N_1 \cdot \sin \gamma' \geq F_1 + F_2, \quad (2.93)$$

$$F_1 = N_1 \cdot \cos \gamma' \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.94)$$

$$F_2 = N_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.95)$$

Тоді:

$$\gamma \geq \arctg 2tg\varphi. \quad (2.96)$$

При обертанні ротора положення кромки $C'C''$ щодо сепаруючої решітки змінюється, а кут γ' має задовольняти нерівності (2.96).

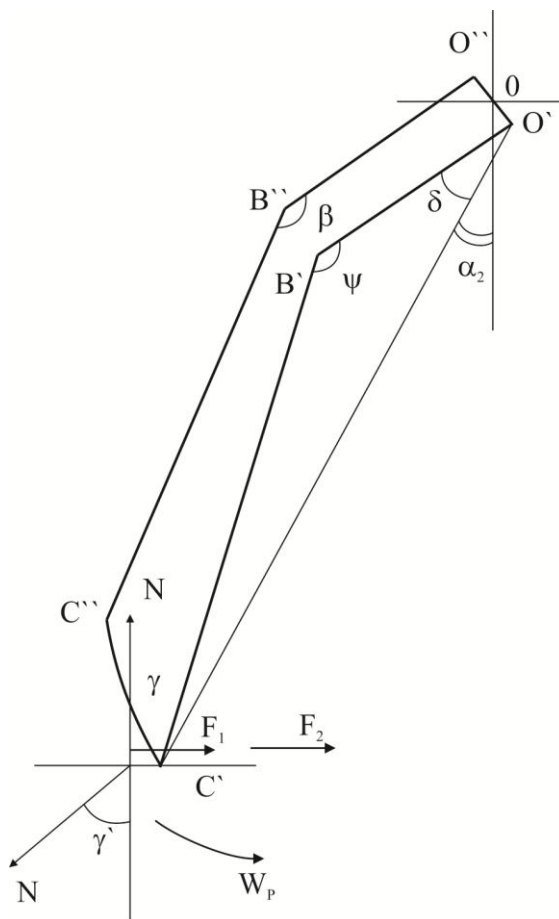


Рис. 2.12. Схема до визначення кута γ' конструктивних параметрів ножа ротора

Для отримання рівняння кривої кромки $C'C''$ через точку C' проводимо Декартові вісі координат x та y (рис. 2.13), котрі переміщалися разом з ножем ротора. Точку перетину кромки $C'C''$ з сепаруючою решіткою K'' з'єднуємо прямою з носком ножа C' .

Тоді з $\Delta C'KK''$:

$$y = xtg\varphi. \quad (2.97)$$

З рис. 2.12 маємо:

$$\gamma = \psi + \delta + \alpha_2 - \alpha - \gamma' - \frac{\pi}{2}, \quad (2.98)$$

$$y = x \operatorname{tg} \left(\psi + \delta + \alpha_2 - \alpha - \gamma' - \frac{\pi}{2} \right), \quad (2.99)$$

де α – кут повороту ножа ротора щодо початку його входження у зазори сепаруючої решітки, у град.

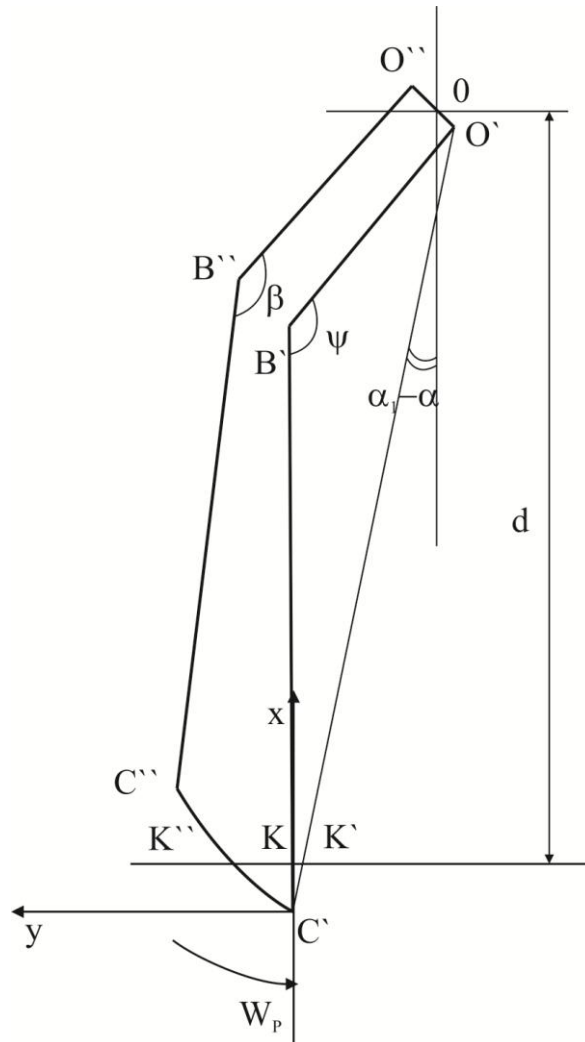


Рис. 2.13. Схема до визначення рівняння кривої кромки $C'C''$ через точку C'

Величину x знаходимо через кут повороту ножа ротора α з $\Delta C'KK''$ (рис. 2.13), використовуючи теорему синусів:

$$x = - \frac{\left[R - \frac{d'}{\cos(\alpha_2 - \alpha_1)} \right] \cdot \cos(\alpha_2 - \alpha_1)}{\cos(\psi + \delta + \alpha_2 - \alpha)}, \quad (2.100)$$

Тоді:

$$y = - \frac{\left[R - \frac{d'}{\cos(\alpha_2 - \alpha_1)} \right] \cdot \cos(\alpha_2 - \alpha_1)}{\cos(\psi + \delta + \alpha_2 - \alpha)} \cdot \operatorname{tg} \left(\psi + \delta + \alpha_2 - \alpha - \gamma' - \frac{\pi}{2} \right), \quad (2.101)$$

де d' – відстань від осі ротора до сепаруючої решітки, м. Крива кромки $C'C''$ будується за рівнянням (2.100) та (2.101) (рис. 2.14).

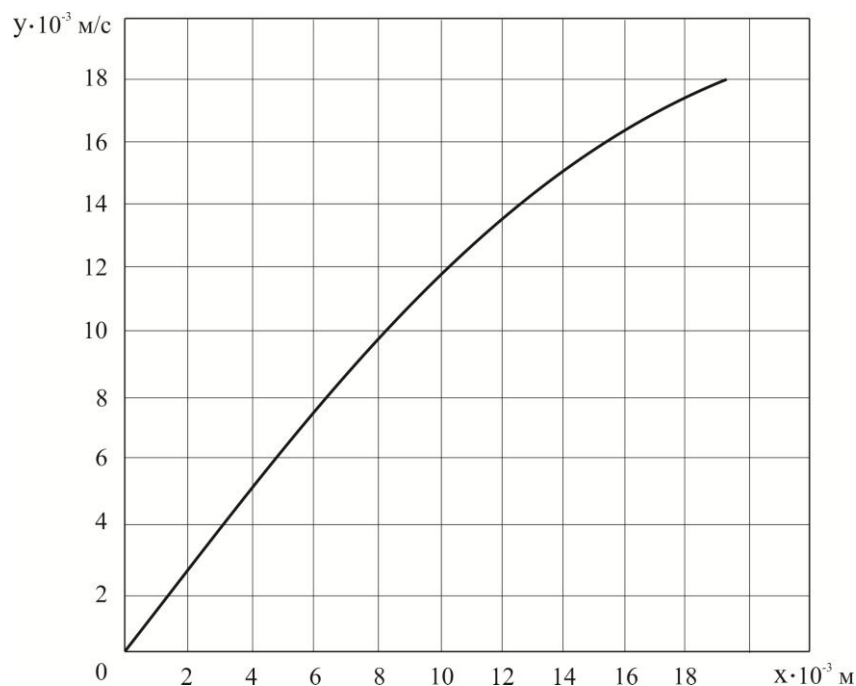


Рис. 2.14. Крива кромки ножа ротора з умови перешкоди заклинювання ґрунту під час опускання його у зазори сепаруючої решітки

Кут β обирається таким, щоб у самому нижньому положенні кромки $B''C''$ частинки ґрунту не заклинювалися між кромкою ножа та сепаруючою решіткою (рис. 2.15).

2.16). Розташування ножів на валу ротора впливає на зміну приводного моменту та рівномірність ходу машини. Тому розміщувати ножі потрібно по спіралі з постійним кутовим кроком симетрично до поздовжньої осі машини для виключення крутних моментів у поперечній площині, здатних порушити стійкість ходу машини у напрямку руху та за глибиною.

У нашому випадку ножі розміщені на валу по гвинтовій лінії з числом заходів, що дорівнює кількості ножів на валу, причому початок першої гвинтової лінії повинен збігатися у протилежній частині вала з кінцем другої гвинтової лінії і т.д. Крім того ножі необхідно розташовувати рівномірно по всьому колу вала з кутовою відстанню між суміжними ножами:

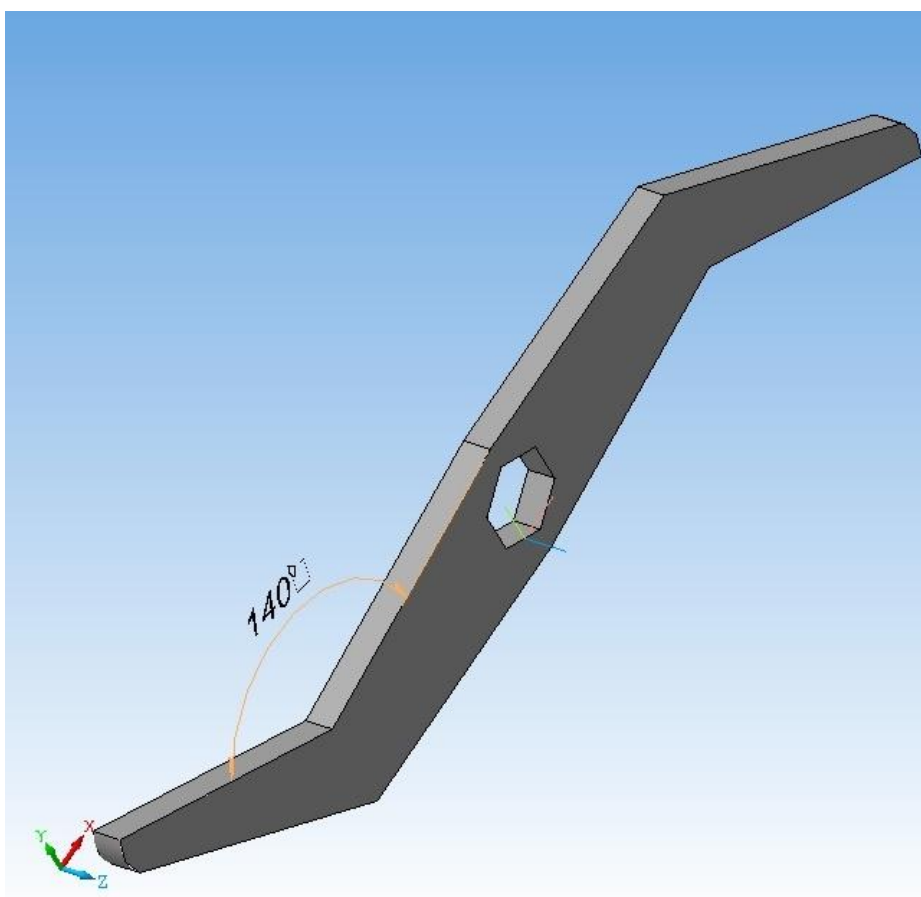


Рис. 2.16. Твердотільна модель ножа ротора с кутом нахилу $\psi=140^0$ за якого розкидання ґрунту та його сгружування на сепаруючій решітці відсутні, витрати енергії на роботу мінімальні, за умови перешкоди заклинювання ґрунту під час опускання його у зазори сепаруючої решітки

$$\alpha_z = \frac{360^\circ}{2n}, \quad (2.107)$$

де n – число ножів.

На рис. 2.17 показано приклад розміщення 18 ножів жорстко закріплених по парам симетрично до поздовжньої осі.

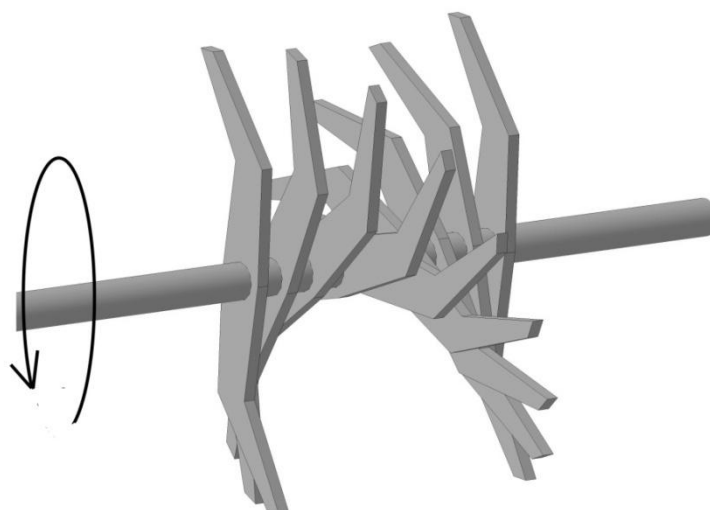


Рис. 2.17. Ротор ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої машини з 18 ножами закріплених по парам симетрично до поздовжньої осі

У табл. 2.1 показано кут зсуву між суміжними ножами α_z в залежності від кількості встановлених на валу ножів та їх послідовність вступу до роботи.

Таблиця 2.1. Послідовність вступу до роботи ножів та кут зсуву між ними

Число ножів ротора $2n$	Кут зсуву між суміжними ножами α_z	Послідовність вступу до роботи ножів
5	$35^\circ 0'$	1 – 4 – 2 – 5 – 3
7	$25^\circ 42'$	1 – 5 – 2 – 6 – 3 – 7 – 4
8	$33^\circ 45'$	1 – 4 – 7 – 2 – 5 – 8 – 3 – 6
9	$20^\circ 0'$	1 – 6 – 2 – 7 – 3 – 8 – 4 – 9 – 5

Наведений вище аналіз показує, що певній кількості ножів відповідає цілком певний кут зсуву та послідовність вступу до роботи.

Очевидно що, зменшення або додавання ножів без зміни розстановки може привести до погіршення стійкості руху машини та збільшення нерівномірності крутильного моменту.

2.3.4. Питома пропускна здатність сепаруючої решітки

Робоча довжина сепаруючої решітки обирається з умови отримання гарантованої товщини дрібногрудкуватого шару ґрунту, що покриває насіння. Товщина шару ґрунту, просіяного через отвори сепаруючої решітки, визначається питомою пропускною здатністю останньої та поступальною швидкістю руху комбінованої машини. Питома пропускна здатність – здатність сепаруючої решітки пропускати за одну секунду через одиницю площі зазорів певну вагу ґрунту.

Вага ґрунту, що проходить через зазори сепаруючої решітки за одну секунду, можна визначити з виразу:

$$Q' = \frac{1}{2t} l \cos \psi_p \cdot h' \cdot b \cdot \gamma, \quad (2.108)$$

де t – час проходження машиною шляху $l \cos \psi_p$, с; h' – товщина шару ґрунту, просіяного через сепаруючу решітку, м; b – ширина дрібногрудкуватого шару ґрунту, що покриває насіння, м; γ – об'ємна вага ґрунту, кг/м³.

Час проходження машиною шляху $l \cos \psi_p$ визначається з виразу:

$$t = \frac{l \cos \psi_p}{V_M}, \quad (2.109)$$

де V_M – поступальна швидкість руху машини, м/с.

Секундна пропускна здатність сепаруючої решітки знаходиться за її питомою пропускною здатністю за формулою:

$$Q' = Q \cdot l \cdot \cos \psi_p \cdot b' (z + 1), \quad (2.110)$$

де Q – питома пропускна здатність сепаруючої решітки, кг/м³с; b' – відстань між прутами сепаруючої решітки, м; z – кількість прутів у сепаруючій решітці, шт.

2.3.5. Кут нахилу сепаруючої решітки та відстань між її прутами

З рівняння (2.54) видно, що при $\psi_p = 0$, обвідну швидкість руху ножа ротора, необхідну для переміщення ґрунту по сепаруючій решітці, можна знизити до мінімуму. Отже, для зниження частоти обертання ротора сепаруючу решітку потрібно розташовувати горизонтально.

Відстань між прутами сепаруючої решітки визначається агротехнічними вимогами, що пред'являються до структури ґрунту у зоні загортання насіння. Для виключення з цієї зони частинок розміром понад 10 мм відстань між прутами сепаруючої решітки має дорівнювати або менше зазначеного розміру.

2.4. Висновки по розділу 2

1. На підставі обґрунтування технологічного процесу роботи технічного засобу для механічного обробітку ґрунту визначено, що загнуті кінці крил плоскоріжучої лапи розрихлювально-сепаруючого пристрою не дають сходити ґрунту у боки.

2. Теоретично обґрунтовано, що застосування наральника мінімального опору встановленого на підрізаюче-підйомні робочі органи розрихлювально-сепаруючої машини для забезпечення необхідної заглибленості, а також ножа ротора який забезпечує мінімальні витрати енергії на його роботу, дозволить упорядкувати послідовність виконання взаємопов'язаних операцій по сепарації оброблюваного шару ґрунту та розшарування його за структурним складом з мінімальними витратами енергії.

3. Отримано залежності які дозволяють обґрунтувати параметри підрезаюче-підйомних робочих органів, що забезпечують мінімальні витрати енергії на підйом та подачу ґрунту до розрихлювально-сепаруючого пристрою. Доведено взаємозв'язок між тиском ґрунту на робочу поверхню наральника, силою тертя між наральником та ґрунтом, довжиною виділеної ділянки на наральнику, кутом нахилу дотичної до профілю наральника, що дозволило визначити форму наральника мінімального тягового опору. Обґрунтовано профіль наральника мінімальної енергоємності з використанням методу прямого варіаційного

обчислення, який описується кривою, що проходить через задані точки, з заданим початковим кутом та кінцевим кутом у точці прилягання його до стійки. Визначено, що крива лінія, побудована за рівнянням (2.25) показує раціональний профіль наральника мінімального тягового опору.

4. Розглянуто роботу ножа ротора розрихлювально-сепаруючої машини у положеннях щодо ґрунту та сепаруючої решітки. Три фази роботи ножа ротора: від моменту входження ножа у ґрунт до сепаруючої решітки, моменту руху ножа над сепаруючою решіткою, від моменту руху ножа над сепаруючою решіткою до виходу ножа із ґрунту. Визначено, що крива лінія, побудована за рівнянням (2.52) показує раціональний профіль робочої частини ножа ротора з мінімальними витратами енергії на його роботу.

5. Отримано залежність відносної швидкості руху елемента ґрунту на кінці ножа ротора від кута його нахилу, що дозволило обґрунтувати конструкцію ножа яка забезпечує обертання ротора з мінімальними витратами енергії за умови зменшення розкидання ґрунту та запобігання сгужування його на сепаруючій решітці. Визначено, що при заданих параметрах ножа ротора та частоті його обертання оптимальним можна вважати кут ψ між найбільш пологою дотичною до профілю ножа та прямої, що проходить по неробочій його частини, близький до 142° , при якому розкидання ґрунту та його сгужування на сепаруючій решітці відсутні.

6. Визначена з допомогою програми КОМПАС-3D V14 конструкція ножа ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою ґрунообробної машини забезпечить його обертання з мінімальними витратами енергії на роботу за умови зменшення розкидання ґрунту, запобігання сгужування його на сепаруючій решітці, та перешкоди заклинювання ґрунту під час опускання ножа у зазори сепаруючої решітки.

7. Проведений аналіз розташування ножів на валу ротора розрихлювально-сепаруючої машини показує, що певній кількості ножів відповідає цілком певний кут зсуву та послідовність вступу до роботи, зменшення або додавання ножів без

зміни розстановки може призвести до погіршення стійкості руху машини та збільшення нерівномірності крутільного моменту.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

3.1. Програма проведення експериментальних досліджень

Програмою експериментальних досліджень передбачалося:

1. Визначення тягового опору наральника теоретично обґрунтованої форми.
2. Проведення експерименту по обґрунтуванню параметрів крила плоскоріжучої лапи підрізаюче-підйомного робочого органу.
3. Визначення впливу параметрів ґрунтообробної установки на показники якості її роботи у польових умовах:
 - вплив частоти обертання ротора;
 - вплив швидкості руху;
 - вплив глибини обробітку ґрунту.
4. Проведення випробувань експериментальної установки у польових умовах.

3.2. Достовірність результатів досліджень, значимість і сила впливу факторів

Перевірка достовірності отриманих результатів проводилася із застосуванням методів дисперсійного аналізу і математичної статистики. Достовірність впливу чинників визначалася за допомогою критерію Фішера [155, 156]:

$$F_p = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_t^2}, \quad (3.1)$$

де F_p – розрахункове значення критерію Фішера;

σ_x^2 – факторіальна дисперсія;

σ_t^2 – випадкова дисперсія.

Достовірність визначалася з умови $F_p > F_m$, де F_m – табличне значення критерію Фішера, яке вибирається в залежності від заданого рівня значимості та числа ступенів свободи. Оцінку суттєвості вибірових середніх проводили за критерієм Стьюдента (t – критерію) [155, 156]:

$$t_p = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2}{\sqrt{S_{y1}^2 + S_{y2}^2}}, \quad (3.2)$$

де t_p – розрахункове значення t- критерію;

\bar{y}_1, \bar{y}_2 – середнє за вибірками;

S_{y1}^2, S_{y2}^2 – помилки порівнюваних середніх.

В разі $t_p \geq t_m$ нульова гіпотеза про відсутність істотних відмінностей між середніми спростовується, а якщо $t_p \leq t_m$, відмінності знаходяться в межах випадкових коливань для прийнятого рівня значимості.

