

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

А. М. Пугач
О. М. Кобець
Є. І. Лепеть

СИСТЕМА “МАШИНА-ПОЛЕ”

Навчальний посібник



Дніпро 2025

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

А. М. ПУГАЧ

О. М. КОБЕЦЬ

Є. І. ЛЕПЕТЬ

**СИСТЕМА
«МАШИНА-ПОЛЕ»**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Дніпро
Журфонд
2025

УДК 631.3:631.95(075.8)
П88

*Рекомендовано до друку вченою радою
Дніпровського державного аграрно-економічного університету
(протокол №9 від 26.06.2025 р)*

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Е. Б. Алієв – доктор технічних наук, старший дослідник, професор (Дніпровський державний аграрно-економічний університет);

В. Ф. Анісімов – доктор технічних наук, професор (Вінницький національний аграрний університет);

Д. Л. Васильєв – доктор технічних наук, професор (Інститут геотехнічної механіки імені М. С. Полякова НАН України)

О. Д. Деркач – кандидат технічних наук, доцент

П88 Пугач А. М., Кобець О. М., Лепеть Є. І. Система «Машина-Поле»: навч. посіб. Дніпро: ДДАЕУ, Дніпро : Журфонд, 2025. – 166.с.

У навчальному посібнику «Система “Машина-Поле”» розглядаються основи формування, функціонування та розвитку біотехнічної системи, що поєднує технічні засоби та природне середовище в умовах сільськогосподарського виробництва.

Посібник містить комплексний аналіз методів механізованого обробітку ґрунту, догляду за рослинами, збирання врожаю, а також взаємодії ходових систем техніки з ґрунтом. Подано системний підхід до оцінювання агроекологічних наслідків застосування машин, наведено енергетичний баланс системи «Машина-Поле» та охарактеризовано основи точного землеробства як складової інноваційного агровиробництва.

Посібник укладено відповідно до програми навчальної дисципліни «Система “Машина-Поле”» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» ОПП «Агроінженерія».

УДК 631.3:631.95(075.8)

ISBN 978-617-8737-18-4

© Пугач А.М., Кобець О.М.,
Лепеть Є.І. 2025
© Дніпровський державний
аграрно-економічний університет, 2025
© Журфонд, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. МЕТА І ЗАДАЧІ ДИСЦИПЛІНИ. ЗАГАЛЬНІ АСПЕКТИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ «МАШИНА-ПОЛЕ»	6
1.1. Мета та задачі дисципліни	6
1.2. Формування системи «Машина-Поле»	8
1.3. Зв'язок об'єктів системи «Людина-Машина-Поле»	10
1.4. Система «Машина-Поле» як складова біосфери планети Земля	12
2. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД У ВИРІШЕННІ ПРОБЛЕМ МЕХАНІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА	17
2.1. Основні поняття системи. Види систем.	17
2.2. Загальний аналіз системи «Машина-Поле»	22
2.3. Види і принципи аналізу технічних і виробничих систем.	24
3. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС СИСТЕМИ «МАШИНА-ПОЛЕ»	30
3.1. Загальні положення	30
3.2. Енергія системи «Машина-Поле»	32
3.3. Енергомісткість сільськогосподарської продукції	35
4. АГРОТЕХНІЧНА ОЦІНКА СКЛАДОВИХ СИСТЕМИ «МАШИНА-ПОЛЕ»	38
4.1. Загальна характеристика методів агротехнічної оцінки	38
4.2. Методи і прилади оцінки властивостей ґрунту	42
4.2.1. Ґрунт як об'єкт механічної обробки.	42
4.2.2. Методи і прилади оцінки властивостей ґрунтів	46
4.3. Штучні елементи поля і рослин	49
4.4. Основні фактори якості роботи сільськогосподарських машин.	54
4.5. Тенденції перспектив підвищення якості робіт в рослинництві та розвитку методів і засобів агрооцінки	62
5. СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ, ЯК АКТИВНИЙ ДІЮЧИЙ ФАКТОР СИСТЕМИ «МАШИНА-ПОЛЕ»	77
5.1. Особливості проектування сільськогосподарських машин.	77
5.1.1. Вирішення особливого кола завдань при проектуванні сільськогосподарських машин	77
5.1.2. Тенденції у проектуванні сільськогосподарських машин	79
5.1.3. Особливості проектування сільськогосподарських машин	81
5.2. Сільськогосподарські машини як об'єкт проектування.	83
5.2.1. Структура сільськогосподарських машин та агрегатів	83
5.2.2. Сільськогосподарські машини спеціальні, універсальні, комбіновані	87
5.3. Система машин для комплексної механізації рослинництва.	88
6. АГРОФІЗИКА ҐРУНТІВ. ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ НА РОБОЧІ ОРГАНИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН	92
6.1. Короткі відомості про фізико-механічні властивості та параметри стану ґрунтів	92
6.2. Напружено-деформований стан та міцність ґрунтів	96
6.3. Природа міцності та деформації ґрунтів.	97

6.4. Опір ґрунтів різним деформаціям.	98
7. ДІЯ ОПОРНО-ХОДОВИХ СИСТЕМ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТИВ НА ҐРУНТ	109
7.1. Стан ґрунтів в Україні	109
7.2. Допустимі тиски на ґрунт мобільних польових агрегатів. Негативний вплив ходових систем на ґрунт.....	111
7.3. Опір зсуву (зрізу), внутрішнє тертя і зв'язність ґрунтів.....	115
7.4. Шляхи зниження шкідливої дії ходових систем на ґрунт	117
8. КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ТА МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЮ ТЕХНІКОЮ	120
8.1. Критерії оцінки ущільнюючого зусилля.	120
8.2. Допустимий рівень ущільнюючого зусилля на ґрунт.....	123
8.3. Методи визначення ущільнення ґрунтів ходовими системами с.-г. техніки.....	124
9. УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ КОЛІСНИМИ ТА ГУСЕНИЧНИМИ РУШІЯМИ	127
9.1. Вплив параметрів колісних та гусеничних рушіїв на ущільнення ґрунту.....	127
9.1.1. Вплив параметрів колісних рушіїв на ущільнення ґрунту.	127
9.1.2. Вплив параметрів гусеничних рушіїв на ущільнення ґрунту.	131
9.2. Вплив швидкості руху рушіїв на ущільнення ґрунту.	133
9.2.1. Вплив швидкості руху колісних рушіїв на ущільнення ґрунту.	133
9.2.2. Вплив швидкості руху гусеничних рушіїв на ущільнення ґрунту.	134
9.3. Методика розрахунку показника впливу на ґрунт рушія.	136
9.3.1. Методика розрахунку показника впливу на ґрунт колісного рушія.....	136
9.3.2. Методика розрахунку показника впливу на ґрунт гусеничного рушія.....	137
9.4. Шляхи зниження негативної дії ходових систем на ґрунт.	140
10. ОСНОВИ СИСТЕМИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА	142
10.1. Історична довідка виникнення СТЗ	143
10.2. Стан СТЗ у світі та Україні.....	145
10.3. Терміни точного землеробства	147
10.4. Базові елементи точного землеробства	150
10.5. Глобальні системи позиціонування (ГСП)	154
10.6. Географічні інформаційні системи (ГІС)	158
10.7. Технології змінних норм внесення (ЗН) технологічних матеріалів (ТМ).....	160
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	164