Значимість коефіцієнтів рівняння регресії визначали за критерієм Стюдента:

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n (I_{ij} \bar{y}_i)}{S_R \sqrt{\sum \frac{1}{n_i}}}, \quad (3.3)$$

де I_{ij} – ваговий коефіцієнт рівнів факторів j-того показника впливу у i-тому варіанті експерименту;

\bar{y}_i – середнє значення результуючого показника в i-тому варіанті експерименту;

S_R – середньоквадратична помилка експерименту, визначається за формулою:

$$S_R = \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n_i - 1} - \frac{(\sum y_i)^2}{n_i(n_i - 1)}}, \quad (3.4)$$

де n_i – число спостережень в i-тому варіанті експерименту;

Внесок мінливості чинників від загальної мінливості за варіантами визначали за індексом детермінації [155, 156]:

$$\eta^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (\bar{y}_i + y_{cp})^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (y_{ij} - y_{cp})^2}, \quad (3.5)$$

де \bar{y}_i – середнє значення величини по повторностям i-того варіанту;

y_{cp} – загальне середнє значення досліджуваної величини за всіма даними експерименту:

$$y_{cp} = \frac{\sum_i \sum_j y_{ij}}{nk}, \quad (3.6)$$

де y_{ij} – значення досліджуваної величини для i -того варіанту та j -тої повторності;

n – число варіантів експерименту;

k – кількість повторностей у варіанті.

Індекс детермінації, помножений на 100%, показує внесок мінливості досліджуваної величини, пов'язаний з варіантами щодо повної мінливості цієї величини до експерименту в процентах.

3.3. Опис стендів та експериментальної установки

Експериментальні дослідження проводилися у лабораторних та польових умовах. Для проведення лабораторних досліджень використовувалася установка, яка змонтована на ґрунтовому каналі (рис. 3.1).

Ґрунтовий канал являє собою прямокутне наземне спорудження розміром по периметру 2,5×28,0 м. Товщина засипаного ґрунту у каналі становить 0,5 м. Над ґрунтовим каналом прокладено дві рейки для переміщення лабораторного візка, який має чотири опорних колеса, гідравлічне тракторне навішення, що й дає можливість приєднувати робочі органи машини як у причіпному, так й навісному варіантах. Рух візка здійснюється реверсивно-тросовим приводом, який включає у себе реверсний двигун змінного струму, коробку передач автомобіля ЗІЛ-130, редуктор-барабан, напрямляючі ролики та трос. За допомогою коробки передач можна регулювати швидкість руху візка у межах 0,6–2,5 м/с.



Рис 3.1. Загальний вигляд ґрунтового каналу та експериментальної лабораторної установки

Енергетичні показники функціонування робочих органів ґрунтообробної установки оцінювали їх тяговим опором. Дослідження проводилися у лабораторних умовах.

На гідро причіпному механізмі візка ґрунтового каналу навішена зварна рамка з напрямляючими роликами. По напрямляючих рамки переміщається малий візок, на днищі якого встановлений утримувач. В утримувачі закріплений робочий орган ґрунтообробної машини. До візка рамки приєднаний спеціально підготовлений датчик, за допомогою якого визначався тяговий опір ґрунтообробного органу при його переміщенні у ґрунті.

Глибина ходу робочого органу регулюється шляхом переміщення стійки в утримувачі малого візка (рис. 3.2).

Лабораторна установка складається з пересувного візка, на нерухомій рамі якої через пружину закріплена рухома рамка. З рухомою рамкою жорстко з'єднаний гряділь з встановленим на ньому робочим органом. Під час руху пересувного візка він приймає силу опору від дії на нього ґрунту. Сила опору спочатку діє на робочий орган та далі на рухому рамку, в результаті чого відбувається її лінійне переміщення у горизонтальній площині. Та чим більша

сила опору від дії ґрунту, тим більше буде лінійне переміщення рамки. Вимірюється лінійне переміщення за допомогою спеціально підготовленого датчика (комп'ютерна миша) (рис. 3.3). Результати вимірювань автоматично фіксуються у пам'яті комп'ютера у вигляді безрозмірних цифрових відхилень.



Рис. 3.2. Кріплення стійки робочого органу в утримувачі малого візка

Для знаходження зусиль через безрозмірні цифрові відхилення проводять тарування установки. Визначається залежність безрозмірних цифрових відхилень від зусилля, прикладеного до рухливої рамки (рис. 3.4) наступним чином:

- включається датчик та запускається комп'ютерна програма, яка фіксує відхилення рухливої рамки;
- підвішуються по черзі вантажі через роликово-тросовий механізм до рухливої рамки.

Вантажі беруть масою 2, 6, 8, 12 та 14 кг. Від дії вантажу виникне сила натягу, яка змістить рухливу рамку від свого початкового положення. Це і буде її відхилення, яке зафіксується через датчик пам'яттю комп'ютера у вигляді безрозмірних цифрових відхилень. Таким чином, ми отримаємо п'ять відхилень для п'яти вантажів. На підставі отриманих результатів можна побудувати

необхідний нам графік залежності зусиль від безрозмірних цифрових відхилень. Надалі із побудованого графіка у автоматичному режимі за допомогою комп'ютера можна знайти необхідну силу тяги, а це і є тяговий опір, в залежності від будь-якого відомого відхилення рухомої рамки.



Рис. 3.3. Рухомий візок зі спеціально підготовленим датчиком (комп'ютерна миша)

Для проведення експериментів у польових умовах на базі роторного культиватора КПр-3,2 було виготовлено установку, яка проводить розшарування ґрунту шляхом сепарації грудок за глибиною обробки [148, 149]. При підрізанні, підйомі та сепарації ґрунту ножі ротора виносять бур'яни на оброблену поверхню поля. Установка агрегатувалась з сільськогосподарським трактором загального призначення Т-150К-08 (рис. 3.5). Вона являє собою жорстку раму з навісним пристроєм. По обидва боки рами розташовані металеві опорні колеса з механізмами регуляції глибини обробки ґрунту. У задній частині рами знаходиться ротор, що складається із чотирьох частин. Опорами ротора служать підшипникові опори на краях рами та редуктора у її центрі.

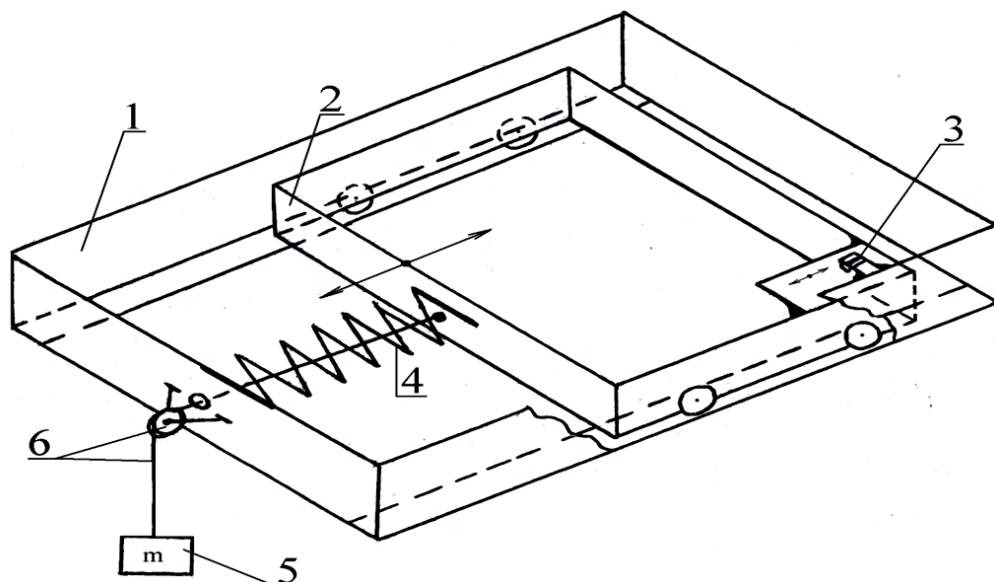


Рис. 3.4. Схема установки для проведення тарировки лабораторної установки:

1 – візок ґрунтового каналу; 2 – рухома рамка на роликах; 3 – датчик вимірювання переміщення; 4 – пружина; 5 – вантаж; 6 – роликово-тросовий механізм



Рис. 3.5. Загальний вигляд експериментальної польової роторної розрихлювально-сепаруючої установки в агрегаті з трактором Т-150К-08

Привід ротора здійснюється від вала відбору потужності трактора, який налаштовується на частоту обертання 540 об/хв. При цьому частота обертання

ротора змінюється за допомогою двоступеневого редуктора та регулюванням частоти обертання колінчастого вала двигуна в межах від 1000 до 2100 об/хв. Крутний момент від валу відбору потужності до ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою передається через запобіжну фрикційну муфту (рис. 3.6) та конічний-циліндровий двоступеневий редуктор (рис. 3.7). Передатне відношення редуктора може встановлюватись 4:1 або 5:1.

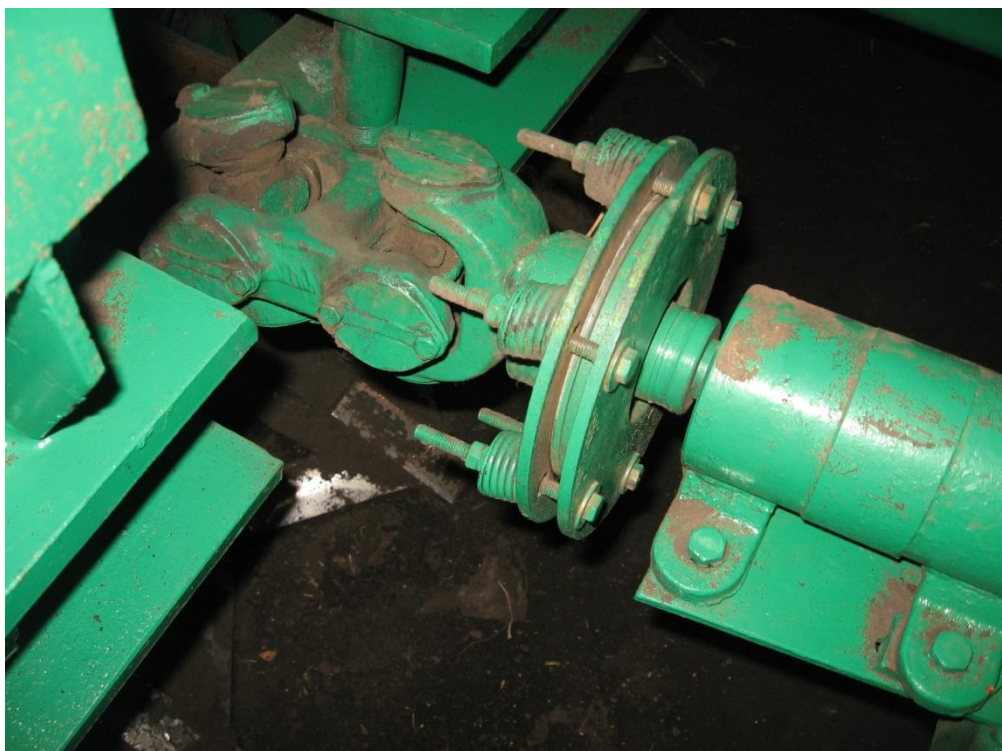


Рис. 3.6. Запобіжна фрикційна муфта

Ротор являє собою трубу, на яку приварено ножі-сепаратори з кроком у 50 мм (рис. 3.8). У передній частині рами розташовані підрізаюче-підйомні робочі органи (рис. 3.9). Вони являють собою плоскоріжучу стрілочасту лапу з кутом кришіння 15° з загнутими кінцями крил, які використалися на сівалці прямого сівби. Зазначені крила приварено до кронштейну з наральником теоретично обґрунтованої форми. Кронштейн надітий на чизельну стійку та зафіксований на ній одним гвинтом для запобігання спадання робочого органу.

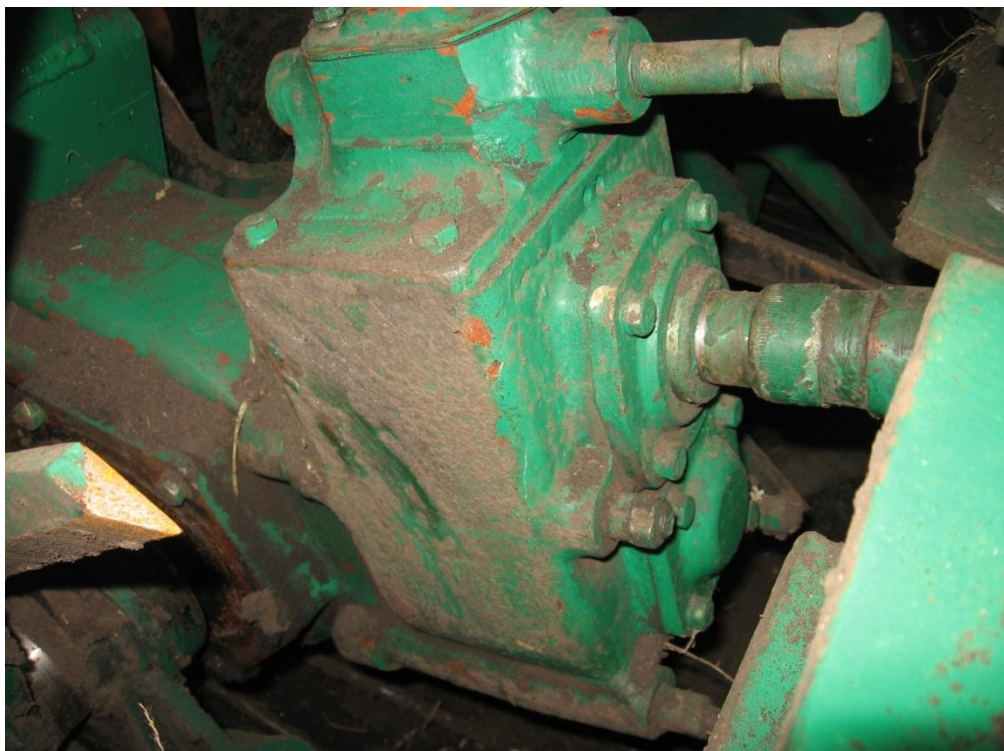


Рис. 3.7. Конічно-циліндровий двоступеневий редуктор



Рис. 3.8. Ротор експериментальної польової ґрунтообробної установки

До крила плоскоріжучої стрілкової лапи приварено прутки сепаруючої решітки з таким кроком, щоб ножі-сепаратори ротора входили між прутами сепаруючої решітки.



Рис. 3.9. Підрізаюче-підйомні робочі органи експериментальної польової роторної ґрунтообробної установки

Чизельні стійки закріплені на кронштейнах до рами позаду осі обертання ротора, що ножами забезпечує їхню якісну очистку від пожнивних залишків та ґрунту. Кожна окрема чизельна стійка утримує один підрізаюче-підйомний робочий орган. Таке кріплення робочих органів забезпечує жорсткість та надійність конструкції при обробці попередньо не підготовлених ґрунтів, легкість та зручність заміни робочого органу у разі необхідності.

Для проведення польових дослідів щодо вивчення впливу наральника теоретично обґрунтованої форми за наявності сепаруючої решітки на якісні показники обробітку ґрунту були виготовлені два види підрізаюче-підйомних робочих органів. Перший вид являє собою плоскоріжучу стрілкову лапу на кронштейні з наральником теоретично обґрунтованої форми із сепаруючою решіткою позаду крила. Другий вид – плоскоріжуча стрілчаста лапа на

кронштейні з наральником теоретично обґрунтованої форми без сепаруючої решітки (рис. 3.10).



Рис. 3.10. Загальний вигляд робочих органів експериментальної установки:
1 – плоскоріжуча стрілочаста лапа з наральником теоретично обґрунтованої форми та сепаруючою решіткою; 2 – плоскоріжуча стрілочаста лапа з наральником теоретично обґрунтованої форми без сепаруючої решітки

Такі робочі органи виготовлені та встановлені попарно з однієї та іншої сторони приводного редуктора, які дають можливість аналізувати процес роботи наральника з сепаруючою решіткою та без неї.

Експериментальна польова установка працює наступним чином. Робочі органи підрізають ґрунт на заданій глибині обробки та піднімають його. При цьому забезпечується попереднє подрібнення ґрунту, який далі подається на сепаруючу решітку роторним робочим органом. Ножі ротора, що обертається з відносно малою частотою обертання (140 об/хв), підхоплюють шар ґрунту та переміщують його далі по решітці. При цьому забезпечується активне подрібнення брили та сепарація підрізаного шару ґрунту. Грудки ґрунту дрібної

фракції просипаються за крилом підрізаючої лапи через решітку та опиняються на глибині підрізаючого шару. Більші грудки кришаться ножами ротора та просипаються через решітку, займаючи положення над дрібною фракцією. Грудки, лінійні розміри яких більше, ніж крок сепаруючої решітки, сходять з неї та займають положення на поверхні обробленого ґрунту. Тут опиняються і підрізані поживні залишки та кореневища рослин, які покривають поверхню ґрунту, утворюючи рослинну мульчу.

Так як ножі ротора проходять між прутами сепаруючої решітки, то забезпечується їх взаємне очищення від бур'янів та ґрунту. При цьому ножі ротора не дістають до дна борозни, залишаючи щільним її дно.

3.4. Методика визначення фізико-механічних властивостей ґрунту

Фізико-механічні властивості ґрунту при проведенні експериментів визначалися відповідно до ОСТ 70.2.15-73 [150], вологість ґрунту – методом термічного сушіння у п'ятикратній повторності. Зразки ґрунту масою 0,03–0,04 кг вкладалися у алюмінієві стаканчики, зважувалися та сушилися у шафі при температурі 105°C протягом восьми годин. Після сушіння зразки ґрунту знову зважувалися і вологість ґрунту визначалася за формулою:

$$W_a = \frac{m_s - m_c}{m_c} \cdot 100\% , \quad (3.7)$$

де m_s , m_c – відповідно маса вологого та сухого ґрунту, кг.

Твердість ґрунту визначалася за допомогою твердоміра ВІСХОМа у п'ятикратній повторності, щільність – у трикратній повторності методом ріжучого кільця, за Н.А. Качинським [9].

Для визначення структурно-агрегатного складу ґрунту використовувався метод просіювання його на ситах з круглими отворами. При цьому проба бралася у трикратній повторності масою не менше 2,5 кг, доводилася до повітряно-сухого стану і просіювалася через сита шляхом їх похитування. Розподілений на ситах ґрунт зважувався та обчислювалася відносна маса кожної фракції за формулою:

$$\Phi = \frac{m}{M} \cdot 100\% , \quad (3.8)$$

де m – маса фракції, кг;

M – маса надійшовшого на аналіз зразка, кг.

Коефіцієнт структурності ґрунту обчислювали за формулою:

$$K_{стр} = \frac{K_{10-0,25}}{K_{>10} + K_{<0,25}} , \quad (3.9)$$

де $K_{10-0,25}$ – відсоток вмісту агрономічно цінних фракцій ґрунту у пробі;

$K_{>10}$, $K_{<0,25}$ – відсоток вмісту фракцій ґрунту у пробі, відповідно більше 0,25 мм і менше 10 мм.

3.5. Методика визначення енергетичних показників роботи наральника

Із використанням методу прямого варіаційного обчислення у теоретичній частині роботи був обґрунтований профіль наральника, що забезпечує мінімальний тяговий опір. Отриманий профіль наральника визначений за формулою та представлений на рис. 2.3.

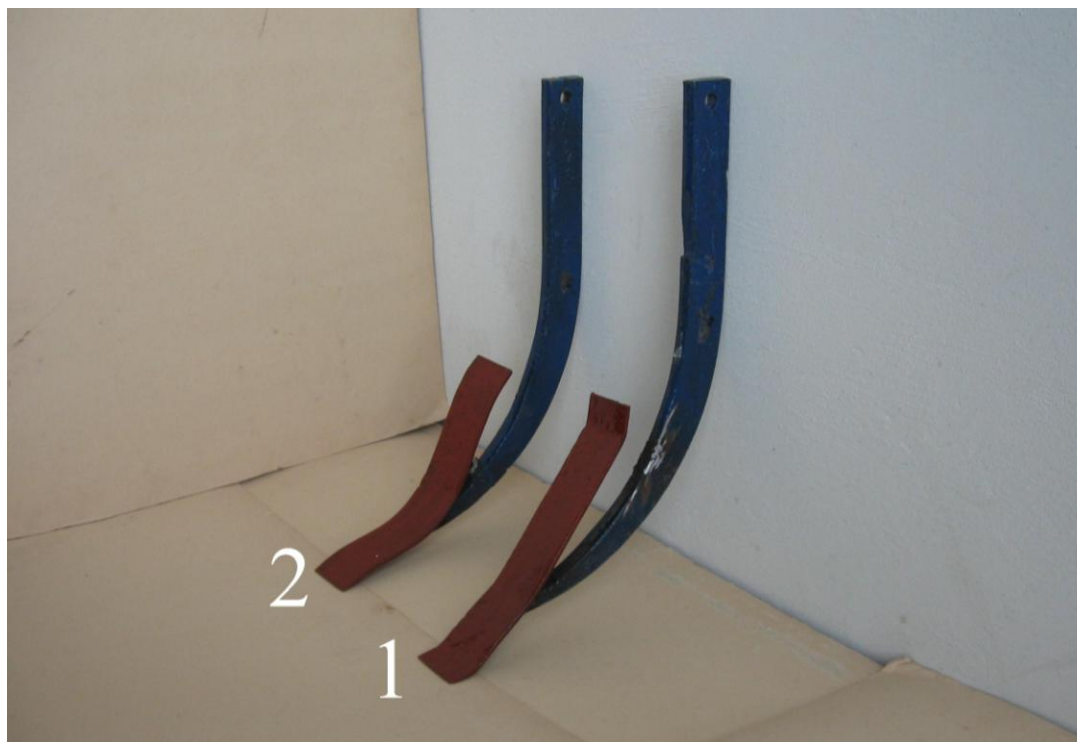


Рис. 3.11. Наральники: 1 – з прямим профілем ; 2 – з теоретично обґрунтованим профілем

З метою визначення достовірності результатів теоретичних досліджень ми обчислювали енергетичні показники роботи наральника пристрою для підрізання та підйому ґрунту. Для цього був виготовлений наральник з профілем, обґрунтованим теоретичним шляхом, а для порівняння – з прямолінійним профілем.

Дотичні до наральників у початкових точках дорівнювали 26° , а у кінцевих точках збігалися з напрямком стійок, що проходять за віссю ротора розрихлювально-сепаруючого пристрою.

На рис. 3.11 представлений загальний вид наральників з прямим та теоретично обґрунтованим профілем.