ВСТУП

В умовах інтенсивного сільськогосподарського виробництва однією із основних вимог до сільськогосподарської техніки є підвищення її продуктивності і надійності. А це вимагає вирішення багатьох проблем, які знаходяться на перетині інженерних і агрономічних наук. Тому виникає необхідність в об'єднанні цих галузей знань в межах однієї галузі. Такою галуззю стала «Інженерна агрономія» або дисципліна «Система «Машина-Поле». Ця дисципліна дозволяє визначити шляхи скорочення строків, витрат праці і засобів на створення і впровадження нової сільськогосподарської техніки, підвищення якості її роботи, а значить, і зниження витрат праці в сільському господарстві, підвищення урожайності сільськогосподарських культур, зменшення втрат урожаю під час збирання сільськогосподарських культур та вирішення екологічних проблем, зокрема негативних наслідків від переущільнення ґрунтів

Дисципліна «Система “Машина-Поле”» складається із двох основних розділів: «Інженерна агрономія» – перший, «Взаємодія ходових систем сільськогосподарської техніки з ґрунтом» – другий. Крім цього в дисципліну входить вивчення основ точного землеробства, як сучасного інструменту для вирішення багатьох проблем, які виникають при реалізації сучасних технологій в рослинництві. Ця дисципліна вивчається на інженерно-технологічному факультеті при підготовці фахівців спеціальності 208 «Агроінженерія», і має за мету сформувати у здобувачів знання з наукових основ ефективного використання механізованих засобів виробництва продукції рослинництва шляхом аналізу та синтезу елементів системи «Машина-Поле» і оптимальних методів механізованого вирощування сільськогосподарських культур.

Навчальний посібник призначений для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» ОПП «Агроінженерія», а також може бути корисним аспірантам, викладачам і фахівцям аграрної галузі, які займаються питаннями механізації сільськогосподарського виробництва.

1. МЕТА І ЗАДАЧІ ДИСЦИПЛІНИ.

ЗАГАЛЬНІ АСПЕКТИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ

«МАШИНА-ПОЛЕ»

1.1. Мета та задачі дисципліни

Мета дисципліни полягає у формуванні у здобувачів ґрунтовних знань щодо раціонального застосування механізованих засобів у процесі виробництва рослинницької продукції. Це досягається через аналіз і поєднання компонентів системи «Машина-Поле» та освоєння ефективних технологій механізованого вирощування сільськогосподарських культур.

Основні завдання дисципліни:

- навчити здобувачів обирати найбільш доцільні шляхи вирішення актуальних завдань, пов'язаних з ефективною експлуатацією сільськогосподарської техніки в польових умовах, для забезпечення високої врожайності за умов енергоощадності та екологічної безпеки;
- надати знання щодо вибору найраціональніших технологічних операцій для механізованого обробітку ґрунту, вирощування та збирання сільськогосподарських культур;
- ознайомити з методами підвищення ефективності роботи агротехніки, забезпечення стабільності технологічного процесу та зниження енерговитрат на одиницю продукції;
- показати способи зменшення ущільнення ґрунту та запобігання руйнуванню його структури під час роботи машин, а також методи зниження втрат урожаю і захисту навколишнього середовища;
- сформувати уявлення про підходи до оцінки відповідності конструкцій сільськогосподарських машин умовам їх використання та контроль за якістю виконання механізованих процесів у рослинництві.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен:

Знати:

- засадничі принципи сучасного механізованого землеробства;

- підходи до енергетичного аналізу та оцінювання ефективності механізованих технологічних процесів у сфері рослинництва;
- механізовані технології поліпшення стану ґрунтів, підвищення їхньої родючості та регулювання водного, повітряного і теплового режимів у ґрунтовому середовищі;
- методи та технічні засоби для визначення ключових технологічних і фізико-механічних характеристик ґрунту, аграрних матеріалів і продукції, а також умов функціонування технічних засобів у польових умовах;
- критерії оцінки якості й надійності виконання механізованих агротехнологічних операцій у рільництві;
- концептуальні засади ефективного функціонування агроєкосистеми «Людина-Машина-Поле».

Вміти:

- модернізувати та ефективно застосовувати сільськогосподарські машини відповідно до потреб і стандартів сучасних технологій у галузі рослинництва;
- розробляти раціональні технологічні рішення для механізованого вирощування та збирання польових культур;
- здійснювати розрахунок енергоспоживання під час виконання основних польових операцій;
- аналізувати й передбачати напрями розвитку інтегрованої системи «Машина-Поле».

Отримати навички:

- 1) ефективного комплектування та підготовки до роботи машин і знарядь в заданих умовах виробництва;
- 2) вибору раціональних параметрів і режимів роботи машин з урахуванням конкретних виробничих умов;
- 3) складання, регулювання, управління сільськогосподарськими машинами і знаряддями вітчизняного і зарубіжного виробництва;

1.2. Формування системи «Машина-Поле»

Найбільші цивілізації стародавності, дотепер вражаючи нас своєю величиною, були створені на базі розвинутого, на той час, землеробського виробництва [23]. Але останнє не змогло б розвинутися, якби людина не навчилася створювати і використовувати землеробські знаряддя. Засновник науки про сільськогосподарські машини академік Василь Прохорович Горячкін вважав, що застосування знарядь узагалі, а орних особливо, робить людині неоціненні послуги. У той час як людина може безпосередньо зібрати всі сили свого розуму, зупинити усю свою увагу на одній думці, вона не в змозі без допомоги знаряддя зосередити усі свої фізичні сили на одному предметі, в одній точці. Знаряддя дозволяє людині додавати свої зусилля в зміненому по величині і напрямку виді згідно умовам роботи.

Землеробські знаряддя з моменту своєї появи грали одну з основних ролей у розвитку продуктивних сил, і, безумовно, саму головну в справі зміни оточуючої людини - природи. Винахід плуга, імовірно, вразив б наших предків у не меншому ступені, чим поява атомної техніки - наших сучасників.

Саме тому, як писав В.П. Горячкін «не торкнуті цивілізацією люди інстинктивно усвідомлювали, що під грубою, незграбною формою примітивного знаряддя ховається те, що звільнило людину від рабства, від підпорядкування його природі, і оточили це скромне знаряддя ореолом високого шанування і навіть святості».

Як не дивно, усі ці машини сьогодні значать для людини навряд чи не більше, ніж у далекі часи міфічного Мафусаїла. За даними антропологічної науки, рід людський існує на Землі, принаймні, 1,5 мільйона років [23]. Орієнтовно, 60-80 тисяч років тому, наприкінці давньої кам'яної доби - палеоліту, планета познайомилася з так званою *Homo Sapiens* – людиною цілком сучасного виду, озброєною першими примітивними знаряддями виробництва (рис.1.1, [12]). Писана історія людини розумної нараховує біля 10-12 тисяч років. Передбачається, що такий же термін історії цивілізованої людини [23]. За минулий час цей представник роду *Homo* дечого досяг.