Тягові опору наральників визначалися у ґрунтовому каналі (див. рис. 3.2). Експеримент проводився з чотирикратною повторністю.

3.6. Методика проведення експерименту по обґрунтуванню параметрів крила плоскоріжучої лапи підрізаюче-підйомного робочого органу

Для проведення експерименту по визначенню впливу конструкції крила підрізаюче-підйомного робочого органу на якість поверхні ґрунту після його проходження було взято дві плоскоріжучі стрілочасті лапи шириною захвату 370 мм. Одну з них використовували без змін (рис. 3.12), до кінців крил іншої лапи приварили напрямні вертикальні ножі на зразок робочих органів сівалки прямої сівби «Меланія» – експериментальний підрізаюче-підйомний робочий орган (рис. 3.13).

Підрізаюче-підйомні робочі органи кріпилися до стандартних стійок культиватора-підкормника КРН-4,2 двома гвинтами. Зміною положення стійки по висоті у затискачі гряділя культиватора регулювалася глибина ходу підрізаюче-підйомних робочих органів. Для забезпечення однакової глибини ходу підрізаюче-підйомних робочих органів, після проведення контрольного експерименту, положення стійки у затискачі не змінювалося, а лише замінювався робочий орган. Якісні показники експериментальної установки вивчалися в залежності від конструкції підрізаюче-підйомного робочого органу. З метою

визначення впливу конструкції робочого органу на вирівняність поверхні ґрунту після його проходу були проведені дослідження з традиційною плоскоріжучою стрілкою (див. рис. 3.12) та зі стрілкою з загнутими кінцями крил (див. рис. 3.13). Якість поверхні ґрунту після проходу робочого органу визначалася його гребенястістю. Умовою проведення експерименту було забезпечення роботи підрізаюче-підйомних робочих органів на одній ділянці ґрунтового каналу з ідентичними властивостями ґрунту, на однаковій глибині обробки та з однаковими швидкостями руху.



Рис 3.12. Плоскоріжуча стрілчаста лапа шириною 370 мм



Рис 3.13. Експериментальний підрізаюче-підйомний робочий орган

Дослід проводився на ґрунтовому каналі. Для експерименту було підготовлено ґрунт у каналі: скопали ділянку каналу довжиною близько 10 м у зоні проходження робочих органів та зволожили її. Після підсихання ґрунту встановили контрольний робочий орган на глибину 7 см та протягнули його зі швидкістю 0,8 м/с на відстань близько 4 м. Після зупинки робочого органу вирівняність ґрунту визначили візуально з використанням білого шнура, показники гребенястості – у п'яти точках по ходу руху робочого органу за допомогою рівної планки та вимірювальної лінійки. Потім встановили експериментальний підрізаюче-підйомний робочий орган на ту ж глибину та здійснили ті ж операції.

Використання лап із загнутими крилами в умовах шеренгового розташування не дозволяє проводити обробку ґрунту з перекриттям їх по ширині захоплення. При установці лап у шаховому порядку суттєво ускладнюється конструкція установки та збільшується металоенергоємність, тому розрихлювально-сепаруючий ротор необхідно встановлювати у два ряди. У зв'язку з цим між суміжними лапами із загнутими крилами, встановленими в один ряд, неминуче виникає проміжок, у результаті чого виникають огріхи у проходах між ними. Для визначення величини цих огріхів по ширині захоплення установки та глибині

обробки вивчали вплив глибини ходу підрізаюче-підйомного пристрою на величину утворення огріхів по ширині захоплення установки.

Експеримент проводили у польових умовах при швидкості руху установки 8 км/год (II передача трактора). Агрегат для обробки ґрунту складався з трактора Т-150К-08 та експериментальної ґрунтообробної установки. Глибину ходу робочих органів у ґрунті встановлювали зміною положення механізмів опорних коліс установки при глибині обробки 4, 6 та 8 см. Після проходу установки розпушений ґрунт знімали рукою до щільного ложа по ширині захвата трьох лап підрізаюче-підйомного пристрою. Для оцінки профілю дна борозни на неї укладали білий шнур та після цього робили знімок фотоапаратом. Глибину борозни визначали за допомогою рейки та вимірювальної лінійки (рис. 3.14).



Рис. 3.14. Визначення глибини борозни після проходу експериментального підрізаюче-підйомного пристрою

Глибину утвореної борозни вимірювали по сліду ходу наральника, крила стрілкової лапи у зоні стику між лап (рис. 3.15).

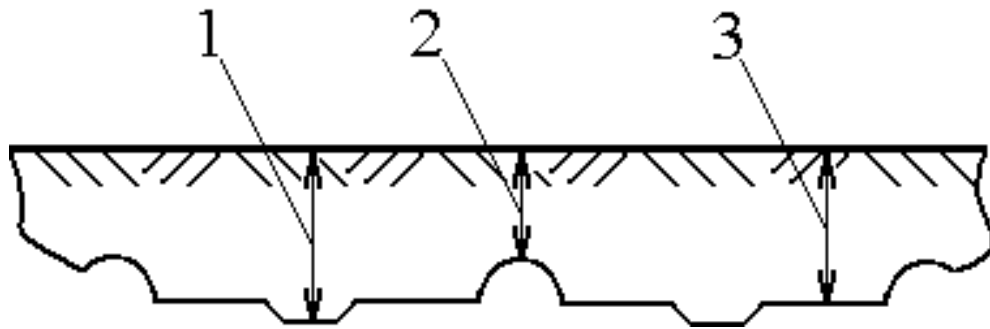


Рис. 3.15. Місця виміру глибини утвореної борозни експериментальним підрізаюче-підйомним пристроєм: 1 – після проходу наральника; 2 – у зоні стикування лап; 3 – після проходу лапи

Експеримент проводився з триразовою повторністю зі зміною глибини та в якості супутнього показника умов проведення експерименту визначалася вологість ґрунту за описаною вище методикою (глава 3.3.).

3.7. Методика визначення впливу параметрів ґрунтообробної установки на показники якості її роботи

Якісні показники роботи ґрунтообробної установки вивчалися в залежності від частоти обертання ротора при постійному значенні його кінематичного параметра, швидкості руху агрегату на двох рівнях частоти обертання ротора та глибини обробки. Для визначення впливу на якісні показники роботи наральника з теоретично обґрунтованою формою за наявності сепаруючої решітки експерименти проводилися за допомогою установки, на дві лапи з наральниками теоретично обґрунтованої форми якої була встановлена сепаруюча решітка, а на двох лапах з наральниками теоретично обґрунтованої форми вона була відсутня (див. рис. 3.10).

Якісні показники роботи установки оцінювалися коефіцієнтом структурності ґрунту на глибині обробки нижнього та верхнього шарів.

3.7.1. Вплив частоти обертання ротора ґрунтообробної установки

Експерименти проводилися на дослідному полі. Для експерименту ми вибрали ділянку поля, не оброблену після збору зернових культур, відносно рівну,

зі слідами зернозбирального комбайна по поверхні ґрунту. Валок соломи, утворений комбайном, був незначних розмірів, а стерня, залишена після проходу комбайна, мала висоту близько 15 см. Для вирівнювання умов в експерименті розбивали ділянки вздовж руху комбайна між слідами колії.

Щоб визначити сепаруючу здатність експериментальної польової установки, проби ґрунту брали на двох рівнях по глибині обробітку ґрунту. Для цього шар обробленого ґрунту після проходу експериментальної установки був розділений на два горизонти по глибині. Перший горизонт глибиною 0–0,5 см глибини обробки (поверхневий шар), другий – на глибині від 0,5 глибини обробки до дна борозни (нижній шар).

Проби ґрунту брали в одному місці одна за одною по прошаркам: знімали спочатку верхній шар, потім нижній. Для визначення впливу наявності сепаруючої решітки на якісні показники обробки, проби ґрунту брали по ходу руху експериментальної польової установки в зоні наявності або відсутності сепаруючої решітки.

Умовою для визначення впливу зміни частоти обертання ротора експериментальної установки на якісні показники обробітку ґрунту було збереження постійного значення кінематичного параметра експериментальної польової установки при постійній глибині обробітку ґрунту та при зміні частоти обертання ротора.

Для забезпечення постійного значення кінематичного параметра пропорційно змінювали величини частоти обертання ротора експериментальної установки та її лінійної швидкості. Для цього в умовах незалежного приводу вала відбору потужності трактора Т-150К-08 був проведений експеримент на фіксованій передачі трансмісії трактора зі зміною при цьому частоти обертання колінчатого вала двигуна. Були обрані фіксовані значення частоти обертання колінчатого вала двигуна трактора, рівномірно розподілені по діапазону частоти обертання від холостого ходу до номінальної частоти обертання. У відповідності зі значенням цих величин перераховані значення кутової швидкості ротора експериментальної польової установки та її лінійної швидкості. Після цього були визначені значення

кінематичного параметра для кожного конкретного випадку. Результати розрахунків наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Значення кінематичного параметра при зміні частоти обертання колінчастого вала двигуна трактора

Частота обертання колінвалау $n_{дв}$, c^{-1}	Частота обертання ротора n , c^{-1}	Відповідні швидкості, м/с		Кінематичний параметр $\frac{V_0}{V_m} = \lambda_k$
		обвідна швидкість обертання ротора, V_0	лінійна швидкість установки, V_m	
16,7	1,58	3,60	0,440	8,18
21,7	2,07	4,70	0,573	8,20
26,7	2,53	5,77	0,705	8,18
31,7	3,02	6,87	0,830	8,28

Із таблиці видно, що кінематичні параметри ротора експериментальної установки залишаються практично незмінними на всьому діапазоні частоти його обертання. Незначні коливання кінцевого результату пов'язані з неточностями при розрахунках та впливом таких сторонніх чинників при виконанні експерименту, як пробуксовка коліс трактора та ін.

3.7.2. Вплив швидкості руху ґрунтообробної установки

Умовами проведення експерименту по визначенню впливу зміни швидкості руху агрегату на коефіцієнт структурності ґрунту було забезпечення постійної глибини його обробки та однакової частоти обертання ротора експериментальної польової установки на двох рівнях незалежно від швидкості її руху.

Постійна частота обертання ротора експериментальної машини та колінчастого вала двигуна трактора у всіх точках експерименту забезпечується за допомогою електронного тахометра трактора Т-150К-08. Даний експеримент проводився у двох варіантах: при встановленій частоті обертання колінчастого

вала двигуна на номінальну частоту $35,0 \text{ c}^{-1}$ та на частоту $16,7 \text{ c}^{-1}$. В обох випадках швидкість руху агрегату змінювалася відповідним перемиканням режимів трансмісії.

Величини швидкостей експериментальної польової установки були рівномірно розподілені по робочому діапазону трансмісії трактора. Відповідно до обраних швидкостей руху агрегату були перераховані значення обертальної швидкості ротора та кінематичного параметра експериментальної установки для порівняння результатів двох експериментів.

Результати розрахунків наведені у табл. 3.2, з якої видно відповідність значень кінематичного параметра в однакових режимах роботи трансмісії при різних частотах обертання колінчастого вала двигуна трактора.

Таблиця 3.2. Швидкісні режими роботи тракторного агрегату та значення кінематичного параметра ротора експериментальної установки

Передача	Поступальна швидкість при $n_{об} 16,7 \text{ c}^{-1}$ та $V_0 = 3,4 \text{ м/с}$	$\frac{V_0}{V_m} = \lambda_k$	Поступальна швидкість при $n_{об} 35,0 \text{ c}^{-1}$ та $V_0 = 7,33 \text{ м/с}$	$\frac{V_0}{V_m} = \lambda_k$
1.1	0,44	7,73	0,925	7,92
1.3	0,59	5,76	1,25	5,86
2.1	0,925	3,68	1,94	3,78

3.7.3. Вплив глибини обробки ґрунту ґрунтообробної установки

Для визначення впливу зміни глибини обробки на якісні показники ґрунту ділянку по ходу руху експериментальної польової установки розбивали на відрізки довжиною по 50 м, на яких машина працювала з різною глибиною обробки при однаковій швидкості руху та частоті обертання ротора машини. Ця група дослідів проводилася при встановлених глибинах обробки 5, 8 та 11 см у режимі трансмісії трактора 1:1 при швидкості руху експериментальної установки 0,925 м/с.

У всіх випадках по довжині зазначених відрізків для визначення коефіцієнтів структури ґрунту бралось по три повторності проб на відстані одна від одної не менше 5 м. Для усунення інших побічних чинників на результати експерименту був використаний принцип рандомізації вхідних параметрів експерименту. Тобто в експерименті по визначенню впливу зміни глибини обробки ґрунту на якісні його показники установка працювала спочатку на глибині 11 см, потім на 5 см, та в останню чергу виконувався експеримент при глибині обробки 8 см.

3.8. Методика визначення впливу ґрунтообробної установки на фізико-механічні властивості ґрунту

У дослідженнях з даного питання ми визначали результати випробування ґрунтообробної установки для диференційованого (точного) обробки ґрунту. Ґрунтообробна установка здатна змінювати режим кришіння ґрунту в залежності від вихідних параметрів його щільності та структурного складу. Необхідний ефект досягався за рахунок зміни швидкості обертів активного робочого органу – ротора. Дослідження перевірені у польових умовах. Ґрунтообробна розрихлювально-сепаруюча установка агрегувалася з трактором Т-150К-08 (див. рис. 3.5).

Випробування здійснювали на чорноземі типовому важкосуглинному при трьох рівнях вологості – 23,6% маси ґрунту (приблизно відповідає рівню фізичної стиглості – оптимальні умови для кришіння), 14,4% (приблизно нижня межа пластичності – помірні умови) та 11,4% (0,5 фізичної стиглості – найгірші умови). Різні рівні щільності будови у посівному шарі створювали безпосередньо перед кришінням одним-трьома проходами трактора Т-150К-08. В середньому вони становили 1,1–1,2 (найменший рівень), 1,25–1,35 (проміжний рівень) та 1,40–1,45 (найбільший рівень) г/см³. Ґрунтообробна установка також мала три параметри частоти обертання ротора – 99, 127 та 180 об/хв. Зразки ґрунту відбирали відразу ж після проходу агрегату. Структурний склад ґрунту з виділенням фракцій грудок (більше 10 мм) агрономічно корисного об'єму (10–1 мм) та пилу (менш 1 мм) визначали при природній вологості. Межі пилу були дещо змінені через те, що

пилоподібні частки менш 1–0,25 мм при просіюванні при природній вологості ґрунту практично не утворювалися.

3.9. Методика проведення випробувань експериментальної установки у польових умовах

Польові випробування роторної розрихлювально-сепаруючої установки показали, що у результаті сепарації обробленого шару ґрунту робочими органами на поверхню поля викидаються рослини з кореневими системами, що сприяє знищенню бур'янів. Тому й виникла необхідність у вивченні доцільності використання експериментальної машини з точки зору боротьби із засміченістю ґрунту, особливо з коренепаростковими бур'янами, знищення яких механічним способом у даний час ускладнено та вимагає проведення до семи обробок традиційними робочими органами [9, 151, 152].

До завдання випробувань у польових умовах входила перевірка роботи ґрунтообробної установки при луценні стерні зернових та круп'яних культур, при підготовці ґрунту до посіву пропашних культур та можливості використання її для боротьби з бур'янами, а також при догляді за парами, засміченими коренепаростковими бур'янами.

Якість обробки ґрунту експериментальною установкою, яка оцінювалася структурою та сепарацією обробленого шару ґрунту за структурним складом визначалася у раніше проведених нами експериментах. Тому в процесі проведення даних досліджень не було необхідності у визначенні фізико-механічних властивостей ґрунту з точки зору вимог агротехніки до оптимізації їх параметрів. Результати роботи експериментальної установки визначали після її проходження по стерні зернових та круп'яних культур, якість оцінювали візуально методом фотографування. Якість роботи установки при передпосівній підготовці ґрунту під просапні культури оцінювали візуально по структурі поверхневого шару ґрунту та ступеня знищення бур'янів.

При використанні установки для знищення бур'янів вибиралася ділянка з бур'янами заввишки більше 50 см. Якість знищення бур'янів визначалася візуально з використанням методу фотографування.

При догляді за парами випробування проводилися на двох ділянках. Перша ділянка була засмічена пириєм, друга – осотом. Кількість обробок на обох варіантах визначалася по їх необхідності, а якість кришіння та ступінь знищення бур'янів - візуально та фіксувалася за допомогою фотографування.

3.10. Висновки по розділу 3

1. Розроблено та виготовлено лабораторні стенди ґрунтового каналу, які дозволили визначити енергетичні показники функціонування робочих органів експериментальної ґрунтообробної установки, а також якісні показники роботи підрізаючої лапи з загнутими вгору крилами.

2. Розроблено та виготовлено експериментальну ґрунтообробну розрихлювально-сепаруючу установку за допомогою якої проведено польові експериментальні дослідження по визначенню впливу параметрів робочих органів на якісні показники їх роботи.

3. Розроблено методику проведення досліджень, яка включає в себе експериментальну перевірку теоретичних висновків, а також визначення впливу параметрів роторної розрихлювально-сепаруючої установки на показники якості її роботи.

4. На підставі виконаних теоретичних досліджень розроблено методику визначення впливу розрихлювально-сепаруючих робочих органів роторної ґрунтообробної установки на фізико-механічні властивості ґрунту в залежності від режиму кришіння ґрунту.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Визначення впливу профілю наральника плоско ріжучої лапи на енергоємність його роботи

Експерименти по визначенню тягового опору наральника з прямим та теоретично обґрунтованим профілем проводили у ґрунтовому каналі при глибині обробки 0,12 м та вологістю ґрунту 18%. Швидкість руху тензометричного візка становила 0,69 м/с. Дані про тяговий опір наральників з прямим та теоретично обґрунтованим профілями наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Тягові опору наральників, Н

Повторність	Тип наральника		% до наральника прямого профілю
	прямого профілю	експериментальний	
1	125,0	89,25	
2	143,0	75,75	
3	152,0	89,25	
4	138,5	89,25	
Середнє	139,6	85,88	61,5

Результати статистичної обробки отриманих експериментальних даних з використанням критерію Фішера показують, що частка впливу фактора становить 91,8% (додаток А), достовірні з імовірністю 95%. Найменша істотна різниця становить 22,626 Н.

Аналіз даних таблиці показує, що наральник з теоретично обґрунтованим профілем в порівнянні з наральником прямого профілю має тяговий опір на 38,5% менше, що підтверджує достовірність результатів теоретичних досліджень.

4.2. Визначення гребнистості поверхні ґрунту після проходу серійної та експериментальної лапи

Експеримент проводився після висихання підготовленого ґрунту у каналі вологістю до 19–20%. Вид поверхні ґрунту після проходу серійної плоскоріжучої стрілкової лапи показано на рис. 4.1, а після проходу експериментальної стрілкової лапи – на рис. 4.2.



Рис. 4.1. Вид поверхні ґрунту після проходу плоскоріжучої стрілкової лапи



Рис. 4.2. Вид поверхні ґрунту після проходу експериментального підрізаюче-підйомного робочого органу

Результати проведеного експерименту по визначенню гребнистості поверхні ґрунту після проходження серійної та експериментальної лапи наведені у табл. 4.2.

Результати даних таблиці показують, що частка впливу фактора становить 96,85% (додаток Б), достовірність отриманих даних за критерієм Фішера – 95%, найменша істотна різниця – 1,561 мм.

Таблиця 4.2. Показники гребнистості поверхні ґрунту після проходження серійної та експериментальної лапи

№ п/п	Плоскоріжуча стрілочаста лапа (контроль)		Плоскоріжуча стрілочаста лапа з загнутими крилами		
	Гребенястість, мм	Середнє значення, мм	Гребенястість, мм	Середнє значення, мм	Відношення до контролю, %
1	27,6	27,84	17,8	17,44	62,6
2	26,3		16,1		
3	27,6		18,8		
4	28,4		17,3		
5	29,3		17,2		

Із табл. 4.2 видно, що гребенястість поверхні ґрунту після проходження експериментальної лапи знизилася на 62,6% по відношенню до контролю. Це можна пояснити тим, що загнуті кінці крила експериментального робочого органу запобігають бічному пересуванню ґрунту від стійки, тим самим зменшуючи глибину борозни за стійкою робочого органу.

Експеримент по визначенню впливу глибини ходу підрізаюче-підйомного пристрою на величину утворених огріхів між плоскоріжучими лапами з загнутими крилами проводився у польових умовах при вологості ґрунту 20,5%. Після розкриття обробленого шару ґрунту на дно борозни укладався білий шнур, фотографувався та візуально оцінювалася рівномірність обробітку ґрунту по ширині захвата робочих органів (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Вид дна борозни після проходу експериментальних підрізаюче-підйомних робочих органів

Із рисунку видно, що у стикових проміжках проходу робочих органів утворюються виступи, які впливають на рівномірність глибини обробітку ґрунту по ширині захвата установки.

Результати вимірювання товщини обробленого шару ґрунту після проходу установки у зоні роботи крила підрізаюче-підйомного пристрою та у зоні між проходами суміжних крил для різної глибини обробки наведено у табл. 4.3. При проведенні експерименту проміжок між крилами суміжних лап встановлювався рівним 3 см.

Результати дисперсійного аналізу показують, що частка впливу фактора становить 73,08% (додаток В), достовірність за критерієм Фішера – 95%, найменша істотна різниця – 0,017 м.

Аналіз даних табл. 4.3 показує, що нерівномірність глибини обробітку ґрунту по ширині захвата установки перевищує допустимі вимоги щодо відхилення рівномірності загортання насіння у ґрунт, які становлять для дрібного насіння 0,5 см, а для крупніших – 1 см [8]. Тому запропонована установка з робочими

органами у вигляді стрілчастих лап з загнутими догори крилами, і встановленими у один ряд зі стиковими проміжками не може бути використана для передпосівної обробки ґрунту при співпаданні напрямку руху експериментальної ґрунтообробної установки та посівного агрегату. Для поліпшення рівномірності загортання насіння по глибині у такому випадку можна використовувати загальновідомі вимоги – посівний агрегат переміщається під кутом по відношенню до напрямку руху ґрунтообробного агрегату. Для інших видів обробки нерівномірність глибини по ширині захвата установки не перевищує 25%.