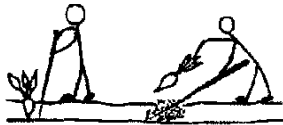
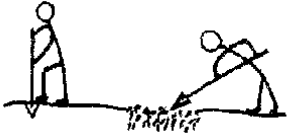
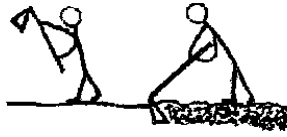
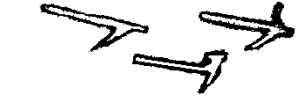
Способи і час застосування (період землеробства), років тому	Технологічна схема і спосіб руху	Знаряддя, робочі органи
1. Просте розпушування (копирсання натиском рук) при добуванні коренів (збиральництво), 1 млн. – 20 тис. р.		
	Переривчастий рух, розпушування осередками	Загострена палка-копалка, копалка з наконечником
2. Розпушування натиском рук і ніг (копка) для підготовки ґрунту під сівбу і посадки (первісне рослинництво: сівба – збирання), 20 – 10 тис. р.		
	Переривчастий рух, розпушування осередками та суцільне	Знаряддя типу лопати
3. Розпушування зі змахом, використовуючи силу інерції знаряддя – мотики для підготовки ґрунту і догляду за рослинами (мотижне землеробство), 10 – 6 тис. р.		
	Переривчастий рух, розпушування суцільне	Мотики кістяні та залізні
4. Розпушування з елементами безперервності (початок орного землеробства), 6 тис. р.	По Дарвіну  По Семенову 	
	Безперервний рух, розпушування суцільне бороздкуванням	Борозники
5. Безперервне суцільне розпушування (орне землеробство з використанням тягової сили тварин, трактора), 6 – 0 тис. р.	 	
	Безперервний рух, розпушення суцільне	Соха, рало, плуг

Рис. 1.1. Аналіз розвитку ґрунтообробних знарядь в історичній ретроспективі. [12]

Зокрема, він зробив багато технічних революцій: навчився літати в повітрі та абсолютній порожнечі, плавати по водній поверхні і у ній, досяг неймовірних глибин земних і океанічних. Швидкість переміщення в просторі власного тіла він підвищив у тисячу разів. І разом з тим – ніяк не змінив (у якісному змісті) того основного способу, за допомогою якого добуває свій хліб

насушний. Як і одну, дві, десять тисяч років тому, людина здійснює стереотипний технологічний процес, по одну сторону якого знаходиться вона сама з природними потребами, а по другу – природа, земля. От цей процес: зори, спуши землю, кинь у неї насіння ... зрости і збережи врожай залишається незмінним протягом багатьох тисячоліть.

1.3. Зв'язок об'єктів системи «Людина-Машина-Поле»

Урожайність сільськогосподарських культур – це складна функція родючості ґрунту, клімату, потенціалу рослин і науково-технічної оснащеності землероба. Родючість ґрунту – об'єктивна якість, що залежить від способу і масштабу обміну речовин і енергії між ґрунтом і людиною. Людина за допомогою систем машин і землеробства вносить у ґрунт органічні і мінеральні добрива, хімічні засоби, насіння рослин, регулює подачу води, обробляє ґрунт і рослини, усуває водну і вітрову ерозії. А ґрунт з встановленим мінералогічним складом, гумусом, мікроорганізмами та іншими елементами, споживаючи ультрафіолетове сонячне випромінювання і вологу з навколишнього середовища, віддає людям енергію біомаси вирощених рослин.

Яке ж місце тракторів і автомобілів, роль їх параметрів, структури тракторного й автомобільного парку, способу використання в підвищенні врожайності і родючості ґрунту?

Якщо усі види тракторних енерговитрат у рослинництві прийняти за 100%, то робота по підготовці і внесенні усіх видів добрив і хімікатів складуть 30%, збирання і післязбиральна обробка сільськогосподарських культур – 40...60%, основна і передпосівна обробка ґрунту 15...35%. Крім того, трактори використовують як транспортні засоби в агрегаті з причепами і напівпричепами. Автомобілі застосовують для перевезень добрив, хімікатів, зерна, кормів, худоби, запасних частин, паливо-мастильних матеріалів, продовольства, а також пасажирів.

В умовах інтенсивного сільськогосподарського виробництва зазначені види робіт необхідно виконувати якісно, у кращі агротехнічні терміни, без збільшення чисельності механізаторів і водіїв, а краще при їхньому зменшенні.

У зв'язку з цим повинні бути дотримані наступні вимоги раціонального використання тракторів і автомобілів.

1. Трактори повинні бути енергонасиченими, тобто, мати резервну потужність для виконання основних с. г. робіт (посів ярих, збирання трав, зернових, внесення добрив, обробка просапних культур) у стислі, цілком оптимальні для регіону агротехнічні терміни в любую погоду. Для цього вони повинні володіти визначеними експлуатаційними якостями і властивостями: продуктивність, стійкістю, плавність ходу, ремонтпридатність, надійність, безвідмовність і т.п.

2. Трактори повинні бути оснащені швидкодіючими і зручними в експлуатації пристроями для приєднання постійно поновлюваного набору начіпних (причіпних) машин і знарядь, механізмами для автоматичного керування їх положенням і роботою. А це, у свою чергу, визначає необхідність мати до кожного трактора можливо повний набір (систему) робочих машин і знарядь, тому що дефіцит останніх якоюсь мірою може бути причиною простоїв тракторів, неповного використання їх потужності.

3. Господарства повинні мати приміщення для ремонту, зберігання й обслуговування тракторів(автомобілів), а також мережа доріг з гарним рівним покриттям (довжина доріг повинна бути не менш 0,6 км на 100 га ріллі).

4. У господарствах повинні бути постійні кадри механізаторів-водіїв високої кваліфікації.

Енергооснащеність сільського господарства, як і інших галузей, буде зростати – це закон економічного прогресу суспільства. Але запаси нафти і газу не безмежні, а споживання їх збільшується. Ростає і частка їх у загальному енергоспоживанні. Тому важливим рішенням стає заміна нафти і нафтопродуктів вугіллям, атомною й електричною енергією.

Важливо шукати шляху зменшення витрати нафтопродуктів на одиницю зробленої продукції і прискорити роботи з переходу на паливо синтетичних видів, а також на природний і біологічний (метан) газу.

За результатами передового досвіду і наукових досягнень зменшення витрати палива тракторами можна досягти удосконаленням ґрунтообробних знарядь, суміщенням операцій (комбіновані робітники органи), автоматизацією керування машинно-тракторними агрегатами, регулюванням гальмових систем, збіжності коліс, тиску повітря в шинах і особливо паливної апаратури двигунів (при діагностуванні).

1.4. Система «Машина-Поле» як складова біосфери планети Земля

У 1934 році В. І. Вернадський дав визначення біосфери: «Біосфера являє собою оболонку життя – область існування живої речовини» [3]. Вернадський довів, що живі організми відіграють дуже важливу роль у геологічних процесах, які формують обличчя Землі.