Таблиця 4.3. Вплив глибини ходу підрізаюче-підйомного пристрою на величину утворених огріхів

Глибина обробки, м	Повторність	Глибина обробки у зоні стиків лап, м
0,04	1	0,018
	2	0,026
	3	0,031
	Середнє	0,025
0,06	1	0,032
	2	0,056
	3	0,062
	Середнє	0,050
0,08	1	0,058
	2	0,066
	3	0,092
	Середнє	0,072

4.3. Визначення впливу параметрів ґрунтообробної установки на якісні показники її роботи

Експерименти з вивчення параметрів ґрунтообробної установки на якісні показники роботи проводилися на полігоні з чорноземним ґрунтом середнього

механічного складу [149]. При проведенні експериментів вологість ґрунту становила 24%, а твердість – 120 Н/м².

4.3.1. Вплив частоти обертання ротора

Критерієм оцінки впливу частоти обертання ротора експериментальної установки на якісні показники обробітку ґрунту був коефіцієнт структурності. Для визначення коефіцієнтів структурності було проведено чотири повторності експерименту [148] при різних частотах обертання ротора експериментальної установки: 1,58; 2,07; 2,53; 3,00 с⁻¹. При цьому поступальна швидкість руху підбиралася таким чином, щоб кінематичний параметр роботи ротора був близьким до постійної величини. У межах кожної повторності було взято по три проби ґрунту у зоні робочих органів без сепаруючої решітки (для контролю), та по три проби у зоні робочих органів з решіткою. Проби ґрунту бралися у двох шарах обробленого ґрунту, що поділявся по глибині на дві рівні частини.

Після упорядкування таблиць і обробки даних підраховані середні значення коефіцієнтів структурності ґрунту, які наведені у табл. 4.4. Достовірність отриманих результатів становила не менше 80%. Частка впливу частоти обертання на структуру ґрунту становила 5,66%, найбільшу частку впливу мала наявність сепаруючої решітки – 43,35%. Частка впливу сепаруючої здатності установки на структурний склад ґрунту становила 35,40% (додаток Г).

Таблиця 4.4. Залежність коефіцієнта структурності ґрунту від частоти обертання ротора

Частота обертання ротора, с ⁻¹	Номер повторності	Коефіцієнти структурності				У % до роботи польової установки без решітки	
		Робочі органи без решітки		Робочі органи з решіткою		Верхній шар	Нижній шар
		Верхній шар	Нижній шар	Верхній шар	Нижній шар		
1,58	1	0,40	0,50	0,70	1,00		
	2	0,40	0,80	0,60	1,10		

Продовження таблиці 4.4							
	3	0,50	0,70	0,70	1,13		
	Серед.	0,43	0,66	0,67	1,08	155,8	163,6
2,07	1	0,40	0,80	0,60	1,30		
	2		0,60		1,30		
	3	0,40		0,70	1,30		
	Серед.	0,40	0,70	0,65	1,30	162	185
2,53	1	0,50	0,87	0,80	1,10		
	2	0,60	0,80	0,60	1,26		
	3	0,50	0,80	0,80	1,10		
	Серед.	0,53	0,86	0,73	1,15	137	133
3,00	1	0,70		0,90	1,17		
	2	0,60	0,80		1,50		
	3	0,73		0,70	1,17		
	Серед.	0,68	0,80	0,80	1,28	117,6	160

Отже, результати експерименту вказують на недоцільність підвищення частоти обертання ротора для поліпшення якості кришіння ґрунту. Результати експерименту достовірні з імовірністю 95%, найкраща істотна різниця не перевищує 0,102.

За отриманими результатами дослідів було побудовано графіки (рис. 4.4, 4.5) впливу частоти обертання ротора експериментальної установки на коефіцієнт структурності ґрунту. Із графіків видно, що з ростом частоти обертання коефіцієнт структурності ґрунту збільшується у всіх контрольних точках експерименту. Однак у верхньому шарі ґрунту величини коефіцієнтів структурності близькі між собою, за невеликою перевагою у випадку з сепаруючою решіткою. Динаміка зміни коефіцієнта структурності ґрунту при лінійній зміні частоти обертання ротора у обох випадках має увігнутий характер.

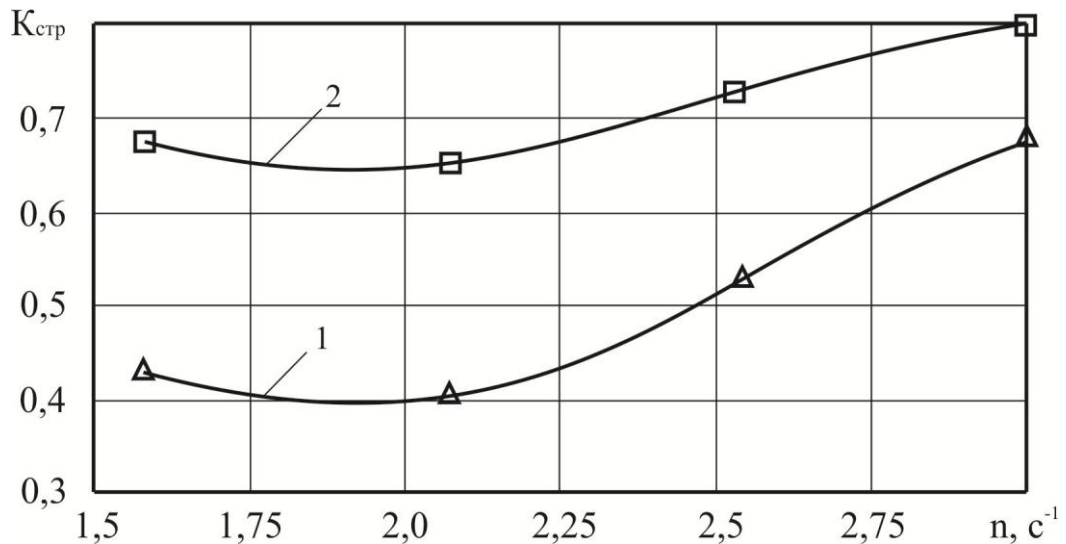


Рис. 4.4. Залежність коефіцієнта структурності ґрунту від частоти обертання ротора у верхньому шарі: 1 – без решітки; 2 – з решіткою

Із графіка видно, що зі збільшенням частоти обертання ротора понад $2,05 \text{ с}^{-1}$ збільшується розрив у якості обробки ґрунту, більш того, у варіанті зі встановленою сепаруючою решіткою коефіцієнт структурності ґрунту підвищується на 88%. У нижньому шарі ґрунту спостерігається значна перевага робочих органів з сепаруючою решіткою. Коефіцієнт структурності ґрунту при використанні робочих органів з сепаруючою решіткою у 1,5 рази вище по відношенню до робочих органів без решітки, що забезпечує більш сприятливі умови для закладення у ґрунт насіння (див. рис. 4.5). При цьому у обох випадках характер зміни коефіцієнта структурності ґрунту має вигнутий характер.

Експеримент показав, що наявність сепаруючої решітки у складі робочих органів експериментальної установки позитивно впливає на якісні показники обробітку ґрунту, хоча від наявності сепаруючої решітки меншою мірою залежить коефіцієнт структурності ґрунту поверхневого шару. При зміні частоти обертання ротора установки у нижньому шарі ґрунту, при наявності сепаруючої решітки, спостерігаються незначні зміни коефіцієнта структури ґрунту порівняно з робочим органом без решітки. Однак при наявності сепаруючої решітки коефіцієнт структурності ґрунту у середньому на 60% вище, ніж без решітки.

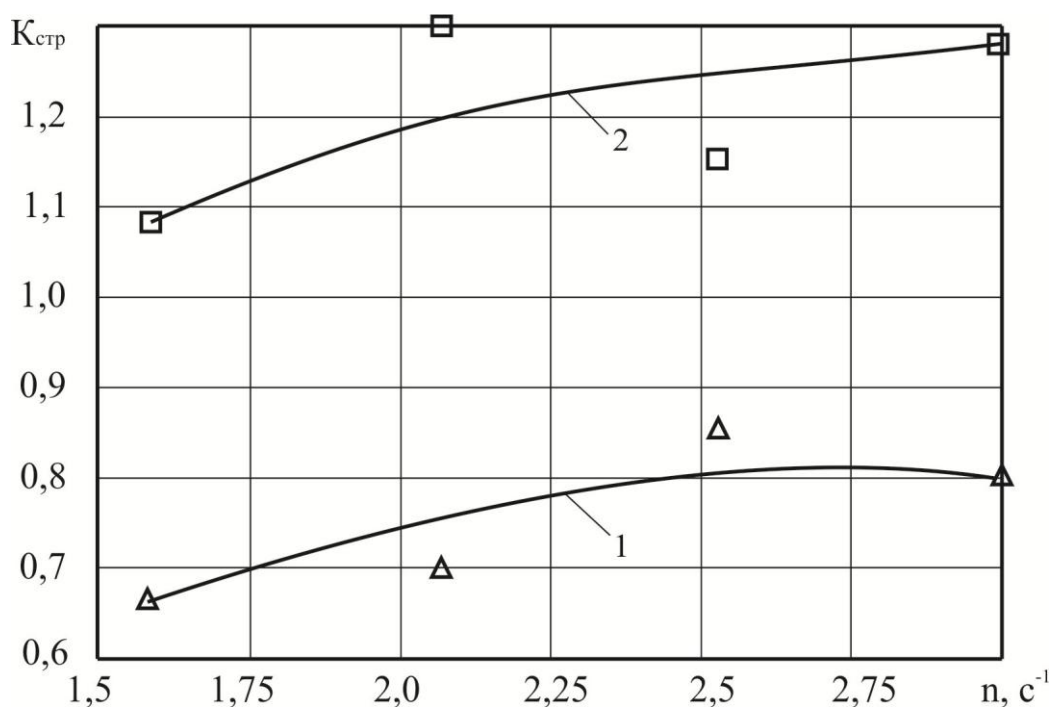


Рис. 4.5. Залежність коефіцієнта структурності ґрунту від частоти обертання ротора у нижньому шарі: 1 – без решітки; 2 – з решіткою

Збільшення частоти обертання ротора експериментальної установки сприяє збільшенню коефіцієнта структурності ґрунту, а динаміка зміни коефіцієнтів структурності ґрунту по прошаркам при зміні частоти обертання ротора експериментальної установки носить однаковий характер і при відсутності сепаруючої решітки, і при її наявності.

Результати польових випробувань експериментальної установки для фракції розміром 10–1 мм наведені у табл. 4.5.

Таблиця 4.5. Кришіння посівного шару в залежності від частоти обертання ротора ґрунтообробної експериментальної установки при різних вихідних параметрах вологості та щільності ґрунту

Вихідні параметри ґрунту		вихід агрегатів (%) розміром 10–1 мм при частоті обертання ротора, об./хв		
вологість, % маси	щільність будови, г/см^3	99	127	180
11,4	1,14	36,4	50,2	33,2

	Продовження таблиці 4.5			
	1,19	43,7	55,7	47,8
	1,32	24,2	26,2	33,9
14,4	1,21	50,6	48,1	50,5
	1,38	51,9	30,0	47,1
	1,45	53,4	35,8	30,6
23,6	1,06	69,6	68,7	74,4
	1,26	60,5	73,4	58,0
	1,36	45,2	55,6	49,5

Достовірність даних, визначена за критерієм Фішера, дорівнює 95% (додаток Ж). Частка впливу фактора становить 79,2%. Найменша суттєва різниця дорівнює 13,923%.

Слід враховувати, що при аналізі отриманих даних деяка їх суперечливість пояснюється тим, що нам не вдалося створити рівні умови вихідної щільності будови перед обробкою (кришінням) через різну вологість посівного шару ґрунту. Наприклад, при найменшій вологості ґрунту діапазон створеної щільності будови становив 1,14–1,32 г/см³, середній вологості – 1,21–1,45 г/см³, підвищеній – 1,06–1,36 г/см³. Тобто, при проведенні експерименту нам не вдалося створити умови, що зіставляють кришіння ґрунту. Але певні закономірності були виявлені.

1. Як і очікували, найбільший (майже оптимальний) вихід агрономічно цінних грудок отримали при фізичній стиглості ґрунту та при рихлій й помірно ущільненій його будові. Важливо, що при цих умовах частота обертання ротора не має великого значення. Ґрунт майже однаково добре розпадається на агрономічно цінні грудки як при мінімальній, так і при максимальній швидкості. Але при досягненні вихідної щільності будови ґрунту 1,36 г/см³ кришіння значно погіршується та при збільшенні частоти обертання ротора простежується очевидна тенденція до поліпшення кришіння.

2. При зменшенні вихідного рівня вологості ґрунту до нижньої межі пластичності та, особливо, до 0,5 фізичної стиглості кришіння значно погіршується. Найменші показники кришіння (24–34%) відзначаються при найбільш високій вихідній щільності будови ґрунту – 1,32 г/см³ і вище. Але і в цьому випадку підвищення частоти обертання ротора збільшує вихід агрономічно цінних структурних грудок.

Обробка даних за методом факторного аналізу дозволила прийти до більш конкретних висновків. Для цього визначили вплив кожного з досліджених чинників на кришіння по приблизно однаковим іншим двом факторам. Результат наведено у табл. 4.6.

Таблиця 4.6. Вплив досліджених чинників на кришіння ґрунту

Фактор	Рівень чинника	Кришіння ґрунту, %
Частота обертів ротора, об/хв	99	48,4
	127	49,3
	180	47,2
Щільність будови ґрунту	Найменша	53,5
	Помірна	52,0
	Підвищена	39,4
Вологість ґрунту	Найменша	39,0
	Помірна	44,2
	Оптимальна	61,7

Після обробки даних експерименту отримано математичну модель кришіння ґрунту

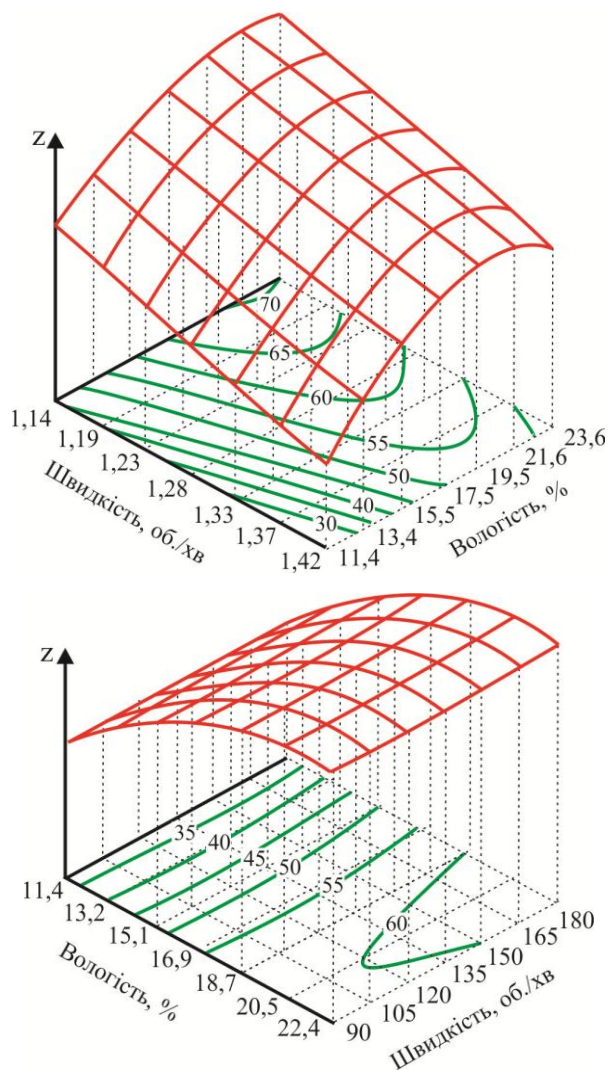
$$Z = 95,5 - 0,04W^3 p^3 - 25,2p^2 + 2,82v^{2/3} + 0,82W^{1,5} p^{2,5} + \\ + 0,03W^{1,5} p^{1,5} v^{1/3} - 22,2pv^{1/3},$$

де W – вологість ґрунту %;

p – щільність будови ґрунту, г/см³;

v – швидкість обертання ротора, об./хв.

На основі цієї моделі побудовані графіки поверхонь $Z(W, p)$; $Z(W, v)$; $Z(p, v)$ за умови фіксації v , p та W відповідно на рівнях їх середніх значень в експериментах. Для практичних цілей здійснено наближення до квадратичної моделі. Результати регресійного багатofакторного аналізу наведені на рис. 4.6.



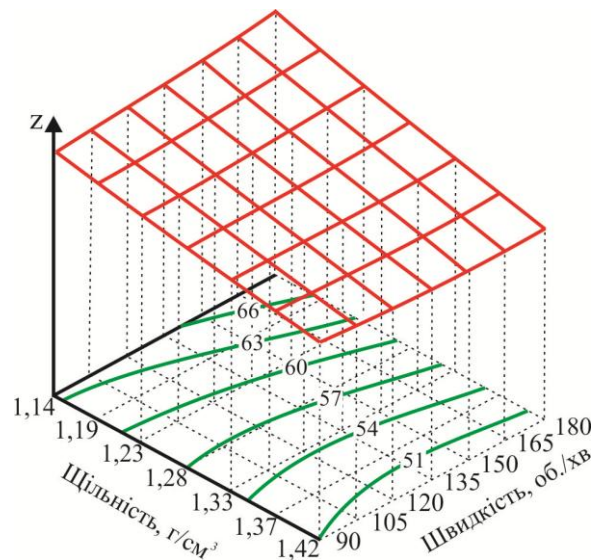


Рис. 4.6. Кришіння посівного шару (Z) в залежності від частоти обертання ротора ґрунтообробної установки при різних вихідних параметрах вологості та щільності будови ґрунту

Отже, вихідні параметри ґрунту – вологість та щільність будови – істотно впливають на її кришіння. Особливо несприятливий характер набуває цей процес при максимальній щільності та мінімальній вологості ґрунту у посівному шарі. Вплив ротора значно впливає на вихід агрономічно цінних агрегатів (порівняно з найгіршими показниками кришіння). Певною мірою для оптимізації кришіння досить навіть мінімальної частоти обертання ротора. При підвищенні частоти обертання ротора виявляється чітка тенденція до поліпшення кришіння, особливо при несприятливих параметрах щільності будови та вологості ґрунту.

4.3.2. Вплив швидкості руху експериментальної установки

Для визначення коефіцієнтів структурності обробленого ґрунту провели шість дослідів при різних швидкостях руху експериментальної польової установки та різних частотах обертання ротора, а саме: при частоті обертання $1,1 \text{ с}^{-1}$ – три повторності на режимах трансмісії 1:1, 1:3, 2:1 та при частоті обертання $2,3 \text{ с}^{-1}$ – на тих же режимах роботи трансмісії трактора.

У межах кожного експерименту було взято по три проби ґрунту на відстані близько 15 м одна від одної у зоні проходу робочих органів без сепаруючої

решітки – для контролю експерименту та по три проби із зони проходження робочих органів з решіткою. Кожну пробу брали з двох шарів обробленого ґрунту, який ділили по глибині на дві рівні частини.

Значення коефіцієнта структурності по прошаркам від швидкості руху установки для різної частоти обертання ротора наведено у табл. 4.7.

Таблиця 4.7. Коефіцієнт структурності ґрунту, обробленого експериментальною установкою в залежності від швидкості її руху

Частота обертання ротора, с ⁻¹	Поступальна швидкість, м/с	Номер повторності	Коефіцієнти структурності ґрунту			
			без решітки		з решіткою	
			верхній шар	нижній шар	верхній шар	нижній шар
1,1	0,440	1	0,80	0,73	1,00	1,30
		2	0,80	0,80	1,00	1,46
		3	0,80	0,80	0,93	1,20
		Середнє	0,80	0,78	0,98	1,32
	0,590	1	0,50	0,56	0,70	0,90
		2	0,50	0,40	0,70	1,00
		3	0,70	0,50	0,80	0,90
		Середнє	0,57	0,49	0,73	0,93
	0,925	1	0,40	1,00	0,80	1,20
		2	0,56	0,86	0,70	1,40
		3	0,50	1,00	0,80	1,30
		Середнє	0,49	0,95	0,76	1,30
2,3	0,925	1	0,30	0,70	1,30	1,47
		2	0,30	0,70	1,36	1,60
		3	0,36	0,86	1,20	1,50
		Середнє	0,32	0,75	1,29	1,52
	1,250	1	0,60	0,50	0,50	1,03
		2	0,66	0,50	0,73	1,00

		Продовження таблиці 4.7				
		3	0,60	0,50	0,50	0,90
Середнє		0,62	0,50	0,57	0,97	
1,940	1	0,96	0,90	0,70	1,00	
	2	0,90	0,80	0,77	1,20	
	3	0,90	0,90	0,70	1,00	
	Середнє	0,92	0,86	0,72	1,06	

Перевірка достовірності отриманих даних з використанням критерію Фішера показала, що вони достовірні з імовірністю 95% (додаток Д). Частка впливу сепаруючої здатності пристрою по глибині обробітку ґрунту становить 32,86%, частка взаємодії сепаруючої здатності та поступальної швидкості руху – 17,06%, вплив наявності сепаруючої решітки – 13,77%. Найменша істотна різниця дорівнювала 0,122.

За результатами експерименту побудовано графіки впливу швидкості руху експериментальної установки на коефіцієнт структурності ґрунту. На рис. 4.7 – 4.10 наведено залежності коефіцієнта структурності ґрунту від поступальної швидкості установки при наявності у ній сепаруючої решітки та без неї.