Життя на Землі становить єдину цілісну систему, що проявляється в різноманітних формах та на різних рівнях організації. Ця система охоплює всі живі організми та середовище їх існування і має назву біосфера – глобальний біологічний комплекс. У структурі біосфери виокремлюють три головні складові: літосферу, гідросферу та тропосферу. Найактивніший розвиток флори і фауни спостерігається саме в літосфері – верхньому шарі земної кори. Життя зосереджене переважно на її поверхні та у ґрунтовому шарі на глибину до 2-3 метрів, а в окремих випадках – до 5-10 метрів (зокрема, це стосується кореневих систем дерев і деяких трав'янистих рослин). У сучасному світі саме біота літосфери забезпечує людину основними продуктами харчування.

Гідросфера охоплює всі водні ресурси планети – річки, озера, моря, океани і є середовищем існування різноманітних форм життя, від найпростіших організмів до ссавців. Завдяки наявності поживних речовин у всіх шарах водної товщі, живі організми населяють простір від поверхні водойм до їхнього дна, включно з найглибшими ділянками океанів. Водночас,

у порівнянні з літосферою, в гідросфері спостерігається нижчий рівень кисню, що зумовлює меншу щільність біомаси на одиницю об'єму. Проте загальна площа водних поверхонь – морів, океанів, озер та інших водойм – значно перевищує площу суходолу, що забезпечує надзвичайно великі обсяги біомаси. При ефективному і стійкому використанні ці біологічні ресурси можуть стати важливим джерелом харчування для людства.

Тропосфера – найнижчий і найменш щільний шар атмосфери – є частиною біосфери, де життя тісно пов'язане із землею поверхнею. Організми, що мешкають у цьому шарі, не здатні тривалий час існувати без контакту із ґрунтом або водною поверхнею. Постійне перебування у повітряному середовищі є неможливим для жодного з відомих видів тварин.

Біосфера є наслідком життєдіяльності як мікроорганізмів, так і великих живих істот. У її межах безперервно відбувається біогенний обмін речовин і енергії, що забезпечує стабільність та взаємозв'язок усіх складових живої природи. (рис. 1.2).

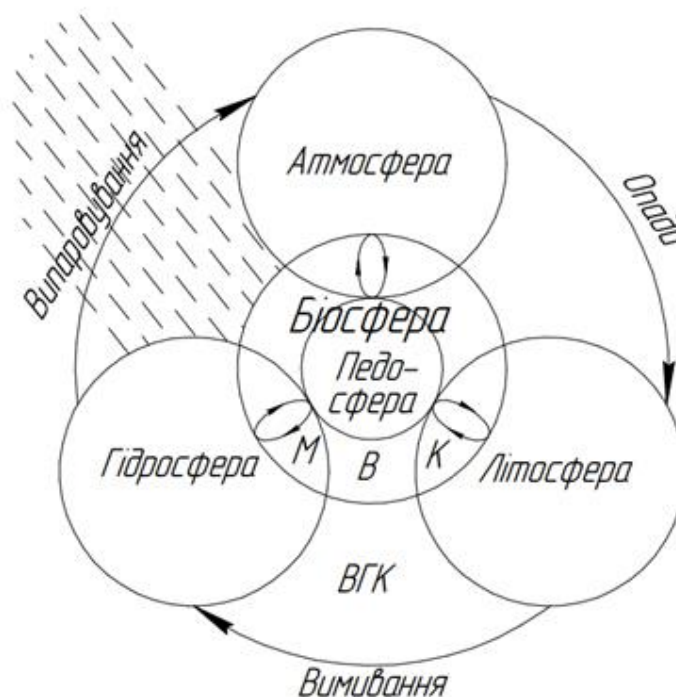


Рис. 1.2. Складові частини біосфери і їх взаємодія – взаємозв'язок малого біологічного кругообігу речовин (МБК) з великим геологічним кругообігом (ВГК)

Основою функціонування біосфери є трофічні, або ж харчові, зв'язки. Завдяки діяльності живих організмів між тропосферою (тобто атмосферою), гідросферою та літосферою формуються і підтримуються складні, але збалансовані біологічні взаємозв'язки між представниками рослинного і тваринного світу. Ці зв'язки відіграють ключову роль у збереженні життя на планеті як стабільного глобального явища, забезпечуючи взаємодію між рослинами, тваринами та людиною.

Посіви польових культур функціонують як потужні фотосинтетичні системи, здатні значно ефективніше засвоювати сонячну енергію порівняно з природними екосистемами – зокрема, луками, пасовищами чи лісовими масивами. Їх фотосинтетичний потенціал перевищує природні угіддя у 2-5 разів.

Основним органом, що забезпечує процес фотосинтезу, є листки, хоча на певних етапах розвитку до цього процесу також залучаються зелені стебла, молоді суцвіття, а іноді й корені – як-от опорні корені кукурудзи.

Фотосинтез є ключовим процесом, що забезпечує утворення біомаси рослин і постачає енергію для всіх життєвих функцій, зокрема росту та обміну речовин. Крім того, сонячне випромінювання відіграє провідну роль у підтриманні теплового й водного балансу в межах біосфери.

Сонячна радіація в цілому поділяється на три основні складові: ультрафіолетове випромінювання (290-380 нм), видиме світло (380-750 нм) та інфрачервоне випромінювання (750-3000 нм). Монохроматичні складові видимого спектра мають різну енергетичну характеристику та по-різному впливають на фотосинтетичні системи. Найвищу енергію мають синє і червоне світло, які є найефективнішими для фотосинтезу. Ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання – невидимі для ока і не мають такого ж впливу на процес фотосинтезу.

Рослини здатні засвоювати світлове випромінювання у межах видимого спектра, з довжиною хвиль від 380 до 720 нм. Цей діапазон відомий як фотосинтетично активна радіація (ФАР). Найбільш інтенсивне її поглинання

відбувається у межах 400-700 нм, головним чином завдяки хлорофілу, за участі допоміжних пігментів – каротиноїдів.

Протягом вегетаційного періоду (з весни до осені), залежно від кліматичної зони, на 1 гектар посівів припадає значна кількість ФАР: у північних регіонах – від 4,19 до 6,29 млрд Дж/га, тоді як у Середній Азії цей показник сягає 33,4-41,8 млрд Дж/га. Культурні рослини, у середньому, засвоюють приблизно 1,3% від загальної кількості ФАР, тоді як природні екосистеми – такі як луки, ліси чи водорості – засвоюють близько 0,4%.

Для ефективного функціонування посівів як фотосинтезуючих систем важливо досягти оптимального теплового, водного, повітряного та поживного балансу. Одним із ключових чинників є площа листової поверхні посіву.

Для забезпечення належного рівня фотосинтезу посіви мають формувати достатню листову поверхню. Проте її значення варто оцінювати з урахуванням цільового призначення культури. Якщо мова йде про вирощування зерна, коренеплодів, бульб або плодів, то надмірне наростання листя може бути небажаним. Надлишкова листова маса призводить до затінення нижніх ярусів, які не беруть активної участі у фотосинтезі, але потребують значної кількості поживних речовин для свого розвитку. В такому випадку ці листки не лише не сприяють підвищенню врожайності, а й можуть знижувати загальну продуктивність культури.

Натомість при вирощуванні культур на корм (зелена маса, сіно, сінаж) велика листова поверхня є перевагою, оскільки саме вона є цільовим продуктом.

Результати досліджень показали, що для таких культур, як озимі та ярі зернові, картопля, кукурудза, сорго, коренеплоди, соняшник, баштанні, оптимальна площа листової поверхні на 1 гектар посіву становить від 40–50 до 60 тисяч м². Це відповідає листовому індексу 4:1, 5:1 або 6:1, тобто кожен квадратний метр поля забезпечується 4-6 м² фотосинтезуючої листової площі.

Ефективність поглинання сонячного світла значною мірою залежить від

морфологічних особливостей листків – їх форми, положення та орієнтації відносно сонячного проміння. Зокрема, рослини з еректоїдною (вертикальною) орієнтацією листків дозволяють мати більшу густоту стеблостою без надмірного затінення, що вигідно відрізняє їх від сортів і гібридів, наприклад, пшениці чи кукурудзи, де листки мають вигнуту, параболичну форму. Це, у свою чергу, сприяє розширенню фотосинтетичної поверхні і, як наслідок, підвищенню врожайності.

Досягнення оптимальної площі листової поверхні (в межах 40-60 тис. м²/га) є найбільш ефективним саме у фазу активної вегетації культур, яка зазвичай охоплює період від початку генеративного розвитку до формування плодів, наливу зерна чи настання молочної стиглості – залежно від виду рослини.

Цей вегетаційний етап має різну тривалість: у багаторічних і однорічних трав, а також у ярих та озимих злаків він досить короткий. Натомість у таких культур, як кукурудза, гречка, горох та соя, цей період є більш розтягнутим у часі. Найдовше фотосинтетично активна фаза триває у коренеплідних культур і особливо у баштанних, де цвітіння та формування плодів відбуваються одночасно. Подібна біологічна особливість властива й таким культурам, як гречка, буркун та інші.

Питання для самоконтролю

1. В чому полягає особливість зародження і розвитку землеробства та його механізації?
2. Як пов'язані між собою складові системи «людина–машина–поле»?
3. Як визначається місце системи «машина–поле» в біосфері Землі?
4. Який процес лежить в основі життя на планеті Земля?
5. Чи залежить ФАР від географічних координат? Якщо так то яким чином?
6. Що таке листовий індекс та як він визначається?

2. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД У ВИРІШЕННІ ПРОБЛЕМ МЕХАНІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

2.1. Основні поняття системи. Види систем.

Система – це щось ціле, що є єдністю закономірно розташованих частин, які знаходяться в певному зв'язку.

Система – це сукупність певних елементів, між якими існує закономірний зв'язок або взаємодія. Системою є кожен предмет або явище реальній дійсності, мислення і пізнання які складаються з реально виділених частин, об'єднаних в єдине ціле. Тому найбільш важливими показниками системи є роз'єднування і цілісність.

Сукупність якісно виявлених елементів визначає зміст системи, сукупність закономірних зв'язків між елементами – внутрішню форму або структуру системи.

Системний підхід – це напрям в спеціальній методології науки, завданням якого є розробка методів дослідження і конструювання, складних по організації об'єктів як системи.

Елементами системами є її частини, які не підлягають розчленовуванню, а їх внутрішня структура неістотні для вирішення конкретного завдання.

Елемент системи є поняттями відносними. Наприклад, сівалка, обприскувач, зернозбиральний комбайн є елементами система «Машина-Поле». У свою чергу, деталі цих машин є елементами, які входять в систему сівалка, обприскувач, зернозбиральний комбайн.

Окремі елементи можуть бути об'єднані в підсистеми, створюючи ієрархічну структуру з розгалуженими внутрішніми і зовнішніми зв'язками. Зв'язки елементів в системі називаються внутрішніми, а зв'язки елементів з елементами підсистеми називаються зовнішніми (закупівля зарубіжної техніки: система – закупівля техніки з-за кордону за допомогою менеджерів – постачання до України і її застосування; елементи – техніка її закупівля – менеджери; елементи знаходяться в зв'язку; внутрішні зв'язки – весь

ланцюжок елементів, зовнішні зв'язки – менеджери – завезення техніки в країну)

Системи можуть бути:

- складені з послідовно об'єднаних елементів (рис. 2.1)



Рис. 2.1. Система з послідовно об'єднаних елементів

Прикладом цього є технологія вирощування окремої культури, де 1 – обробка ґрунту, 2 – посів, n – збирання врожаю.

- складена з параметрів елементів, що взаємодіють (рис. 2.2).

Прикладом цього є мета що реалізовується.

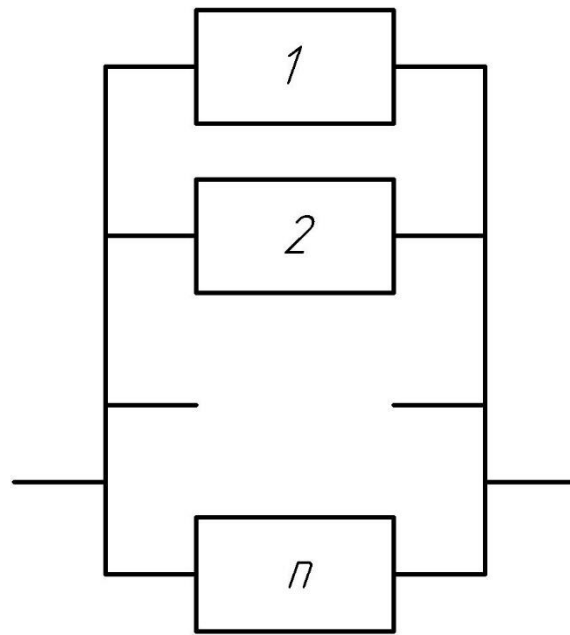


Рис. 2.2. Система з параметрів та елементів, що взаємодіють

Наприклад у складі комбінованого агрегату, що реалізовується в одному проході декілька елементів, 1 – посів; 2 – смугову обробку ґрунту; n – внесення робочих розчинів пестицидів.

- складені з паралельно-послідовних зв'язків, що взаємодіють (рис. 2.3).