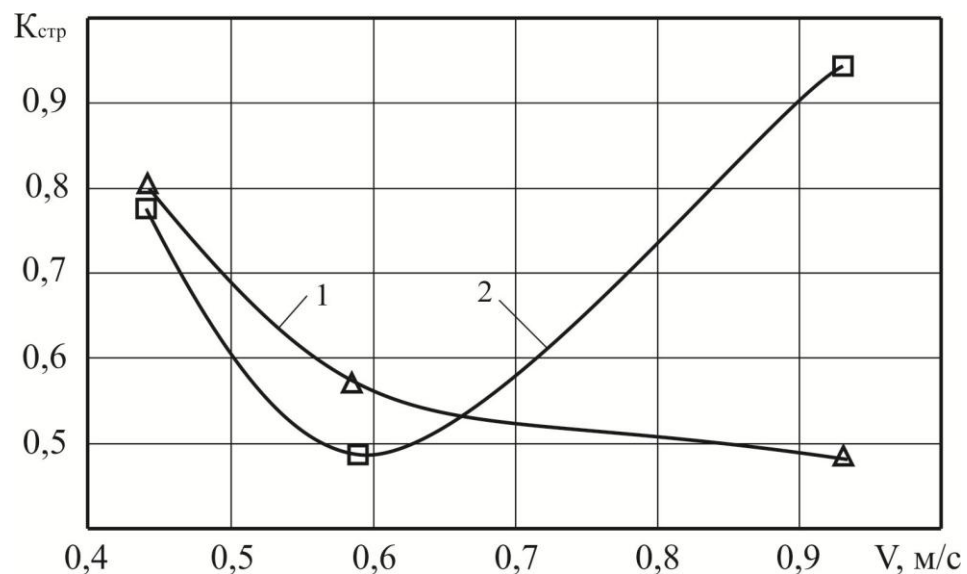


Рис. 4.7. Залежність коефіцієнта структурності ґрунту від швидкості руху установки без решітки при частоті обертання ротора $1,1 \text{ с}^{-1}$: 1 – верхній шар, 2 – нижній шар

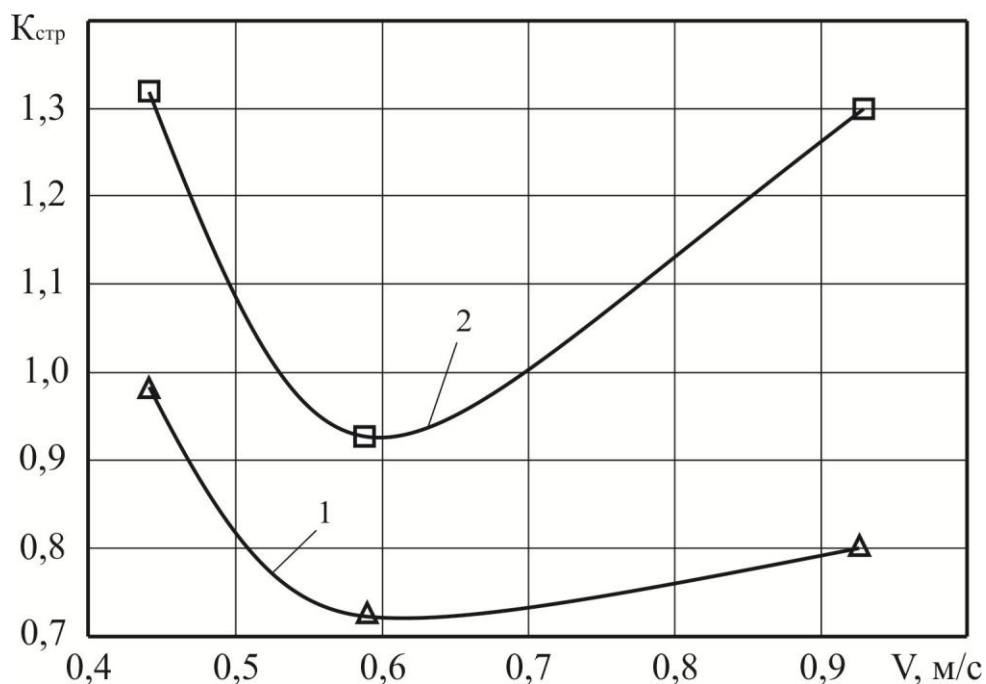


Рис. 4.8. Залежність коефіцієнта структурності ґрунту від швидкості руху установки з решіткою при частоті обертання ротора $1,1 \text{ с}^{-1}$: 1 – верхній шар, 2 – нижній шар

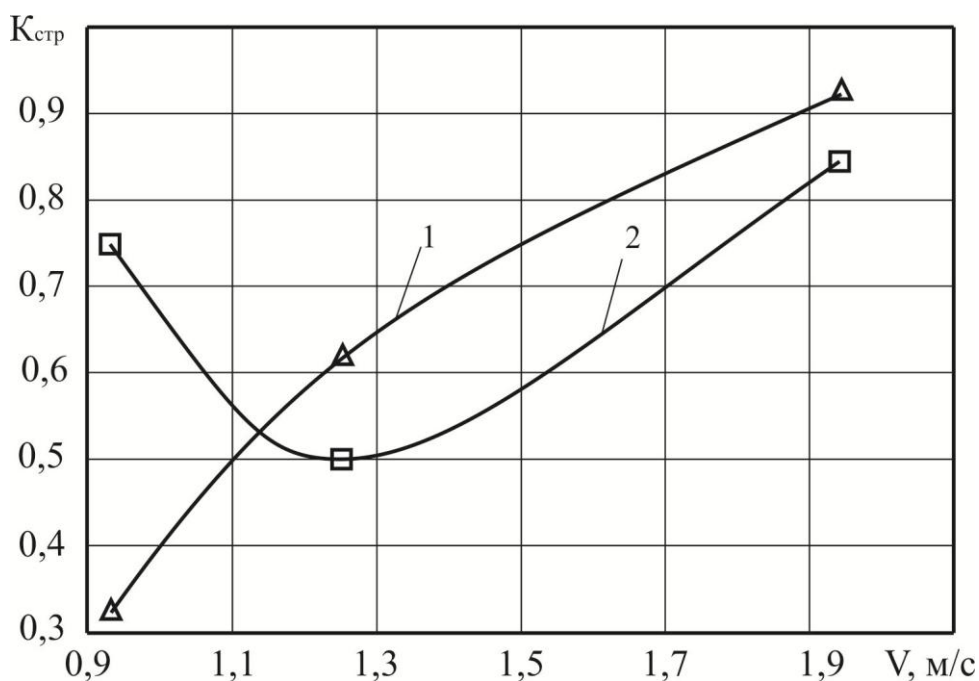


Рис. 4.9. Залежність коефіцієнта структурності ґрунту від швидкості руху установки без решітки при частоті обертання ротора $2,3 \text{ с}^{-1}$: 1 – верхній шар, 2 – нижній шар

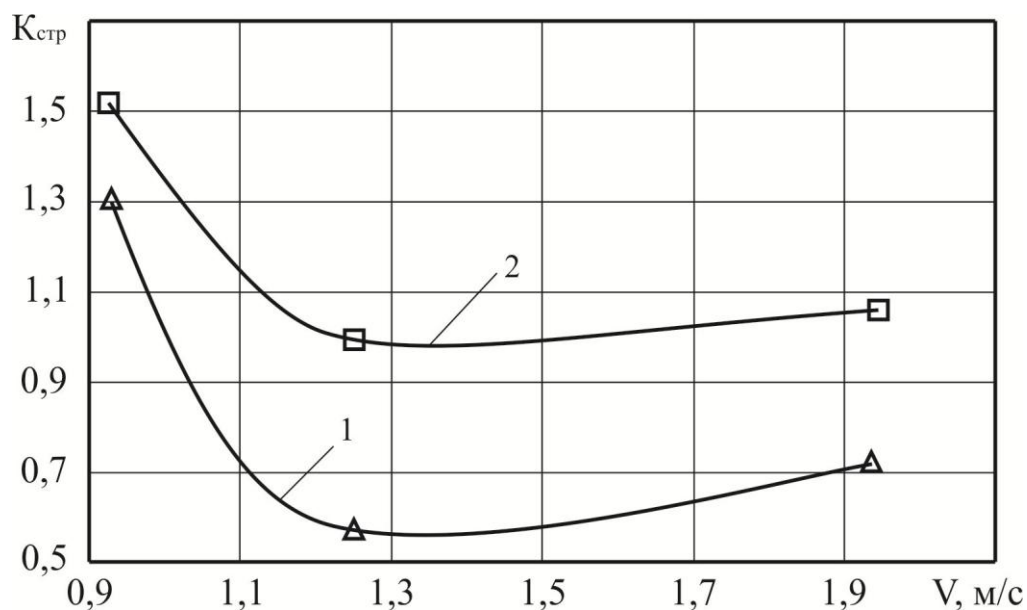


Рис. 4.10. Залежність коефіцієнта структурності ґрунту від швидкості руху установки з решіткою при частоті обертання ротора $2,3 \text{ с}^{-1}$: 1 – верхній шар, 2 – нижній шар

Із рис. 4.7 та 4.8 видно, що при частоті обертання ротора $1,1 \text{ с}^{-1}$ та швидкості руху експериментальної установки до 1 м/с коефіцієнти структурності ґрунту зменшуються зі збільшенням швидкості руху. Після проходження робочих органів з сепаруючою решіткою коефіцієнти структурності були вище, ніж у відповідних точках контрольних проб.

Різниця у коефіцієнті структурності ґрунту без решітки між верхнім та нижнім шарами при швидкості руху установки $0,43 \text{ м/с}$ відсутня, а при швидкості руху $0,93 \text{ м/с}$ становить 22%. Різниця у коефіцієнті структурності ґрунту між верхнім та нижнім шарами при роботі з сепаруючою решіткою при швидкостях руху установки $0,42 \text{ м/с}$ та $0,93 \text{ м/с}$ становить відповідно 35 та 18%.

Збільшення швидкості руху установки при постійному обертанні ротора від $0,43$ до $0,93 \text{ м/с}$ без сепаруючої решітки коефіцієнт структурності ґрунту зменшується приблизно на 31%. При роботі з сепаруючою решіткою у нижньому шарі ґрунту зменшується на 32%, у верхньому – на 22%.

Збільшення швидкості руху від $0,93$ до $1,95 \text{ м/с}$ (див. рис. 4.9) при роботі установки без сепаруючої решітки при частоті обертання ротора $2,3 \text{ с}^{-1}$ коефіцієнт

структурності ґрунту у верхньому шарі зростає приблизно у три рази (від 0,3 до 0,9). Структурний склад у нижньому шарі ґрунту при збільшенні швидкості руху установки від 0,93 до 1,95 м/с знижується на 37%, а при подальшому збільшенні швидкості руху коефіцієнт структурності зростає до 0,85. При швидкості руху вище 1,15 м/с коефіцієнт структурності у верхньому шарі перевищує коефіцієнт структурності нижнього шару ґрунту.

При роботі робочих органів з сепаруючою решіткою (див. рис. 4.10) та при збільшенні швидкості від 0,93 до 1,95 м/с коефіцієнт структурності у верхньому шарі ґрунту знижується на 33%, у нижньому – на 44%. При цьому різниця у коефіцієнті структурності ґрунту у нижньому та верхньому шарах при швидкості руху 0,93 м/с становить 15%, а при швидкості руху 1,95 м/с – 28%.

При порівнянні коефіцієнтів структурності у нижньому шарі ґрунту при роботі установки без сепаруючої решітки та з нею різниця між коефіцієнтами структурності становить від 1,2 до двох разів.

Отже, збільшення частоти обертання ротора від 1,1 до 2,3 с⁻¹ сприяє збільшенню коефіцієнта структурності ґрунту у нижньому шарі приблизно на 10%, та у верхньому – не більше ніж на 2,3%. Порівняння якості роботи установки без сепаруючої та з сепаруючою решітками свідчить про перевагу використання установки за другим варіантом.

4.3.3. Вплив глибини обробки ґрунту

Результати експерименту з вивчення впливу глибини обробки ґрунту на якість його кришіння наведено у табл. 4.8. Аналіз даних таблиці показує, що при використанні на польовій установці експериментальних робочих органів з решіткою сепаруюча здатність ґрунту значно підвищується. Коефіцієнт структурності нижнього шару ґрунту підвищується у середньому у 1,6 рази по відношенню до контролю. Але у поверхневому шарі спостерігається зменшення коефіцієнта структурності по відношенню до контролю у середньому на 25% при зміні глибини обробки ґрунту від 5 до 11 см. Таке співвідношення можна пояснити тим фактом, що при наявності сепаруючої решітки велика кількість

грудок ґрунту розміром 20 мм та більше переміщується на поверхневий шар, зменшуючи тим самим коефіцієнт структурності останнього. У той же час наявність сепаруючої решітки сприяє більш активному кришінню грудок ґрунту та майже повністю виключає з нижнього шару обробленого ґрунту грудки ґрунту розміром більше ніж 20 мм.

Таблиця 4.8. Вплив глибини обробітку ґрунту на коефіцієнт структурності ґрунту

Глибина обробки, м	Шари ґрунту, м	Номер проби	Отримано коефіцієнти структурності		У % до контролю
			без решітки	з решіткою	
0,05	0–0,025	1	2,2	1,7	
		2	1,5	1,3	
		3	1,8	1,5	
		Середнє	1,80	1,50	83,3
	0,025–0,05	1	4,0	3,9	
		2	3,1	3,1	
		3	2,8	3,4	
		Середнє	3,30	3,43	104,0
0,08	0–0,04	1	1,1	0,95	
		2	0,9	1,1	
		3	1,3	0,7	
		Середнє	1,10	0,91	82,7
	0,04–0,08	1	1,4	1,5	
		2	1,1	1,9	
		3	1,3	1,7	
		Середнє	1,26	1,70	134,9
0,11	0–0,055	1	0,6	0,5	
		2	0,9	0,4	
		3	0,6	0,4	
		Середнє	0,70	0,43	61,4

Продовження таблиці 4.8					
	0,055– 0,11	1	0,8	1,3	
		2	0,5	1,4	
		3	0,6	1,6	
		Середнє	0,63	1,43	226,9

Із аналізу видно, що частка впливу глибини обробітку ґрунту є найбільшою та становить 58,48%. Частка впливу сепаруючої здатності по глибині – 21,48% та наявність сепаруючої решітки має частку впливу 0,29%. Достовірність даних становить 95% (додаток Е). Найменша істотна різниця не перевищує 0,333.

При збільшенні глибини обробітку ґрунту коефіцієнти структурності зменшувалися у всіх контрольних точках. При глибині обробки 0,05 м величина коефіцієнтів структурності насінневого шару при наявності сепаруючої решітки практично не відрізнялася. При глибині обробки 0,11 м – наявність сепаруючої решітки забезпечує збільшення коефіцієнта структурності майже в 2,5 рази.

Експеримент підтверджує, що наявність сепаруючої решітки у експериментальній установці забезпечує більш раціональний перерозподіл агрономічно цінних грудок ґрунту по глибині оброблюваного шару.

4.4. Результати проведення випробувань експериментальної установки у польових умовах

Польові випробування експериментальної установки з вивчення показників її роботи, пов'язані зі знищенням бур'янів, проводилися на дослідному полі. У експериментах використовувався агрегат, що складається з трактора Т-150К-08 та експериментальної ґрунтообробної установки.

Для випробування ґрунтообробної установки на луценні було обрано стерню після збирання гречки, загальний вигляд якої наведено на рис. 4.11.



Рис. 4.11. Вид поля після збирання гречки

У процесі обробки ґрунту його вологість становила 24,5%, глибина обробки дорівнювала 5 см, швидкість руху агрегату – 7,3 км/год. Загальний вигляд обробленої стерні наведено на рис. 4.12.





Рис. 4.12. Загальний вигляд обробки стерні

Із рисунку можна зробити висновок про високу якість виконання технологічного процесу лушення. Якість лушення оцінювалась візуально по структурному складу поверхневого шару ґрунту та ступенем подрібнення стерні.

Для передпосівної обробки в якості експерименту було взято ділянку, на якій основна обробка ґрунту була проведена дисковою важкою бороною ДМТ-4. Для висіву квасолі ґрунт обробляли на глибину 6 см при вологості 22%, швидкість руху агрегату становила 8,2 км/год. На рис. 4.13 показано роботу агрегату на передпосівній обробці ґрунту та її результати.



Рис. 4.13. Передпосівна обробка ґрунту

На рис. 4.14 – ділянка, підготовлена під посів квасолі.



Рис. 4.14. Підготовлене поле під висів насіння квасолі

Посів проводився агрегатом, що складається з сівалки СЗ-3,6 та трактора ЮМЗ-6Л.

Загальний вигляд висіву квасолі показано на рис. 4.15.



Рис. 4.15. Загальний вигляд висіву квасолі

Аналіз малюнків показує досить високу якість передпосівного обробітку ґрунту та ефективне знищення бур'янів.

Для проведення експерименту з вивчення можливості використання експериментальної ґрунтообробної установки для знищення бур'янів було обрано ділянку підвищеної засміченості. Висота рослин знаходилась в межах 50–70 см (рис. 4.16).



Рис. 4.16. Ділянка підвищеної засміченості

Після обробки експериментальної установки через три дні ділянку було сфотографовано (рис. 4.17).



Рис. 4.17. Ділянка після обробки

Із рисунку видно, що бур'яни за допомогою експериментальної установки знищені за один прохід агрегату.

На рис. 4.18 показано роботу агрегату на чорному парі, засміченому осотом.



Рис. 4.18. Робота агрегату на чорному парі, засміченим осотом

Глибина обробки становила 8 см, вологість ґрунту – 20%, швидкість руху агрегату – 7,5 км/год. Чорний пар з осені був зораний після збирання сорго на

глибину 22 см та був оброблений експериментальною установкою. Із рисунку видно, що якість обробки із залишками великостеблової культури (сорго) та ступінь знищення осоту є задовільними.

На рис. 4.19 представлено фотографію обробленого пара по закінченню 53 діб.



Рис. 4.19. Вид обробленого пара

Із рисунку видно, що на пару проростає щириця, а рослини осоту відсутні. Загальний вигляд пара після повторної обробки показано на рис. 4.20.



Рис. 4.20. Вид пара після повторної обробки

Отже, використання експериментальної установки для кришіння та сепарації ґрунту дозволило знищити осот за один прохід та за дві обробки протягом літньо-осіннього періоду без застосування хімічних засобів захисту очистити поле від бур'янів.

Загальний вигляд ділянки, засміченої пирієм, показано на рис. 4.21.



Рис. 4.21. Ділянка засмічена пирієм

Ділянка була оброблена експериментальною установкою на глибину 6 см (рис. 4.22).





Рис. 4.22. Ділянка після обробки

Швидкість руху агрегату становила 7,4 км/год, вологість ґрунту – 19%.

На рис. 4.23 показано загальний вигляд обробленої ділянки на третю добу після обробки, з якого видно, що пирій був знищений за один прохід агрегату при відносно високій якості кришіння ґрунту.



Рис. 4.23. Вид обробленої ділянки

На рис. 4.24 показано стан дослідної ділянки через 35 днів після її обробки. Із рисунку видно, що на ділянці відсутні сходи пирію.



Рис. 4.24. Стан ділянки через 35 днів

На рис. 4.25 показано дослідну ділянку, оброблену експериментальною установкою вдруге.



Рис. 4.25. Ділянка оброблена вдруге

Отже, використання ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої установки за один прохід знищує пирій та за дві обробки очищує ділянку від бур'янів.

4.5. Висновки по розділу 4

1. Результати експериментальних даних підтвердили достовірність теоретичних досліджень по обґрунтуванню профілю наральника підрізаюче-підйомного пристрою розрихлювально-сепаруючої ґрунтообробної установки. Наральник з теоретично обґрунтованим профілем, в порівнянні з прямолінійним, має менший тяговий опір на 61,5%.

2. Використання в якості підрізаюче-підйомного органу плоскоріжучої лапи з загнутими вгору крилами знижує бічний зсув ґрунту від стійки та тим самим забезпечує зниження гребнистості ґрунту по відношенню до серійної лапи на 62,6%. Дослідження показали, що робочі органи у вигляді стрілкової лапи з загнутими догори крилами, і встановленими в один ряд зі стиковими проміжками не можуть бути використані для передпосівної обробки ґрунту при співпаданні напрямку руху експериментальної розрихлювально-сепаруючої установки з посівним агрегатом.

3. Вивчення впливу частоти обертання ротора експериментальної розрихлювально-сепаруючої установки на якісні показники її роботи показало, що з ростом частоти обертання ротора коефіцієнт структурності ґрунту збільшується незначно. Наявність в розрихлювально-сепаруючому пристрої пруткової решітки сприяє збільшенню коефіцієнта структурності ґрунту більш ніж в 1,5 рази в порівнянні з варіантом без решітки. Встановлено, що більший вплив на якість обробки ґрунту мають геометричні параметри ножа ротора, менший - частота обертання ротора.

4. Активне подрібнення ґрунту ґрунтообробною експериментальною установкою є ефективним при широкому діапазоні вихідних параметрів щільності будови і вологості поверхневого шару ґрунту. Зі збільшенням частоти обертання ротора виявлена тенденція до зменшення кількості грудочок (>10 мм). Ефективність збільшення частоти обертання підвищується при несприятливих параметрах щільності і вологості ґрунту. Навіть в варіантах з підвищеними параметрами щільності будови (1,3–1,4 г/см³) після проходу експериментальної

установки вдається отримати посівний шар з задовільним вмістом агрономічне корисних грудочок.

5. Збільшення швидкості руху експериментальної розрихлювально-сепаруючої установки від 0,93 до 1,95 м/с сприяє зниженню коефіцієнта структурності ґрунту у верхньому та нижньому шарах відповідно на 33 та 43%. Різниця коефіцієнта структурності ґрунту в нижньому та верхньому шарах при швидкості руху 0,93 м/с становить 15%, а при швидкості 1,95 м/с – 28%. Різниця між коефіцієнтами структурності ґрунту у верхньому та нижньому шарах зі збільшенням швидкості руху машини зростає. Порівняння якості роботи розрихлювально-сепаруючої установки з сепаруючою решіткою та без неї показує переваги використання з решіткою.

6. При збільшенні глибини обробітку ґрунту коефіцієнт структурності ґрунту у верхньому та нижньому шарах знижується. Використання робочих органів з наральниками теоретично обґрунтованої форми з сепаруючою решіткою дозволяє збільшити коефіцієнт структурності ґрунту в нижньому шарі в середньому у 1,6 рази в порівнянні з варіантом без сепаруючої решітки.

7. На якість кришіння ґрунту експериментальної розрихлювально-сепаруючої установки особливий вплив робить вологість та щільність його структури. Зниження якості кришіння ґрунту спостерігається при максимальній щільності (1,3–1,4 г/см³) та мінімальній вологості ґрунту (11,4–14,4%). У таких умовах якість обробки ґрунту підвищується зі збільшенням частоти обертання ротора.

8. Випробування експериментальної розрихлювально-сепаруючої установки у польових умовах показали високу якість оброблюваного шару ґрунту за структурним складом при подрібненні стерні, ефективному знищенню бур'янів, проведенню лушення та при передпосівній обробці ґрунту.