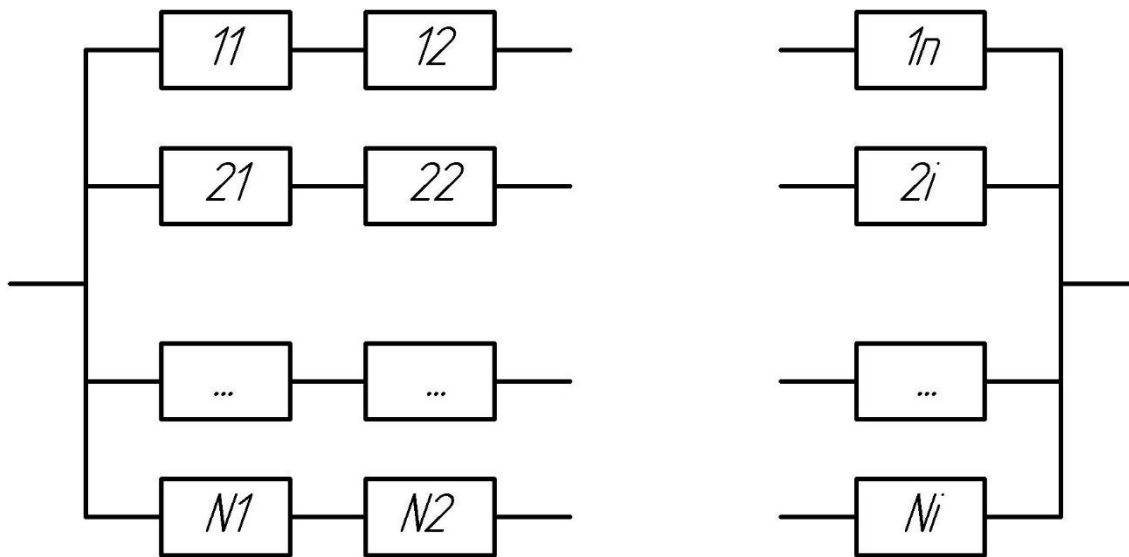


Рис. 2.3. Система з паралельно-послідовних зв'язків, що взаємодіють

Прикладом може служити технологія вирощування, в умовах застосування декількох комбінованих агрегатів. Зв'язки елементів системи характеризуються речовинними, енергетичними і інформаційними обмінами між складовими системи (внутрішні зв'язки) або системою і середовищем (зовнішньому зв'язку). Прикладом може служити робота посівного агрегату:

- енергетичний зв'язок трактор-сівалка;
- зняття показників з приладів про норму висіву, витрата палива, швидкість агрегату, прямолінійність і ін.
- інформаційний зв'язок.

Система «Машина-Поле» функціонує виключно в умовах навколишнього середовища.

Середовище – це те, що оточує систему і впливає на її функціонування. Навколишнім середовищем для системи може бути інша більш загальна система, що у такому разі називається надсистемою.

Межі системи і її елементів, а так само системи і надсистеми визначаються умовами завданнями. Таке розмежування важливе для оцінки властивостей, особливостей і ефективності системи. Ефективність системи, як і її внутрішня особливість, виявляється в надсистемі. Так, наприклад, продуктивність машинно-тракторного агрегату виявляється в реалізації технологічної операції, агротехнічного прийому, ефективність і використання

МТА – використовується в загальногосподарській діяльності. Системність є атрибутом будь-якого об'єкту, процесу, явища. Найголовнішими ознаками системи є структурна цілісність, стійкість зв'язків між елементами і їх особливостями, системна єдність, організація, цілеспрямованість.

Структурна цілісність передбачає наявність у системи складників і елементів, які взаємодіють між собою. Ця ознака є первинною з тих, які визначають об'єкт як систему.

У будь-якій системі встановлюються певні зовнішні і внутрішні зв'язки. По фізичному змісту зв'язки можуть бути матеріальними, енергетичними, інформаційними; по напрямку – прямими, зворотними і нейтральними. По характеру впливу на процеси, які здійснюються в системі, зв'язки можуть мати різні функції: об'єднання, обмеження, посилення (ослаблення), випередження (запізнювання), перетворення, узгодження, координації і ін.

Важливою характеристикою системи є число і сила (потужність) зв'язків; вона оцінюється інтенсивністю потоку матеріалів, енергії або інформації. Система існує як цілісний об'єкт тоді, коли сила внутрішніх зв'язків між елементами більше сили зв'язків цих елементів із зовнішнім середовищем. Це твердження має істотне значення для проектування виробничих процесів.

Системна єдність означає наявність таких властивостей системи в цілому, яких немає в окремих її складниках. Ці властивості системи з'являються унаслідок взаємодії окремих її складників (елементів) звідси з'являються такі важливі висновки:

- система не є простою сукупністю її елементів;
- вивчаючи окремі складники не можливо визначити властивості системи в цілому.

Властивість організованості системи визначається впорядкованістю її елементів, зв'язків і взаємодії в просторі і в часі, своєчасними діями істотних для процесу зв'язків.

Організація системи спрямована на зменшення рівня невизначеності та підвищення рівня цілеспрямованості її функціонування. Від того, наскільки ефективно структуровано систему, значною мірою залежить результативність

її роботи. Цілеспрямованість як характеристика системи визначає її здатність виконувати поставлені завдання, зокрема в умовах змінних або нестандартних ситуацій, що підкреслює її адаптивність та функціональну доцільність.

Таким чином, ця властивість одночасно характеризує здатність системи протистояти зовнішнім впливам або використовувати їх для стійкого функціонування.

Важливою характеристикою системи є її склад. До основних чинників, що визначають склад системи, відносять число елементів, зв'язків і обмежень. Ці чинники умовно можна віднести до статистичних характеристик складу, одночасно повна оцінка складу повинна враховувати проектування і застосування системи.

Крім того, експлуатаційна технологічність, ремонтпридатність сільськогосподарських технічних систем характеризують її склад. Важливе значення для управління виробничими процесами має об'єм необхідної інформації. Чим він більше тим складніша система в управлінні.

До динамічних характеристик складу системи можна також віднести обсяг енергії та інформації, необхідний для її стабільного функціонування та підтримання структурної стійкості.

Зазвичай технічні й виробничі системи, що застосовуються в аграрній сфері, класифікують як складні динамічні системи. Рівень їхньої складності значною мірою визначається ступенем деталізації й глибиною структурної організації.

Загалом систему «Машина-Поле» необхідно розглядати як керовану систему. Функції управління виконує людина, тобто в її особі такі підрозділи, як інженерна та технічна служба, майстерня, нафтогосподарство, машинний двір тощо. Таким чином, узагальнена схема системного комплексу Машина-Поле (система «Машина-Поле» + людський чинник) представлена на рис. 2.4.

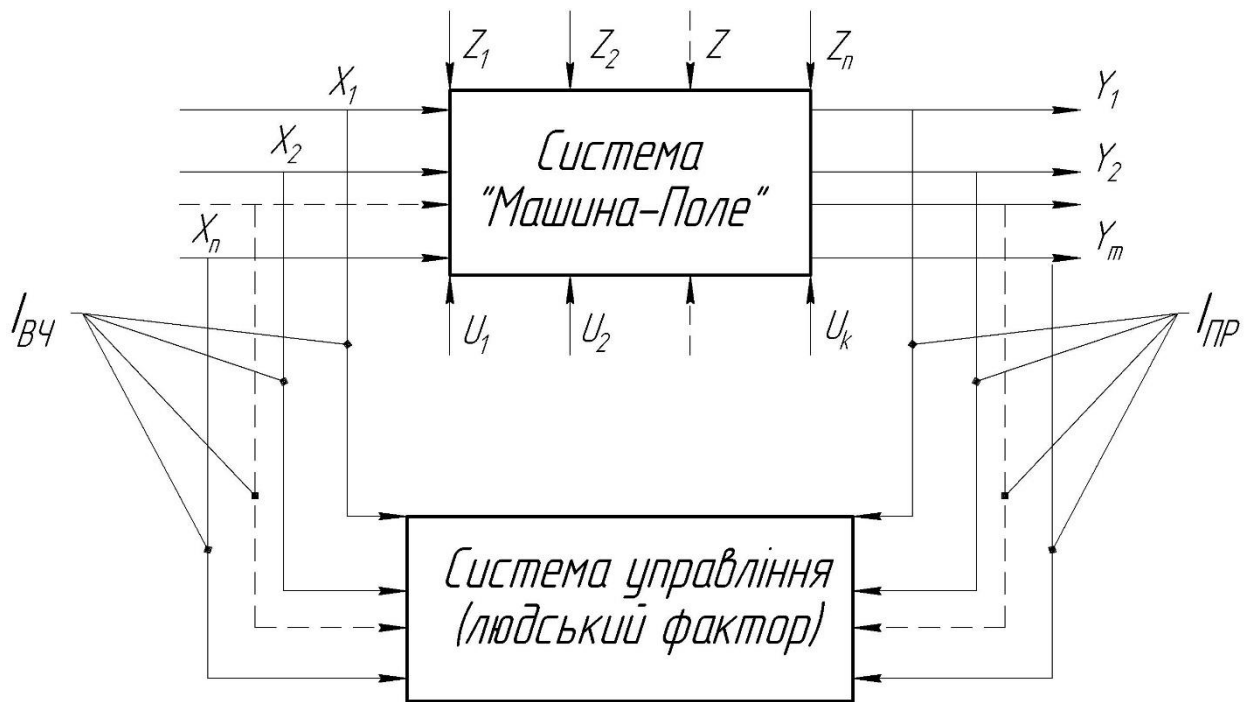


Рис. 2.4. Схема управління процесами:

X_1, X_2, X_n – вхідні чинники; Z_1, Z_2, Z_n – збурюючі чинники;

Y_1, Y_2, Y_m – вихідні показники; $I_{вч}, I_{пр}$ – інформаційні потоки у вхідних чинників і показників роботи системи; U_1, U_2, U_k – керовані чинники.

2.2. Загальний аналіз системи «Машина-Поле»

Унікальна складність сільськогосподарських виробничих систем полягає в їх біотехнічній суті, наявності значної кількості стохастичних (випадкових) зв'язків із зовнішнім середовищем і біологічними об'єктами, дії некерованих природно-кліматичних чинників. Тому при удосконаленні виробництва важливо забезпечити системну єдність техніки, технології і середовища. Порушення цієї єдності є основним джерелом несприятливих відхилень у виробничому процесі.

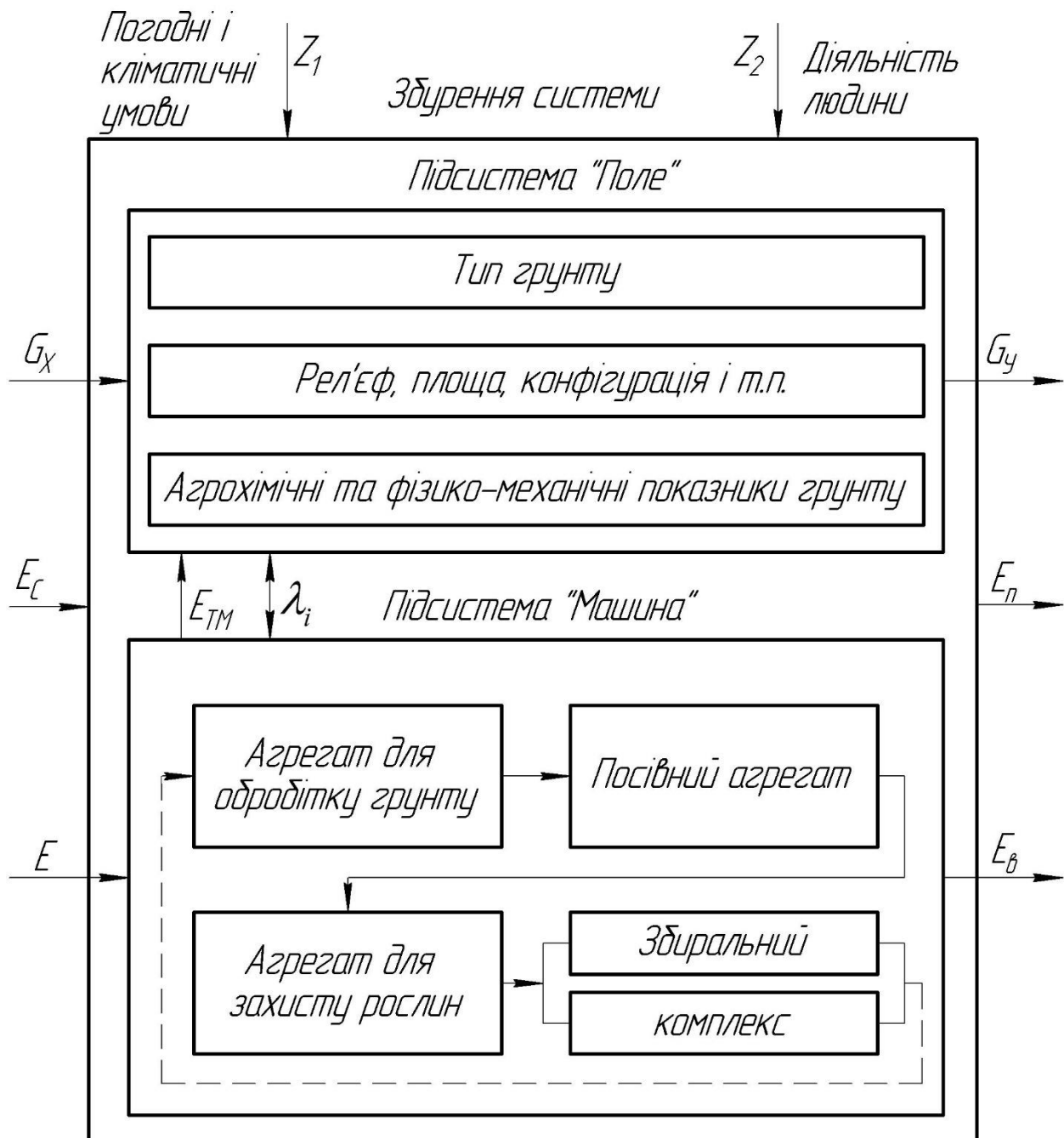


Рис. 2.5. Модель незамкнutoї системи «Машина-Поле»

У моделі використані наступні позначення:

G_x – вміст гумусу в ґрунті на початку циклу виробництва продукції;

G_y – вміст гумусу в ґрунті в кінці циклу виробництва продукції;

$Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ – збурення системи;

E_c – енергія сонця;

E – загальні витрати енергії на виробництво продукції (енергії первинних енергоносіїв, мінеральних добрива, пестицидів, насіння, жива праця, інвестиції в транспорт дорогі, і т.п.). Реалізується через СМП.

E_B – енергія, яка безповоротно випромінюється в навколишнє середовище;

E_n – енергія, яка міститься в отриманій основній і побічній продукції;

λ_i – періодичні зв'язки підсистеми «Машина» з підсистемою «Поле» – технологічна операція.

$E_{т.м.}$ – енергія технологічних матеріалів.

Кожна взаємодія підсистеми «Машина» з підсистемою «Поле» являє собою елемент технологічного процесу виробництва продукції в землеробстві, тобто:

$$\sum \lambda = \boxed{\text{Технологічний процес}}$$

Як видно з схеми моделі системи «Машина-Поле», найбільш гнучкими і впливовими на кінцевий результат функціонування системи E_n є підсистема «Машина» та структура і якість технологічного процесу $\sum \lambda$.