9. Використання ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої установки для оптимізації агрофізичних властивостей ґрунту в умовах чорного пару забезпечує повне його очищення від бур'янів за дві обробки, у тому числі й від коренепаросткових.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

Економічна ефективність проведених у дисертаційній роботі досліджень визначалася результатами використання експериментальної ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої установки у сучасних технологіях вирощування сільськогосподарських культур [153]. Результати теоретичних та експериментальних досліджень були застосовані при розробці та виготовленні ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої машини стратифікатора «Докучаєвська» ПРСМ-5 з шириною захвату 5 м (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Машина ґрунтообробна розрихлювально-сепаруюча «Докучаєвська» ПРСМ-5 (стратифікатор)

Розрахунки економічної ефективності проводилися при використанні експериментальної машини для передпосівного обробітку ґрунту під посіви пропасних культур, при догляді за чорними парами, засміченими коренепаростковими бур'янами.

Розрахунки проводилися згідно технологій вирощування сільськогосподарських культур у порівнянні з використанням сучасної серійної техніки на підставі загальновідомої методики [154]. Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності наведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Вихідні дані для розрахунків економічної ефективності використання ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої машини стратифікатора «Докучаєвська» ПРСМ-5

Найменування витрат	Одиниця виміру	Значення показників
Вартість дизельного палива	грн./т	26000
Заробітна плата механізатора з відрахуваннями	грн./год	100
Амортизаційні відрахування	%	15
Відрахування на ремонт та ТО	%	12,5
Загальногосподарські витрати	%	25
Непередбачені витрати	%	5
Норма внесення гербіцидів	л/га	5
Вартість гербіциду	грн./л	280

Експлуатаційні показники роботи агрегатів з експериментальною та серійною технікою наведені у табл. 5.2.

Таблиця 5.2. Експлуатаційні показники роботи агрегатів

Найменування показників	Одиниця виміру	Склад агрегату	
		з серійними машинами	з експериментальними машинами
Склад агрегату		Т-150К-08 + КПС-8	Т-150К-08 + Машина ґрунтообробна розрихлювально-сепаруюча «Докучаєвська» ПРСМ-5 стратифікатор

Продовження таблиці 5.1			
Ширина захвату агрегату	м	8	5
Швидкість руху агрегату	км/год	9,6	9,6
Вартість агрегату	тис. грн	1230	1290
Річне завантаження трактора	год	1400	1400
Річне завантаження сільськогосподарської машини	га	500	800

5.1. Використання ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої машини стратифікатора «Докучаєвська» ПРСМ-5 для передпосівної підготовки ґрунту під посів пропасних культур

Розрахунки проводилися при підготовці ґрунту під посів квасолі. У зв'язку з тим, що квасоля є культурою пізньої сівби, технологія її вирощування передбачає проведення дворазової культивуації, що забезпечує достатній ефект знищення бур'янів та необхідну якість підготовки ґрунту до її проведення.

Застосовувана ґрунтообробна розрихлювально-сепаруюча машина дозволяє за один прохід агрегату очистити поле від бур'янів та створити оптимальні умови для проростання насіння та розвитку рослини, що підтверджується результатами експериментальних досліджень. Показники економічної ефективності впровадження ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої машини стратифікатора «Докучаєвська» ПРСМ-5 з шириною захвату 5 м на передпосівній підготовці ґрунту під посів квасолі представлені у табл. 5.3.

Аналіз даних табл. 5.3 показує, що впровадження експериментальної ґрунтообробної машини на передпосівній підготовці під посів пізніх сільськогосподарських культур у порівнянні з проведенням обробки ґрунту серійними культиваторами дозволяє знизити витрату палива на 29%, витрати праці – на 36%, собівартість проведення робіт – на 17%.

Таблиця 5.3. Показники економічної ефективності впровадження
 ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої машини стратифікатора
 «Докучаєвська» ПРСМ-5 з шириною захвату 5 м на передпосівній підготовці
 ґрунту під посів квасолі

Найменування показників	Одиниця виміру	Система обробки ґрунту	
		КПС-8	Машина ґрунтообробна розрихлювально-сепаруюча «Докучаєвська» ПРСМ-5 (стратифікатор)
Продуктивність	га/см	33,50	25,50
Витрати палива	кг/га	7,30	5,15
Витрати праці	чол.-год/га	0,42	0,27
Вартість паливо-мастильних матеріалів	грн/га	202,4	142,56
Заробітна плата з нарахуваннями	грн/га	65,72	42,48
Амортизаційні відрахування	грн/га	77,76	85,84
Відрахування на ремонт та ТО	грн/га	71,36	75,6
Інші витрати	грн/га	20,8	17,4
Загальновиробничі витрати	грн./га	109,2	91,04
Страхові витрати	грн./га	23,44	18,4
Собівартість	грн./га	568,00	472,00

5.2. Використання ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої машини стратифікатора «Докучаєвська» ПРСМ-5 при догляді за чорними парами, засміченими коренепаростковими бур'янами

Економічна ефективність визначалася за технологіями догляду за чорними парами, засміченими коренепаростковими бур'янами – осотом та пирієм.

Розрахунки проводилися у порівнянні з використанням сучасних традиційних культиваторів для догляду за парами та застосуванням агрегату з експериментальною ґрунтообробною машиною.

При цьому розглядалися дві технології з використанням серійних сучасних машин із застосуванням механізованої обробки (додаток З) та гербіцидів (додаток І), а також технології з використанням експериментальної ґрунтообробної машини (додаток К).

Загальновідомо, що для знищення коренепаросткових бур'янів тільки механічним способом необхідно сім обробок ґрунту [19]. При використанні експериментальної машини, як показали результати польових досліджень, для знищення бур'янів досить провести дві механічні обробки.

Результати розрахунків витрат для догляду за чорними парами за трьома технологіями наведених у додатках З, І, К представлені у табл. 5.4.

Таблиця 5.4. Результати розрахунків витрат по догляду за чорними парами за трьома технологіями

Найменування показників	Одиниця виміру	Технології механізованої обробки ґрунту з використанням		
		парових культиваторів	парових культиваторів з гербіцидами	«Докучаєвська» ПРСМ-5 с
Витрати праці	чол.-год/га	2,30	1,80	1,42
Витрати палива	кг/га	40,40	26,10	25,80
Заробітна плата з нарахуваннями	грн/га	358,00	257,60	220,80
Вартість паливо-мастильних матеріалів	грн/га	1117,6	721,20	713,60
Амортизаційні відрахування	грн/га	1245,6	1088,40	1162,40
Відрахування на				

	Продовження таблиці 5.4			
ремонт та ТО	грн/га	1076,0	929,60	990,80
Інші витрати	грн/га	189,60	220,00	154,40
Загальновиробничі витрати	грн/га	964,40	1155,20	810,40
Страхові витрати	грн/га	186,80	234,40	144,40
Собівартість робіт	грн/га	5160,0	6008,0	4196,0

Аналіз даних табл. 5.4 показує, що використання експериментальної ґрунтообробної машини у технології чорного пару дозволяє знизити витрати праці по відношенню до технологій з використанням серійних культиваторів типу КПС-4 та при використанні гербіцидів відповідно на 38 та 28%, витрати палива на одиницю виконаної роботи – на 36 та 11%, собівартість робіт – на 19 та 30%.

5.3. Висновки по розділу 5

1. Застосування експериментальної ґрунтообробної машини для передпосівного обробітку ґрунту під посів пропашних культур пізньої сівби, у порівнянні з традиційними комплексами машин, забезпечує зниження витрати палива до 5,15 кг/га, витрат праці – 0,27 чол/га та собівартості виконаних робіт – на 472 грн/га, що по відношенню до використання традиційних способів становить відповідно 29, 36 та 17%.

2. Застосування експериментальної ґрунтообробної машини у технологіях чорного пару, засмічених коренепаростковими бур'янами, дозволяє знизити витрати праці, витрати палива та собівартості у порівнянні з механізованими обробками ґрунту – паровими культиваторами – відповідно на 38, 36 та 19%. При використанні гербіцидів у технологіях чорного пару та застосуванні експериментальної ґрунтообробної машини витрати знижуються відповідно на 21, 11 та 30%.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

В роботі представлені нові науково та експериментально обґрунтовані результати вирішення наукового завдання, яке виявляється в обґрунтуванні параметрів процесу комбінованого технічного засобу для поверхневого обробітку ґрунту.

1. Аналізом літературних джерел виявлено, що найбільш сприятливі умови для проростання насіння та розвитку рослин створюються при диференціації оброблюваного шару ґрунту за структурним складом з перевагою у поверхневому шарі ґрунту грудок розміром від 5 до 20 мм, а у зоні загортання насіння – від 0,25 до 10,0 мм. Для оптимізації агрофізичних властивостей ґрунту у системах поверхневого обробітку ґрунту застосовується ґрунтообробна машина яка дозволяє, у порівнянні з традиційними культиваторами, підвищити коефіцієнт структурності приблизно у 2,5 рази, підтримувати у літній період вологість ґрунту на 1–2% вище, ніж на контролі, та істотно знизити засміченість обробленого шару ґрунту. Однак конструкція робочих органів для підрізання та подачі ґрунту до розрихлювально-сепаруючого пристрою машини та високі витрати енергії на привід ротора не дозволяють використовувати його на ґрунтах підвищеної щільності. Проведений аналіз існуючих конструкції машин для кришіння та сепарації ґрунту дозволяє визначити основні напрямки вдосконалення параметрів процесу обробки ґрунту та параметрів ґрунтообробних робочих органів.

2. Отримано залежності які дозволяють обґрунтувати параметри підрезаюче-підйомних робочих органів, що забезпечують мінімальні витрати енергії на підйом та подачу ґрунту до розрихлювально-сепаруючого пристрою. Доведено взаємозв'язок між тиском ґрунту на робочу поверхню наральника, силою тертя між наральником та ґрунтом, довжиною виділеної ділянки на наральнику, кутом нахилу дотичної до профілю наральника, що дозволило визначити форму наральника мінімального тягового опору. Обґрунтовано профіль наральника мінімальної енергоємності з використанням методу прямого варіаційного

обчислення, який описується кривою, що проходить через задані точки, з заданим початковим кутом та кінцевим кутом у точці прилягання його до стійки.

3. Результати експериментальних даних підтвердили достовірність теоретичних досліджень по обґрунтуванню профілю наральника підрізаюче-підйомного пристрою розрихлювально-сепаруючої ґрунтообробної установки. Наральник з теоретично обґрунтованим профілем, в порівнянні з прямолінійним, має менший тяговий опір на 61,5%.

4. Отримано залежність відносної швидкості руху елемента ґрунту на кінці ножа ротора від кута його нахилу, що дозволило обґрунтувати конструкцію ножа яка забезпечує обертання ротора з мінімальними витратами енергії за умови зменшення розкидання ґрунту та запобігання сгужування його на сепаруючій решітці. Визначено, що при заданих параметрах ножа ротора та частоті його обертання оптимальним можна вважати кут ψ між найбільш пологою дотичною до профілю ножа та прямої, що проходить по неробочій його частини, близький до 142° , при якому розкидання ґрунту та його сгужування на сепаруючій решітці відсутні

5. Вивчення впливу частоти обертання ротора експериментальної розрихлювально-сепаруючої установки на якісні показники її роботи показало, що з ростом частоти обертання ротора коефіцієнт структурності ґрунту збільшується незначно. Наявність в розрихлювально-сепаруючому пристрої пруткової решітки сприяє збільшенню коефіцієнта структурності ґрунту більш ніж в 1,5 рази в порівнянні з варіантом без решітки. Встановлено, що більший вплив на якість обробки ґрунту мають геометричні параметри ножа ротора, менший - частота обертання ротора.

6. На якість кришіння ґрунту експериментальною розрихлювально-сепаруючою установкою особливий вплив робить вологість та щільність складання, тому при щільності ґрунту $1,3-1,4 \text{ г/см}^3$ та мінімальній вологості ґрунту 11,4–14,4% частоту обертання ротора необхідно збільшити до 127 об./хв.

7. Експериментальні дослідження установки у польових умовах показали високу якість обробки ґрунту за структурним складом при подрібненні стерні,

знищенні бур'янів у результаті проведення лушення та передпосівної обробки ґрунту. Експериментальна установка для оптимізації агрофізичних властивостей ґрунту в умовах догляду за чорним паром забезпечує повне його очищення від бур'янів, у тому числі й коренепаросткових, за дві обробки.

8. Використання в якості підрізаюче-підйомного органу плоскоріжучої лапи з загнутими вгору крилами знижує бічний зсув ґрунту від стійки та тим самим забезпечує зниження гребнистості ґрунту по відношенню до серійної лапи на 62,6%. Дослідження показали, що робочі органи у вигляді стрілкової лапи з загнутими догори крилами, і встановленими в один ряд зі стиковими проміжками не можуть бути використані для передпосівної обробки ґрунту при співпаданні напрямку руху експериментальної розрихлювально-сепаруючої установки з посівним агрегатом.

9. Застосування експериментальної ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої установки для передпосівної обробки ґрунту під посів сільськогосподарських культур пізньої сівби дозволяє знизити витрати на 96 грн/га порівняно з застосуванням традиційних парових культиваторів. Зниження витрат на утримання чорного пару засмічених коренепаростковими бур'янами при використанні експериментальної машини дозволяє знизити витрати порівняно з застосуванням традиційних знарядь на 964 грн/га, а в порівнянні з гербіцидними технологіями – на 1800 грн/га.

10. Параметри робочих органів експериментальної установки для оптимізації фізико-механічних властивостей ґрунту передані машинобудівному підприємству «Укр. Агро-сервіс» для розробки конструкторської документації та впровадження машини у виробництво.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Елизаров В. П. и др. Исходные требования на технологические операции в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2011. – №. 1. – С. 11-14
2. Буклагина Г. В. Тенденции развития сельскохозяйственной техники за рубежом // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. – 2005. – №. 3. – С. 665-665.
3. Измайлов А. Ю., Лобачевский Я. П. Инновационные механизированные технологии и автоматизированные технические системы для сельского хозяйства // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем. – 2012. – С. 31-44.
4. Бледных В. В. Устройство, расчет и проектирование почвообрабатывающих орудий // Челябинск. – 2010. – С. 53-60.
5. Шпаковский Н. Эволюция технологий обработки почвы // Тризба – Режим доступа: <http://www.trizland.ru/trizba.php>. – 2007.
6. Пащенко В. Ф., Сыромятников Ю.Н. Почвообрабатывающая приставка к зерновой сеялке в технологиях «No till» // Аэкономика: экономика и сельское хозяйство, 2018. №3 (27). – С. 6.
7. Демчук Е. В., Союнов А. С. Совершенствование технологии возделывания сельскохозяйственных культур // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – №. 2. – С. 242-246.
8. Буденный Ю.В. Влияние отдельных агротехнических приемов на урожайность и качество зерна озимых культур и ярового ячменя / Ю.В. Буденный, А.К. Кононыхин, Н.Д. Дьяконов // Пути повышения урожайности зерновых культур в Восточной Лесостепи: сб. науч. тр. – К., 1985. – С. 24-37.
9. Forkuo E. K., Nketia A. K. Digital Soil Mapping in GIS Environment for Crop-Land Suitability Analysis //International journal of geomatics and geosciences. – 2011. – Т. 2. – №. 1. – С. 133.

10. Wanphen S., Nagano K. Experimental study of the performance of porous materials to moderate the roof surface temperature by its evaporative cooling effect // *Building and Environment*. – 2009. – Т. 44. – №. 2. – С. 338-351.

11. Боровой Е. П., Некрасова В. В. Теоретическое обоснование передвижения влаги в почве // *Дальневосточный аграрный вестник*. – 2014. – №. 4. – С. 17-20.

12. Золотовская Е. В., Миронов А. С. Модель количественной влаги при изменяющихся теплофизических параметрах почвы // *Механізація і електрифікація сільського господарства*. – 2012. – №. 96. – С. 645-652.

13. Ryspekhov T. R. The functions of cracks in the summer on soils of steppe zone Kazakhstan // *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. – 2012. – №. 4. – С. 93-97.

14. Джаманбаев Б. С. Эколого-мелиоративные основы разработки ресурсоводосберегающей ирригационной системы орошения // *Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева*. – 2008. – №. 2. – С. 261-270.

15. Полуэктов Р. А., Опарина И. В., Терлеев В. В. Три способа расчета динамики почвенной влаги // *Метеорология и гидрология*. – 2003. – Т. 11. – С. 90-98.

16. Байдюк М. І. Особливості акумулятивного ґрунтоутворення за нульового обробітку чорноземів Степу Донбасу : дис. – ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01. 03 «Агроґрунтознавство і агрофізика» / МІ Байдюк. – Харків, 2004. – 19 с.

17. Будьонний Ю. В., Шевченко М. В. Сучасна система обробітку ґрунту в польових сівозмінах господарств Харківської області. – Харків, 2004. – 33 с.

18. Черкасов Г. Н., Пыхтин И. Г., Гостев А. В. Возможность применения нулевых и поверхностных способов основной обработки почвы в различных регионах // *Земледелие*. – 2014. – №. 5. – С. 13-16.

19. Харченко О. В. Ресурсне забезпечення та шляхи оптимізації умов вирощування сільськогосподарських культур у Лісостепу України: Монографія // Суми: ВТД "Університетська книга. – 2005. – 262 с.

20. Еколого-біологічні та технологічні принципи вирощування польових культур / В. Д. Паламарчук, О. В. Климчук, І. С. Поліщук, О. М. Колісник, А. Ф. Борівський. – Вінниця, 2009. – 636 с.

21. Круть В.М. Влагосберегающие приемы обработки почвы и ухода за черным паром / В.М. Круть, И.А. Пабат, Н.Н. Рашко // Земледелие. – 1987. – № 10. – С. 40-42.

22. Петриченко Є. А. Розроблення конструктивно-технологічної схеми агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення з одночасною сівбою зернових культур // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету [Електронний ресурс]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2016. – Вип. 6, Т. 3. – Режим доступу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-index.html>. Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ. – С. 22.

23. De Leenheer L., De BOOdt M. b) Methods for Soil Structure Determination // Boden und Düngemittel. – 2013. – Т. 2. – С. 197.

24. Горбань В. А. Співвідношення екологічних функцій ґрунтів та їх екологічних властивостей // Ґрунтознавство. – 2008. – № 9, № 1-2. – С. 124-127.

25. Дегтярьов В. В., Распопіна С. П. Гранулометричний склад як індикатор з оцінки лісорослинного потенціалу піщаних ґрунтів України // Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія: Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство. – 2015. – № 1. – С. 150-156.

26. Kovalenko N. P. Еволюція використання знарядь обробітку ґрунту у вітчизняному землеробстві // История науки и техники. – 2016. – № 8. – С. 129-139.

27. Carter M. R. Soil quality for sustainable land management // Agronomy journal. – 2002. – Т. 94. – № 1. – С. 38-47.

28. Pulleman M. et al. Effects of organic versus conventional arable farming on soil structure and organic matter dynamics in a marine loam in the Netherlands // *Soil use and Management*. – 2003. – Т. 19. – №. 2. – С. 157-165.
29. Пабат І.А. Грунтозахисна система землеробства / І.А. Пабат. – К.: Урожай, 1992. – 158 с.
30. Nortcliff S. Standardisation of soil quality attributes // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2002. – Т. 88. – №. 2. – С. 161-168.
31. Hamza M. A., Anderson W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions // *Soil and tillage research*. – 2005. – Т. 82. – №. 2. – С. 121-145.
32. Медведев В.В. Почвенно-екологічні умови вирощування сільськогосподарських культур / В.В. Медведев. – К.: Урожай, 1991. – 173 с.
33. Медведев В. В. Структура ґрунту (методи, генезис, класифікація, еволюція, географія, моніторинг, охорона) // Х.: Изд-во. – 2008. – Т. 13. – С. 371-390.
34. Польовий А. М., Божко Л. Ю., Дронова О. О. Агрокліматична оцінка змін режиму зволоження території України // *Український гідрометеорологічний журнал*. – 2014. – №. 15. – С. 93-101.
35. Medvedev V. V. et al. Фізична деградація (знеструктурування і переущільнення) – чинник сучасного землеробства, що погіршує екологічне і продукційне функціонування ґрунту // *Gruntoznavstvo*. – 2017. – Т. 18. – №. 1-2. – С. 5-23.
36. Zhang G. S. et al. Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage // *Soil and Tillage Research*. – 2007. – Т. 92. – №. 1-2. – С. 122-128.
37. Chamizo S. et al. Biological soil crust development affects physicochemical characteristics of soil surface in semiarid ecosystems // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2012. – Т. 49. – С. 96-105.

38. Neave M., Rayburg S. A field investigation into the effects of progressive rainfall-induced soil seal and crust development on runoff and erosion rates: The impact of surface cover // *Geomorphology*. – 2007. – Т. 87. – №. 4. – С. 378-390.

39. Савельев Ю.А., Кухарев О.Н., Ларюшин Н.П., Ишкин П.А., Добрынин Ю.М. Снижение потерь почвенной влаги на испарение // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N1. С. 42-47. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-1-42-47

40. Цилюрик О., Судак В., Шапка В. Продуктивність короткоротаційної сівозміни залежно від системи обробітку ґрунту на фоні суцільного мульчування післяжнивними рештками // *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. – 2015. – №. 8. – С. 66-72.

41. Фостолович В. А. Економічний механізм раціонального використання та охорони земельних ресурсів [Електронний ресурс] // Фостолович ВА, Приймак ЛВ–Режим доступу: <http://econjournal.vsau.org/files/pdfa/855.pdf>. – 2012.

42. Піковська О. В. Оцінка запасів продуктивної вологи чорнозему звичайного за різних систем обробітку ґрунту [Електронний ресурс] // *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів та природокористування України*. – 2012. – №. 6. – С. 35.

43. Пастухов В. І. и др. До обґрунтування енергозберігаючої механізованої технології виробництва картоплі в Лісостеповій зоні України // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. – 2014. – №. 148. – С. 106-114.

44. Сірий І. О. Передумови основного обробітку ґрунту шляхом створення деформацій розтягування-вигину і зсуву // *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. – 2016. – №. 4. – С. 171-181.

45. Гуков Я.С. Деякі аспекти проблеми підготовки ґрунту під цукровий буряк / Я.С. Гуков // *Зб. наук. праць НАУ*. – Т.2 – К.: НАУ, 1997. – С.18-20.

46. Обоснование параметров и результаты исследований макетов чизельных плугов-глубококорыхлителей / В.А. Юзбашев, В.И. Скорик, Ю.А. Кузнецов, Г.В.

Пмошев // Исслед. и разраб. высокопроизвод. мелиор. почвообраб. и посевных машин. – М., 1986. – С. 46-50.

47. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту / Я.С. Гуков // Технологія і техніка. – К.: Норапринт, 1999. – 279 с.

48. Гуков Я.С. Проблеми обробітку ґрунту і шляхи їх розв'язання / Я.С. Гуков // Вісн. аграр. науки, 1996. – № 1. – С. 28-30.

49. Чумак В. С. Наукове обґрунтування ефективності сівозмін і добрив у Північному Степу України // Д., 2001. – 435 с.

50. Пащенко В.Ф. Теория воздействия рабочих органов орудий на почву [Текст]: Монография / В.Ф. Пащенко, С.И. Корниенко, Н.П. Гусаренко. – Харьков: ХНАУ, 2013. – 90 с.

51. Ebert F. Back plow blade construction : пат. 5715613 США. – 1998.

52. Coffin J., Reynolds T., Rhett T. Elastomeric, cord-reinforced plow edge and plow flap : заяв. пат. 10108042 США. – 2003.

53. Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977.

54. Zhu L. et al. An improved horizontally reversible plow design based on virtual assembly semantics and constraint //Journal of Mechanical Science and Technology. – 2016. – Т. 30. – №. 1. – С. 257-266.

55. Swartzendruber J. A., Rehn G. A., Self E. C. Plow frame : заяв. пат. 06509908 США. – 1985.

56. Ушкаренко В. О., Лазер П. Н., Лавренко С. О. Шляхи зменшення енергоємності обробітку ґрунту під проміжні культури в зрошуваних сівозмінах південного степу України //Таврійський науковий вісник. – 2010. – №.72. – С.3-10.

57. Мирзаев Б. С., Маматов Ф. М. Противозерозионная технология гребнисто-ступенчатой вспашки и плуг для ее осуществления // Природообустройство. – 2015. – №. 2. – С. 81-84.

58. Chen C. C. A., Chen Jr R. Nanopattern Fabrication by Tip Plowing Technology on 55 nm Grating with Stitching Image Method //Journal of nanoscience and nanotechnology. – 2010. – Т. 10. – №. 7. – С. 4411-4416.

59. Маматов Ф. М. и др. Комбинированный фронтальный плуг // Сельский механизатор. – 2011. – №. 10. – С. 10-11.
60. Murtozevich M. F., Ilxomovich K. U. Energy-resource saving machine for preparing soil for planting root crops on ridges // European science review. – 2016. – №. 11-12.
61. Сало В. М. и др. Аналіз процесів чизелювання ґрунтів з застосуванням різних комбінацій робочих органів // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2015. – №. 45 (1). – С. 126-132.
62. Марущак А. М., Тиш М. А., Шевчук І. І. Особливості обробітку ґрунту під кукурудзу в умовах зональної технології її вирощування // Збірник наукових праць подільського державного аграрно-технічного університету. – 2015. – Т. 2. – №. 23. – С. 158-167.
63. Шабала М. О., Чорна Т. С. Система обробітку ґрунту при вирощуванні органічної продукції // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2012. – №. 2, Т. 5. – С. 238-246.
64. Пащенко А. Останніми роками аграрії Полтавщини засівають свої лани лише зерном високих репродукцій // Зерно і хліб. – 2014. – №. 1. – С. 9-12.
65. Кирилюк В. П. Урожайність пшениці озимої залежно від систем основного обробітку ґрунту та удобрення // Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. – 2017. – №. 1 (1). – С. 63-69.
66. Пащенко В.Ф., Сиромятников Ю.М. Вплив локального розпушування ґрунту на врожайність сої // Зернові культури. – 2017. – Том 1. – №2 . – С. 329-337.
67. Kornienko, S. I. Obosnovanie parametrov chizelnykh rabochikh organov / S. I. Kornienko, V. F. Pashchenko [et.] // Inzheneriya prirodokoristuvannya. – 2014. – V. 1, Iss. 1. – P. 74-79.
68. Пархоменко Г. Г. и др. Исследование универсального чизеля в полевых условиях // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – №. 5. – С. 8-12.

69. Гармашов В. М. и др. Влияние основной обработки почвы на агрофизические свойства миграционно-мицелярных агрочерноземов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2017. – №. 3. – С. 26-29.

70. Медведев В. В. Физические свойства и характер залегания плужной подошвы в разных типах пахотных почв // Почвоведение. – 2011. – №. 12. – С. 1487-1487.

71. Хадеев Т. Г., Шакиров Р. С., Шайтанов О. Л. Пахать или не пахать? // Защита и карантин растений. – 2007. – №. 3. – С. 22-25.

72. Кирюшин В. И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований // Земледелие. – 2013. – №. 7. – С. 3-6.

73. Новохатский В. М., Шапров М. Н. Совершенствование технологии внутрипочвенного внесения основной дозы твердых минеральных удобрений при безотвальной обработке почвы // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2008. – №. 1. – С. 16-22.

74. Ленточкин А. М., Ширококов П. Е., Ленточкина Л. А. Нулевая, минимальная или отвальная обработка почвы // Земледелие. – 2016. – №. 3. – С. 9-13.

75. Едимеичев Ю.Ф. Оптимизация и экологизация зональной системы обработки почвы в Красноярском крае // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2017. – №. 7. – С. 16-23.

76. Гончарова А. Ю. Роль отвальной обработки почвы при выращивании озимой пшеницы в Ростовской области // Научно-методический электронный журнал Концепт. – 2016. – Т. 11. – С. 336-340.

77. Новохацький М., Бондаренко О., Гусар І. Динаміка запасів продуктивної вологи і щільності ґрунту залежно від системи основного обробітку та вирощуваної культури // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – 2016. – №. 20. – С. 335-344.

78. Жеребко В. М. Хімічний метод контролю забур'яненості посівів в інтенсивних технологіях вирощування сільськогосподарських культур // Карантин і захист рослин. – 2014. – №. 2. – С. 22-24.

79. Мельник В. И., Лукьяненко А. В., Смицкая С. В. Аргументированный выбор поверхностно-активного вещества для внутрипочвенного внесения химических средств защиты растений // Якість технологій та освіти. – 2011. – №. 2. – С. 117-119.

80. Мельник В. И. Внутрипочвенное внесение жидкостей в растениеводстве: Монография // Харьков: «Міськдрук». – 2010.

81. Дудкин И. В., Шмат З. М. Системы обработки почвы и сорняки // Защита и карантин растений. – 2010. – №. 8. – С. 28-30.

82. Сабитов М. М. Влияние разных уровней интенсификации на продуктивность яровой пшеницы // Пермский аграрный вестник. – 2016. – №. 4 (16). – С. 48-55.

83. Шевченко М.С. Борьба с сорняками при интенсивной почвозащитной технологии возделывания кукурузы: дис. ... канд. с.-х. наук / М.С. Шевченко. – Днепропетровск, 1984. – 158 с.

84. Сало В. Не плуг і не плоскоріз / В.Сало, П. Сисолін // Сільськогосподарська техніка України. – 1997. – №1. – С. 14-15.

85. Борисенко И.Б. Развитие чизельных почвообрабатывающих орудий и их теоретическое обоснование [Текст] / И.Б. Борисенко, В.И. Пындак, А.Е. Новиков // Машинотехнологическая станция. – 2012. – № 3. – С.16-20.

86. Rusu T. et al. Implications of minimum tillage systems on sustainability of agricultural production and soil conservation // Journal of Food, Agriculture & Environment. – 2009. – Т. 7. – №. 2. – С. 335-338.

87. Адамчук В., Погорілий С. Використання автомобільного шасі на внесенні добрив // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – 2016. – №. 20. – С. 62-70.

88. Медведєв В. В. Новітні технології і знаряддя обробітку для збереження фізичних властивостей ґрунтів // Вісник аграрної науки. – 2013. – №. 8. – С. 5-9.
89. Sijtsma C. H. et al. Comparative tillage costs for crop rotations utilizing minimum tillage on a farm scale // Soil and Tillage Research. – 1998. – Т. 49. – №. 3. – С. 223-231.
90. Шевченко М. В. Системи обробітку ґрунту // Землеробство. – 2008. – №. 80. – С. 33-39.
91. Лещенко С. М., Сало В. М. Технічне забезпечення збереження родючості ґрунтів в системі ресурсозберігаючих технологій // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2013. – №. 43 (1). – С. 96-102.
92. Мельник В. И. Эволюция систем земледелия-взгляд в будущее // Земледелие. – 2015. – №. 1. – С. 8-12.
93. Лобков В. Т., Плыгун С. А. Приоритетные направления развития земледелия // Вестник аграрной науки. – 2012. – Т. 34. – №. 1. – С. 2-6.
94. Косолап М. П. Система землеробства No-till // К.: Логос. – 2011. – С. 352.
95. Єщенко В. О. No-Till технологія: її сьогодення та майбутнє // Вісник Уманського національного університету садівництва. – 2013. – №. 1. – С. 2.
96. Ільченко В. Ю. и др. Переваги та недоліки NO-TILL системи // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2013. – №. 43 (2). – С. 101-108.
97. Яворов В. и др. No-Till чи оранка: вибирає кожен // Техніка і технології АПК. – 2014. – №. 7. – С. 27-31.
98. Lykhovyd P. V., Lavrenko S. O. Influence of tillage and mineral fertilizers on soil biological activity under sweet corn crops // Ukrainian Journal of Ecology. – 2017. – Т. 7. – №. 4. – С. 18-24.
99. Кант Г. Земледелие без плуга. Предпосылки, способы и границы прямого посева при возделывании зерновых культур / Г. Кант; пер. с нем. Е.И. Кошкина. – М.: Колос, 1980. – 157 с.

100. Сало В., Лузан Л. Напрями вдосконалення технічного забезпечення новітніх технологій прямої сівби зернових культур // Техніка і технології АПК. – 2014. – №. 9. – С. 14-17.

101. Лузан О. Р. и др. Польові випробовування експериментальної сівалки прямого посіву зернових культур // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2012. – №. 25 (2). – С. 348-353.

102. Павлюченко І. С. Умови експлуатації, види і причини відмов робочих органів сівалок прямого посіву // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2014. – №. 4, Т. 1. – С. 41-48.

103. Маринюк А. Ю. Інноваційні технології no-till в сільському господарстві як основа підвищення ефективності аграрного виробництва // Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. – 2013. – №. 83. – С. 219-226.

104. Прасолов Є. Я., Беловол Ю. Ю. Аналіз знарядь для виконання передпосівної обробки // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – 2012. – №. 11 (2). – С. 245-250.

105. Черевко І. В. Вплив еколого-економічних факторів на інтенсифікацію використання земельних ресурсів // Вісник Харківського національного університету імені ВН Каразіна. Серія: Екологія. – 2015. – №. 12. – С. 21-25.

106. Соколік С. П. Порівняльний аналіз ефективності технологій вирощування озимої пшениці // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. – 2016. – №. 10 (2). – С. 59-63.

107. Красноруцький О. О., Грищенко В. А., Барчан К. М. Організаційно-економічний інструментарій управління інноваційним розвитком аграрних підприємств рослинницького напрямку // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2017. – №. 185. – С. 173-183.

108. Данкевич Є. М. Інноваційна складова діяльності інтегрованих структур в галузі рослинництва // Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. – 2012. – №. 1 (2). – С. 276-285.

109. Кухаренко П. М., Липка О. Ю. Обґрунтування вимог до робочих органів посівних машин для енергозберігаючих технологій // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2013. – №. 13, т. 6. – С. 172-177.

110. Карпенко А. М. Сучасний стан та проблеми використання сільськогосподарських угідь в Україні // Економіка та управління АПК. – 2013. – №. 10. – С. 82-87.

111. Шевченко М. В. Результати застосування “No-till” технологій в умовах лівобережного лісостепу // Вісник Дніпропетровського ДАУ. – 2009. – №. 1. – С. 32-35.

112. Сайко В. Актуальні проблеми землеробства: простих шляхів мінімалізації ґрунту не буває / В. Сайко // Техніка АПК. – 2008. – № 1. – С. 8-14.

113. Будьонний Ю.В., Шевченко М.В. Ґрунтозахисна ресурсозберігаюча система основного обробітку ґрунту під культури в польових сівозмінах для умов лівобережного Лісостепу України / Ю.В. Будьонний, М.В. Шевченко // Вісник Львівського ДАУ, серія «Агрономія». – 2004. – № 8 – С. 67-72.

114. Рудь А. В. et al. Агроконструкційний технологічний аналіз сівалок вітчизняного виробництва для технології NO TILL // Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. – 2011. – №. 19. – С. 490-493.

115. Лебідь Є. М., Цилюрик О. І. Відтворення родючості чорноземів та продуктивність короткоротаційних сівозмін Степу залежно від системи мульчувального обробітку ґрунту // Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони. – 2014. – №. 6. – С. 8-14.

116. Лапина В. В., Смолин Н. В., Жемчужина Н. С. Роль предшественников в снижении поражаемости яровой пшеницы корневыми гнилями // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – №. 1. – С. 29-33.

117. Лапина В. В. и др. Влияние инфицированности семян на формирование урожайности зерна яровой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – №. 3. – С. 30-32.

118. Бокина И. Г. Влияние предшественников на численность злаковых тлей и их энтомофагов в северной лесостепи Приобья // Вестник защиты растений. – 2007. – Т. 2. – С. 44.

119. Зубенок О. В. Вплив способів основного обробітку на вміст гумусу в чорноземі типовому та біологічну активність ґрунту // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агронія і біологія. – 2012. – №. 2. – С. 94-97.

120. Храмов Н.С. Качественные показатели работы экспериментальной почвообрабатывающей установки с применением гибкого рабочего органа // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 6 (164). – С. 177-186.

121. Козаченко О. В., Каденко В. С., Шкрегаль О. М. Теоретичне обґрунтування раціональної геометричної форми леза лапи культиватора // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. – 2016. – №. 10 (1). – С. 48-52.

122. Коломієць С. М. Обґрунтування параметрів культиваторів-розпушників для передпосівного обробітку ґрунту // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2014. – №. 145. – С. 75-81.

123. Ясенецький В. и др. Новинки сільськогосподарської техніки на виставці Агро 2012 // Техніка і технології АПК. – 2012. – №. 12. – С. 44-46.

124. Шведик М. С. Аналіз одноопераційних робочих органів для поверхневого обробітку ґрунту і заробки насіння та їх синтез // Сільськогосподарські машини. – 2013. – №. 24. – С. 426-439.

125. Гринченко О. С. и др. Теоретичний аналіз автоколивань ґрунтообробних органів на пружній підвісці з урахуванням стохастичних факторів // Технічний

сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2016. – №. 5. – С. 222-226.

126. Петренко М. М., Марченко Т. К., Носуленко В. І. Вибір форми робочих органів адаптивного розпушувача ґрунту // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2012. – №. 42 (1). – С. 134-139.

127. Рыжих Николай Егорович Способ обработки почвы с просеиванием мелкой фракции под отвал и конструкция плуга для его осуществления // Научный журнал КубГАУ - Scientific Journal of KubSAU. – 2004. – №07. – С. 78-82.

128. Блохин В. Н., Никитин В. В., Синяя Н. В. РАБОЧИЙ ОРГАН ФРЕЗЫ // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – №. 4. – С. 64-68.

129. Сиромятников Ю. М. Вдосконалення робочих органів для підрізання та підйому ґрунту розрихлювально-сепаруючою машиною // Інженерія природокористування. – 2017. – №. 2 (8). – С. 74-77.

130. Сыромятников Ю.Н. Повышение эффективности технологического процесса движения почвы по лемеху почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины. // Сельское хозяйство. – 2017. – № 1. – С.48–55. DOI: 10.7256/2453-8809.2017.1.22037.

131. Сокол С. П. Викопування коренеплодів удосконаленим копачем вібруючої дії // Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. – 2015. – №. 3. – С. 76-78.

132. Марчук Д. В. Обґрунтування напрямків досліджень робочих органів для викопування крихких коренеплодів цикорію // Механізація і електрифікація сільського господарства. – 2012. – №. 96. – С. 723-728.

133. Панов И.М. Перспективные направления создания комбинированных почвообрабатывающих и посевных машин (обзор) / И.М. Панов, Ю.А. Кузнецов – М.: ЦНИИТЭИ, 1973. – 45 с.

134. Пащенко В.Ф. Механико-технологические средства эколого-экономического усовершенствования процессов обработки почвы: дис. ... д-ра техн. наук / Пащенко Владимир Филимонович. – Х., 2005. – 335 с.

135. Пащенко В.Ф. Снижение энергоемкости комбинированной машины для обработки почвы и посева / В.Ф. Пащенко, М.И. Онишко // Механизация и электрификация сел. хоз-ва: сб. науч. тр. УНИИМЭСХ. – Вып. 70. – К., 1989. – С. 17-20.

136. Результаты полевых испытаний комбинированной машины для обработки почвы и посева / [В.Ф. Пащенко, И.Н. Дорожко, М.И. Онишко и др.] // Пути развития механизации производства зерна в УССР: тез. докл. респ. научно-технической конференции. Госагропром УССР. УНИИМЭСХ. – Глеваха, 1988.

137. Пащенко В.Ф. О параметрах рабочих органов комбинированной машины / В.Ф. Пащенко, И.Н. Дорожко // Совершенствование конструкций, улучшение ремонта и эксплуатации сельскохозяйственной техники: сб. науч. тр. / Харьк. с.-х. ин-т им. В.В. Докучаева. – Т. 312. – Х., 1985. – С. 15-19.

138. Пащенко В.Ф. Предпосевная обработка почвы и выравнивание поверхности поля / В.Ф. Пащенко, П.И. Слободюк, К.И. Баглай // Информ. листок № 112–90 / ХЦНТИ.

139. Сыромятников Ю.Н. Обоснование формы наральника минимального тягового сопротивления. // Сільськогосподарські машини. – 2018. – № 39. – С. 117–132.

140. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Оптимальный профиль передней поверхности чизельного рабочего органа // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – № 12(2). – С. 26-30. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-2-26-30>

141. Пащенко В.Ф. Моделирование взаимодействия с почвой рабочих органов сельскохозяйственных машин и орудий: монография / В.Ф. Пащенко / Харьк. гос. аграр. ун-т им. В.В. Докучаева. – Х., 1994. – 134 с.

142. Смирнов В.И. Вариационное исчисление / В.И. Смирнов, В.И. Крылов, Л.В.Канторович. – Л., 1933. – 204 с.

143. Сыромятников Ю.Н. Совершенствование рабочих органов ротора рыхлительно-сепарирующей почвообрабатывающей машины обеспечивающих минимальные затраты энергии на его работу // Инженерія природокористування. – 2018. – № 1 (9). – С. 91-95.

144. Лімонт А. С. Зусилля, що діють на робочі органи, та споживана потужність машин з активним приводом // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2006. – №. 2 (37). – С. 9-15.

145. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1968. – 375 с.

146. Безруков А. В. и др. Повышение эффективности функционирования самоходной малогабаритной почвообрабатывающей фрезы // Труды ГОСНИТИ. – 2012. – Т. 110. – С. 100.

147. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. – К.: Изд-во УАСХН, 1960. – 284 с.

148. Нанка А.В., Сыромятников Ю.Н. Влияние частоты вращения ротора почвообрабатывающей машины на качественные показатели её работы. // Агротехника и энергообеспечение. – 2018. – № 2 (19). – С.101–116.

149. Сыромятников Ю.Н. Результаты полевых исследований роторной почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины с экспериментальными рабочими органами. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 5 (163). – С.184–193.

150. ОСТ–70.2.15–73. Испытание сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний [Текст]. – М.: Союзсельхозтехника, 1974.

151. Плескачѳв Ю. Н., Сухова О. В. Борьба с сорной растительностью в полевых севооборотах Волгоградской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – №. 3. – С. 24-27.

152. Курдюкова О. Н., Тыщук Е. П. Эффективность механических и интегрированных систем контроля сорняков в посадках картофеля // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – №. 3. – С. 88-91.

153. Сыромятников Ю.Н. Показатели качества работы почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. №3. С. 38-44. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-3-38-44

154. Бідило М. І., Пащенко В. Ф., Ульяновченко О. В. Економіко-екологічні засади раціонального формування та використання машинно-тракторного парку. – 2010.

155. Исследование систем и устройств автоматики методом планирования эксперимента / А.Е. Егоров, Г.Н. Азаров, А.В. Ковалель; Под.ред. В.Г. Воронова. – Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986. – 240 с.

156. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рошин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

157. Башняк И. М., Шаршак В. К., Башняк С. Е. Исследование формы бокового профиля ножа для рыхления междурядий пропашных культур // Ресурсосбережение и адаптивность в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур и переработки продукции растениеводства. – 2018. – С. 299-301.

158. Шаршак В.К. Мелиоративные почвообрабатывающие орудия: Теория и расчет / В.К. Шаршак, Г.В. Суслов; Новочерк. инж.-мелиор. ин-т. – Новочеркасск, 1993. – 131 с.

159. Сторчак С.В. Исследование энергетических и технологических показателей рыхлительных лап для обработки пропашных культур: Автореф. дис.... канд. техн. наук. – Кишинев, 1985. – 22 с.

160. Лукьянов А.Д. Оптимальная форма режущего элемента фрезы / А.Д. Лукьянов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. -1983. - № 10. – с. 18-20.

«ЗАТРЕРДЖУЮ»
Ректор
Харківського національного
технічного університету сільського
господарства ім. Петра Василенка
к. техн. н., професор *О.В. Нанка*
«__» _____ 20__ г.

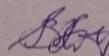
«ЗАТРЕРДЖУЮ»
Директор
ННЦ «Інститут ґрунтознавства та
агрохімії ім. О.Н. Соколовського»
НААН
д. с.-х. н., академік *С.А. Балюк*
«__» _____ 20__ г.

АКТ

впровадження завершеної науково-дослідницької роботи

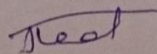
Ми, що нижче підписалися проф., д. біол. н., академік НААН Медведєв В.В., проф., д. техн. н., Пащенко В.Ф., д. с.-х. н., член-кореспондент НААН Корнієнко С.І., склали цей акт у тому, що результати науково-дослідницької роботи Сиром'ятникова Юрія Миколайовича, використані при розробці технічної документації для виготовлення ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої машини по раціоналізації фізико-маханічних властивостей ґрунту та боротьби з бур'янами.

проф., д. біол. н., академік НААН



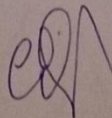
В.В. Медведєв

проф., д. техн. н.,



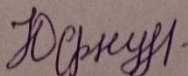
В.Ф. Пащенко

д. с.-х. н., член-кореспондент НААН



С.І. Корнієнко

аспірант кафедри ОТС ім. Т.П. Евсюкова



Ю.М. Сиром'ятников

АКТ 2

Додаток А

ОДНОФАКТОРНИЙ ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ				
ОРГАНІЗОВАНІ ПОВТОРЕННЯ				
НОМЕР	СЕРЕДНЕ	СЕРЕД.КВ.ВІДГ.	ВІДН.ВІДХЛ. (%)	
1	139.625	11.250	8.057	
2	85.875	6.750	7.860	
ДОЛЯ ВПЛИВУ ЧИННИКА, (%)				
ДЖЕРЕЛО ВПЛИВУ		ІНДЕКС ДЕТЕРМІНАЦІЇ		
V-ВАРІАНТ		91.80		
ПОВТОРЕННЯ		3.38		
ВИПАДКОВІ		4.83		
АНАЛІЗ ВАРІАЦІЙНОЇ ТАБЛИЦІ				
ДЖЕРЕЛО	СЕРЕДН. КВАДРАТ.	СТУПІНЬ СВОБОДИ	F-ФІШЕР ЭКСПЕРИМ.	F-ФІШЕР ТАБЛИЧН.
V-ВАРІАНТ	5778.13	1	57.07	10.13
Z-ЗАЛИШОК	101.25	3		
P-ФАКТОР	70.88	3	0.70	9.28
СТАТИСТ. ХАРАКТЕРИСТИКИ				
СЕРЕДНЕ ПО МАТРИЦІ			:	112.750
СТАНДАРТНЕ ВІДИХИЛННЯ			:	10.062
ПОХИБКА ЕКСПЕРИМЕНТУ (СЕРЕДНІЙ)			:	5.031
ПОКАЗНИК ТОЧНОСТІ, %			:	4.462
ПОМИЛКА РІЗНИЦІ СЕРЕДНІХ			:	7.115
НАЙМЕНШАЯ ІСНУЮЧА РІЗНИЦЯ - (НІР):			:	22.626

ОДНОФАКТОРНИЙ ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ				
ОРГАНІЗОВАНІ ПОВТОРЕННЯ				
НОМЕР	СЕРЕДНЕ	СЕРЕД.КВ.ВІДХ.	ВІДН.ВІДХ. (%)	
1	27.840	1.110	3.989	
2	17.440	0.981	5.627	
ДОЛЯ ВПЛИВУ ЧИННИКА, (%)				
ДЖЕРЕЛО ВПЛИВУ		ІНДЕКС ДЕТЕРМІНАЦІЇ		
V-ВАРІАНТ ПОВТОРЕННЯ		96.85 2.01		
ВИПАДКОВІ		1.14		
АНАЛІЗ ВАРІАЦІЙНОЇ ТАБЛИЦІ				
ДЖЕРЕЛО	СРЕДН. КВАДРАТ.	СТУПІНЬ СВОБОДИ	F-ФІШЕР ЕКСПЕРИМ.	F-ФІШЕР ТАБЛИЧН.
V-ВАРІАНТ	270.40	1	341.21	7.71
Z-ЗАЛОШОК	0.79	4		
P-ФАКТОР	1.40	4	1.77	6.39
СТАТИСТ. ХАРАКТЕРИСТИКИ				
СЕРЕДНЕ ПО МАТРИЦІ		:	22.640	
СТАНДАРТНЕ ВІДИХИЛННЯ		:	0.890	
ПОХИБКА ЕКСПЕРИМЕНТУ (СЕРЕДНІЙ)		:	0.398	
ПОКАЗНИК ТОЧНОСТІ, %		:	1.758	
ПОМИЛКА РІЗНИЦІ СЕРЕДНІХ		:	0.563	
НАИМЕНШАЯ ІСНУЮЧА РІЗНИЦЯ - (НІР)		:	1.565	

Додаток В

ОДНОФАКТОРНИЙ ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ				
ОРГАНІЗОВАНІ ПОВТОРЕННЯ				
НОМЕР	СЕРЕДНЕ	СРЕД.КВ.ВІДХ.	ВІДН.ВІДХ. (%)	
1	0.025	0.007	26.230	
2	0.050	0.016	31.749	
3	0.072	0.018	24.689	
ДОЛЯ ВПЛИВУ ЧИННИКА, (%)				
ДЖЕРЕЛО ВПЛИВУ		ІНДЕКС ДЕТЕРМІНАЦІЇ		
V-ВАРІАНТ ПОВТОРЕННЯ		73.08		
ВИПАДКОВІ		21.78		
		5.14		
АНАЛІЗ ВАРІАЦІЙНОЇ ТАБЛИЦІ				
ДЖЕРЕЛО	СЕРЕДН. КВАДРАТ.	СТУПІНЬ СВОБОДИ	F-ФИШЕР ЕКСПЕРИМ.	F-ФИШЕР ТАБЛИЧН.
V-ВАРІАНТ	0.00	2	28.44	6.94
Z-ЗАЛИШОК	0.00	4		
P-ФАКТОР	0.00	2	8.47	6.94
СТАТИСТ. ХАРАКТЕРИСТИКИ				
СЕРЕДНЕ ПО МАТРИЦІ		:	0.049	
СТАНДАРТНЕ ВІДХИЛЕННЯ		:	0.008	
ПОХИБКА ЕКСПЕРИМЕНТУ (СЕРЕДНІЙ)		:	0.004	
ПОКАЗНИК ТОЧНОСТІ, %		:	8.999	
ПОМИЛКА РІЗНИЦІ СЕРЕДНІХ		:	0.006	
НАЙМЕНШАЯ ІСНУЮЧА РІЗНИЦЯ - (НІР)		:	0.017	

ТРИФАКТОРНИЙ ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ					
НЕОРГАНІЗОВАНІ ПОВТОРЕННЯ					
ТАБЛИЦА СЕРЕДНІХ					
ФАКТОР В		ФАКТОР-С			
А		1	2		
1	1	0.433	0.667		0.550
	2	0.667	1.077		0.872
		0.550	0.872		0.711
2	1	0.400	0.700		0.550
	2	0.650	1.300		0.975
		0.525	1.000		0.762
3	1	0.533	0.823		0.678
	2	0.733	1.153		0.943
		0.633	0.988		0.811
4	1	0.677	0.800		0.738
	2	0.800	1.280		1.040
		0.738	1.040		0.889
ср	1	0.511	0.748		0.629
	2	0.713	1.202		0.957
	*****	0.612	0.975		0.793

ДОЛЯ ВПЛИВУ ФАКТОРА, %	
ДЖЕРЕЛО ВПЛИВУ	ІНДЕКС ДЕТЕРМІНАЦІЇ
V-ВАРІАНТ ПОВТОРЕННЯ ВИПАДКОВІ	93.16 0.00 6.84
A-ФАКТОР	5.66
B-ФАКТОР	35.40
C-ФАКТОР	43.35
AB-ВЗАЄМІД.	1.16
AC-ВЗАЄМІД.	1.48
BC-ВЗАЄМІД.	5.27
ABC-ВЗАЄМІД.	0.84

Продовження додатку Г

АНАЛІЗ ВАРІАЦІЙНОЇ ТАБЛИЦІ					
ДЖЕРЕЛО	СЕРЕДН. КВАДРАТ.	СТУПІНЬ СВОБОДИ	F-ФІШЕР ЕКСПЕРИМ.	F-ФІШЕР ТАБЛИЧН.	
V-ВАРІАНТ	0.227	15	29.08	1.90	
Z-ЗАЛИШОК	0.008	32			
A-ФАКТОР	0.069	3	8.84	3.84	
B-ФАКТОР	1.294	1	165.72	4.08	
C-ФАКТОР	1.584	1	202.93	4.08	
AB-ФАКТОР	0.014	3	1.81	3.84	
AC-ФАКТОР	0.018	3	2.32	3.84	
BC-ФАКТОР	0.193	1	24.67	4.08	
ABC-ВЗАЄМ.	0.010	3	1.32	3.84	
СТАТИСТ. ХАРАКТЕРИСТИКИ					
СЕРЕДНЕ ПО МАТРИЦІ			:	0.793	
СТАНДАРТНЕ ВІДХИЛННЯ			:	0.088	
ПОХИБКА ЕКСПЕРИМЕНТУ (СКРЕДНІЙ)			:	0.051	
ПОКАЗНИК ТОЧНОСТІ, %			:	6.430	
ПОМИЛКА РІЗНИЦІ СЕРЕДНІХ - SD			:	0.072	
НАЙМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ - (НІР)			:	0.144	
ПОМИЛКА РІЗНИЦІ СЕРЕДНІХ -SD(A)			:	0.036	
НАЙМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(A)			:	0.072	
ПОМИЛКА РІЗНИЦІ СЕРЕДНІХ -SD(B)			:	0.026	
НАЙМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(B)			:	0.051	
ПОМИЛКА РІЗНИЦІ СЕРЕДНІХ -SD(C)			:	0.026	
НАЙМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(C)			:	0.051	
НАЙМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(AB)			:	0.072	
НАЙМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(AC)			:	0.102	
НАЙМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(BC)			:	0.102	

Додаток Д

ТРИФАКТОРНИЙ ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ НЕОРГАНІЗОВАНІ ПОВТОРЕННЯ					
ТАБЛИЦЯ СЕРЕДНІХ					
ФАКТОР		ФАКТОР-С			
А	В	1	2		
1	1	0.800	0.777		0.788
	2	0.977	1.320		1.148
		0.888	1.048		0.968
2	1	0.567	0.487		0.527
	2	0.733	0.933		0.833
		0.650	0.710		0.680
3	1	0.487	0.953		0.720
	2	0.767	1.300		1.033
		0.627	1.127		0.877
4	1	0.320	0.753		0.537
	2	1.287	1.523		1.405
		0.803	1.138		0.971
5	1	0.620	0.500		0.560
	2	0.577	0.977		0.777
		0.598	0.738		0.668
6	1	0.920	0.867		0.893
	2	0.730	1.087		0.908
		0.825	0.977		0.901
ср	1	0.619	0.723		0.671
	2	0.845	1.190		1.018
*****		0.732	0.956		0.844

ДОЛЯ ВПЛИВУ ЧИННИКА, %	
ДЖЕРЕЛО ВПЛИВУ	ІНДЕКС ДЕТЕРМІНАЦІЇ
V-ВАРІАНТ	95.92
ПОВТОРЕННЯ	0.00
ВИПАДКОВІ	4.08
A-ФАКТОР	17.06
B-ФАКТОР	32.86
C-ФАКТОР	13.77
AB-ВЗАЄМІД.	18.32
AC-ВЗАЄМІД.	6.00
BC-ВЗАЄМІД.	3.97
ABC-ВЗАЄМІД.	3.94

Продовження додатку Д

АНАЛІЗ ВАРІАЦІЙНОЇ ТАБЛИЦІ				
ДЖЕРЕЛО	СЕРЕДН. КВАДРАТ.	СТУПІНЬ СВОБОДИ	F-ФІШЕР ЕКСПЕРИМ.	F-ФІШЕР ТАБЛИЧН.
V-ВАРІАНТ	0.275	23	49.13	1.74
Z-ЗАЛИШОК	0.006	48		
A-ФАКТОР	0.225	5	40.19	2.40
B-ФАКТОР	2.163	1	387.04	4.03
C-ФАКТОР	0.907	1	162.24	4.03
AB-ФАКТОР	0.241	5	43.15	2.40
AC-ФАКТОР	0.079	5	14.15	2.40
BC-ФАКТОР	0.262	1	46.80	4.03
ABC-ВЗАЄМ.	0.052	5	9.28	2.40
СТАТИСТ. ХАРАКТЕРИСТИКИ				
СЕРЕДНЕ ПО МАТРИЦІ			: 0.844	
СТАНДАРТНЕ ВІДХИЛННЯ			: 0.075	
ПОХИБКА ЕКСПЕРИМЕНТУ (СЕРЕДНІЙ)			: 0.043	
ПОКАЗНИК ТОЧНОСТІ, %			: 5.113	
ПОМИЛКА РІЗНИЦІ СЕРЕДНІХ - SD			: 0.061	
НАИМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ - (НІР)			: 0.122	
ПОМИЛКА РІЗНИЦІ СЕРЕДНІХ -SD(A)			: 0.031	
НАИМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(A)			: 0.061	
ПОМИЛКА РІЗНИЦІ СЕРЕДНІХ -SD(B)			: 0.018	
НАИМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(B)			: 0.035	
ПОМИЛКА РІЗНИЦІ СЕРЕДНІХ -SD(C)			: 0.018	
НАИМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(C)			: 0.035	
НАИМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(AB)			: 0.050	
НАИМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(AC)			: 0.086	
НАИМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(BC)			: 0.086	

+-----+
 |
 | ТРИФАКТОРНИЙ |
 | Д И С П Е Р С І Й Н И Й А Н А Л І З |
 |
 +-----+
 | НЕОРГАНІЗОВАНИ ПОВТОРЕННЯ |
 +-----+

ТАБЛИЦЯ СЕРЕДНІХ					
ФАКТОР		ФАКТОР-С			
А	В	1	2		
1	1	1.833	1.500	1.667	
	2	3.300	3.467	3.383	
		2.567	2.483	2.525	
2	1	1.100	0.917	1.008	
	2	1.267	1.700	1.483	
		1.183	1.308	1.246	
3	1	0.700	0.433	0.567	
	2	0.633	1.433	1.033	
		0.667	0.933	0.800	
ср	1	1.211	0.950	1.081	
	2	1.733	2.200	1.967	
*****		1.472	1.575	1.524	

ДОЛЯ ВПЛИВУ ЧИННИКА, %	
ДЖЕРЕЛО ВПЛИВУ	ІНДЕКС ДЕТЕРМІНАЦІЇ
V-ВАРІАНТ ПОВТОРЕННЯ ВИПАДКОВІ	94.28 0.00 5.72
А-ФАКТОР	58.48
В-ФАКТОР	21.48
С-ФАКТОР	0.29
АВ-ВЗАЄМІД.	9.43
АС-ВЗАЄМІД.	0.57
ВС-ВЗАЄМІД.	3.62
АВС-ВЗАЄМІД.	0.41

Продовження додатку Е

АНАЛІЗ ВАРІАЦІЙНОЇ ТАБЛИЦІ				
ДЖЕРЕЛО	СЕРЕДН. КВАДРАТ.	СТУПІНЬ СВОБОДИ	F-ФІШЕР ЕКСПЕРИМ.	F-ФІШЕР ТАБЛИЧН.
V-ВАРІАНТ	2.820	11	35.97	2.22
Z-ЗАЛИШОК	0.078	24		
A-ФАКТОР	9.621	2	122.72	3.40
B-ФАКТОР	7.067	1	90.13	4.26
C-ФАКТОР	0.095	1	1.21	4.26
AB-ФАКТОР	1.552	2	19.80	3.40
AC-ФАКТОР	0.093	2	1.19	3.40
BC-ФАКТОР	1.192	1	15.20	4.26
ABC-ВЗАЄМ.	0.067	2	0.86	3.40
СТАТИСТ. ХАРАКТЕРИСТИКИ				
СРЕДНЕ ПО МАТРИЦІ	:	1.524		
СТАНДАРТНЕ ВІДХИЛЕННЯ	:	0.280		
ПОХИБКА ЕКСПЕРИМЕНТУ (СЕРЕДНІЙ)	:			0.162
ПОКАЗНИК ТОЧНОСТІ, %	:	10.610		
ПОМИЛКА РІЗНИЦІ СЕРЕДНІХ - SD	:	0.229		
НАЙМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ - (НІР)	:	0.471		
ПОМИЛКА РІЗНИЦІ СЕРЕДНІХ -SD(A)	:	0.114		
НАЙМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(A)	:	0.235		
ПОМИЛКА РІЗНИЦІ СЕРЕДНІХ -SD(B)	:	0.093		
НАЙМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(B)	:	0.192		
ПОМИЛКА РІЗНИЦІ СЕРЕДНІХ -SD(C)	:	0.093		
НАЙМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(C)	:	0.192		
НАЙМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(AB)	:	0.272		
НАЙМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(AC)	:	0.333		
НАЙМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ -НІР(BC)	:	0.333		

ОДНОФАКТОРНИЙ ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ ОРГАНІЗОВАНІ ПОВТОРЕННЯ				
НОМЕР	СЕРЕДНЕ	СЕРЕД.КВ.ВІДХ.	ВІДН.ВІДХ.(%)	
1	39.933	9.034	22.623	
2	49.067	6.099	12.431	
3	28.100	5.122	18.226	
4	49.733	1.415	2.846	
5	43.000	11.511	26.770	
6	39.933	11.949	29.922	
7	70.900	3.065	4.322	
8	63.967	8.265	12.920	
9	50.100	5.226	10.431	
ДОЛЯ ВПЛИВУ ЧИННИКА, %				
ДЖЕРЕЛО ВПЛИВУ		ІНДЕКС ДЕТЕРМІНАЦІЇ		
V-ВАРІАНТ		79.20		
ПОВТОРЕННЯ		0.38		
ВИПАДКОВІ		20.42		
АНАЛІЗ ВАРІАЦІЙНОЇ ТАБЛИЦІ				
ДЖЕРЕЛО	СЕРЕДН. КВАДРАТ.	СТУПІНЬ СВОБОДИ	F-ФИШЕР ЕКСПЕРИМ.	F-ФИШЕР ТАБЛИЧН.
V-ВАРІАНТ	501.83	8	7.76	2.59
Z-ЗАЛИШОК	64.70	16		
P-ФАКТОР	9.76	2	0.15	3.63
СТАТИСТ. ХАРАКТЕРИСТИКИ				
СЕРЕДНЕ ПО МАТРИЦІ		:	48.304	
СТАНДАРТНЕ ВІДХИЛЕННЯ		:	8.043	
ПОХИБКА ЕКСПЕРИМЕНТУ (СЕРЕДНІЙ)		:	4.644	
ПОКАЗНИК ТОЧНОСТІ, %		:	9.614	
ПОМИЛКА РІЗНИЦІ СЕРЕДНІХ		:	6.567	
НАЙМЕНШАЯ ІСН. РІЗНИЦЯ - (НІР)		:	13.923	

**Технології з використанням серійних сучасних машин
із застосуванням механізованої обробки чорного пару**

Група поля – 3; площа, га – 100; клас ґрунту – 4 [54...59 кПа]

№ п/п	Найменування робіт	Днів по агро строк ам	Склад агрегату		Норма вироб ки	Од. вим іру	Обсяг робіт		Кількість нормо- змін	Затрати мех.пра ці, чол.- год	Витрата палива		Тар иф. розр яд	Тарифний фонд, грн	
			Енергозас іб	с.-г. машина			фіз. од.	ет. га			на од., кг	всього, т		мех.	всього
1	Лущення дисковими лущильниками	3	T-150K-08	ЛДГ-15А	68,85	га	100,00	15,25	1,45	10,17	1,74	0,174	5	393,98	393,98
2	Оранка	10	T-150K-08	ПЛН-5-35	9,04	га	100,00	116,20	11,07	77,46	13,74	1,374	5	3001,72	3001,72
3	Боронування важкими боронами	2	T-150K-08	ЗБЗТС-1(6)	77,79	га	100,00	13,50	1,29	9	1,50	0,150	5	348,69	348,69
4	Суцільна культивуація	5	T-150K-08	КПС-8	33,51	га	100,00	31,33	2,98	20,89	3,65	0,365	5	809,38	809,38
5	Суцільна культивуація	3	T-150K-08	КПС-8	33,51	га	100,00	31,33	2,98	20,89	3,65	0,365	5	809,38	809,38
6	Боронування важкими боронами	3	T-150K-08	ЗБЗТС-1(6)	77,79	га	100,00	13,50	1,29	9	1,50	0,150	5	348,69	348,69
7	Суцільна культивуація	3	T-150K-08	КПС-8	33,51	га	100,00	31,33	2,98	20,89	3,65	0,365	5	809,38	809,38
8	Суцільна культивуація	3	T-150K-08	КПС-8	33,51	га	100,00	31,33	2,98	20,89	3,65	0,365	5	809,38	809,38
9	Суцільна культивуація	3	T-150K-08	КПС-8	33,51	га	100,00	31,33	2,98	20,89	3,65	0,365	5	809,38	809,38
10	Суцільна культивуація	5	T-150K -08	КПС-8	33,51	га	100,00	31,33	2,98	20,89	3,65	0,365	5	809,38	809,38
	Всього за сезон	5						346,43	32,99	230,95		4,041		8949,37	8949,37
	Всього	5						346,43	32,99	230,95		4,041		8949,37	8949,37

**Технології з використанням експериментальної
грунтообробної машини на чорному парі**

Група поля – 3; площа, га – 100; клас ґрунту – 4 [54...59 кПа]

№ п/п	Найменування робіт	Днів по агро строкам	Склад агрегату		Норма виробки	Од. виміру	Обсяг робіт		Кількість нормо-змін	Затрати мех.праці, чел.-год	Витрата палива		Тариф. розряд	Тарифний фонд, грн	
			Енергоза сіб	с.-г. машина			фіз. од.	ет. га			на од., кг	всього, т		мех.	всього
1	Лущення дисковими луцильниками	3	T-150K-08	ЛДГ-15А	68,85	га	100,00	15,25	1,45	10,17	1,74	0,174	5	393,98	393,98
2	Оранка	10	T-150K-08	ПЛН-5-35	9,04	га	100,00	116,20	11,07	77,46	13,74	1,374	5	3001,72	3001,72
3	Суцільна культивуація	5	T-150K-08	ПРСМ -5	25,53	га	100,00	41,13	3,92	27,42	5,15	0,515	5	1062,41	1062,41
4	Суцільна культивуація	5	T-150K-08	ПРСМ -5	25,53	га	100,00	41,13	3,92	27,42	5,15	0,515	5	1062,41	1062,41
	Всього за сезон	5						213,70	20,35	142,46		2,579		5520,51	5520,51
	Всього	5						213,70	20,35	142,46		2,579		5520,51	5520,51