Ефективність функціонування системи «Машина-Поле» оцінюється енергетичним коефіцієнтом:

$$\xi = \frac{E_n}{E}$$

Чим вище значення цього коефіцієнта, тим ефективніше дана система «Машина-Поле»

2.3. Види і принципи аналізу технічних і виробничих систем.

Об'єктами аналізу можуть бути умови і закономірності функціонування систем, їх структура, взаємодія елементів, властивості і показники роботи, вплив різних чинників на властивості системи, хід виробничих процесів, повнота і якість інформації тощо.

Найбільш поширені в інженерній практиці види аналізу відображені на схемі рис. 2.6.

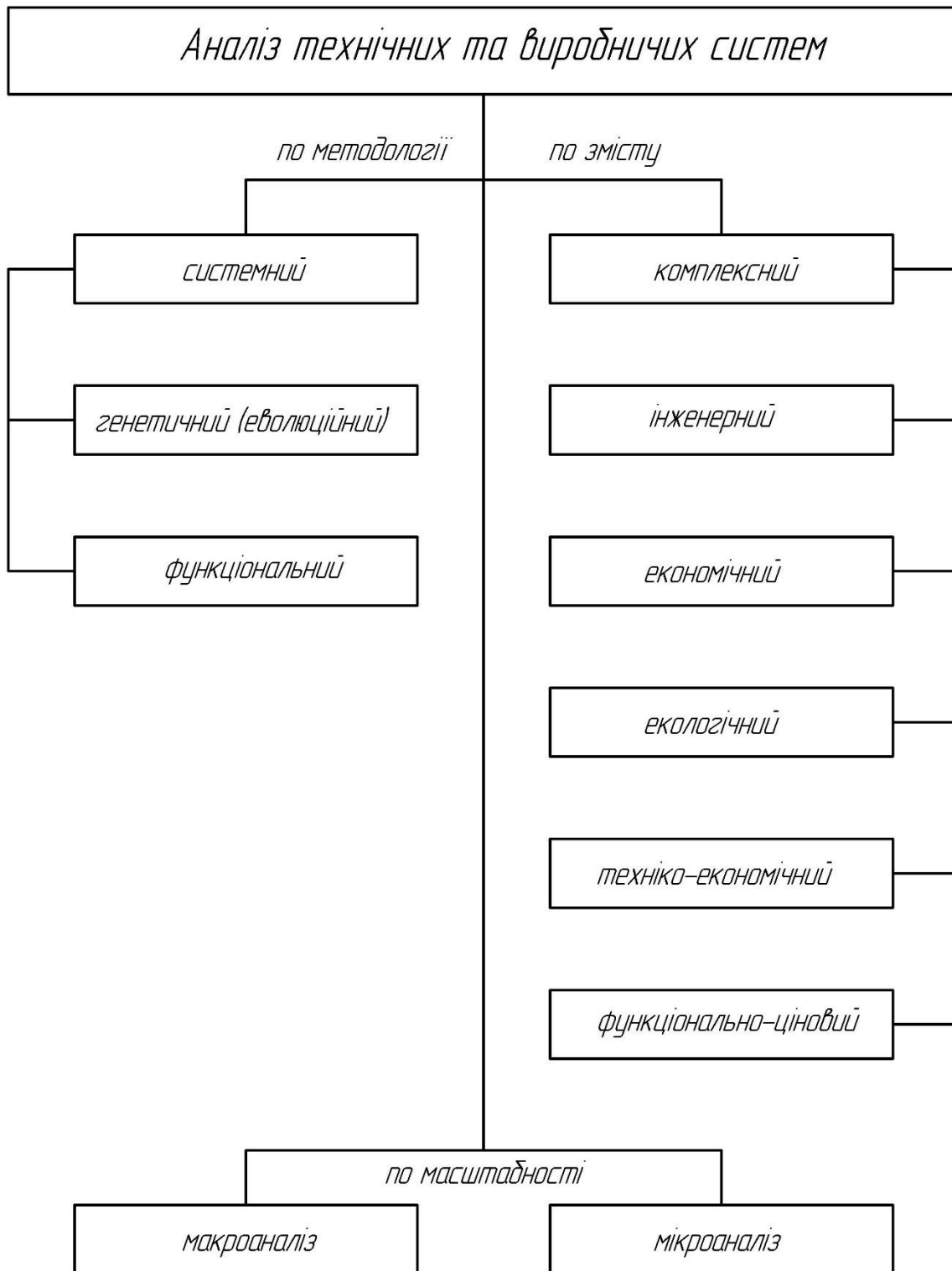


Рис. 2.6. Види аналізу системи

На даній схемі виділені методологічний і змістовний аспекти, а також інженерний, економічний, функціонально-системний і ін. види.

Інженерний аналіз направлений на вивчення властивостей технічних систем і закономірностей їх функціонування; його суть відносно специфіки машиновикористання в сільському господарстві є конструкції машин, їх

надійність, агротехнічні, маневрові і енергетичні властивості, показники роботи і ін.

Інженерний аналіз є основою для вдосконалення конструктивних рішень технічних засобів, оптимізації їх обслуговування як у технічному, так і в технологічному аспектах, а також для виявлення та усунення відхилень, що виникають у процесі виробництва. Крім того, він сприяє узгодженню параметрів роботи окремих елементів системи з метою досягнення їхньої максимальної ефективності.

Економічний аналіз, у свою чергу, зосереджений на оцінці економічних характеристик технічних та виробничих систем і визначенні рівня їх економічної доцільності. Ключовими чинниками, що впливають на прийняття інженерних рішень, виступають експлуатаційні витрати та механізми ціноутворення, оскільки саме вони значною мірою формують загальну ефективність аграрного виробництва.

Оскільки економічні показники виробничих систем тісно взаємопов'язані з параметрами технічних засобів, технологічних рішень, організаційною структурою виробництва та соціально-економічними умовами, у багатьох випадках виникає необхідність проведення техніко-економічного аналізу.

В умовах функціонування ринкової економіки значення такого аналізу суттєво зростає. Він дає змогу оцінити доцільність упровадження нових технічних засобів і технологій, ефективність організаційних підходів до виробничої діяльності та управління, виявити потенційні внутрішні резерви підприємства, а також визначити шляхи вдосконалення технічних і виробничих систем.

Функціонально-ціновий аналіз. Його об'єктами можуть бути технічні і виробничі системи, технології, а так само їх окремі елементи, організаційні і виробничі структури.

Попри актуальність і загострення екологічних проблем, екологічний аналіз у сфері сільськогосподарського виробництва досі застосовується недостатньо широко.

У основі аналізу систем лежить їх структуризація, тобто встановлення між системами і середовищем (надсистемою) зв'язків, виділення складників на різних ієрархічних рівнях і зв'язків між ними, виявлення властивостей і показників функціонування систем.

Глибина структурної системи визначається кількістю ієрархічних рівнів і здатністю до розділення елементів нижнього рівня. Якщо ці елементи не піддаються подальшому розчленовуванню, то структуризація проведена до граничної глибини. Наприклад, при аналізі працездатності МТА, структуризація може бути здійснена до окремих машин, функціональних блоків або вузлів та деталей. Структуризація до окремих деталей характеризує граничну глибину.

Поняття граничної структуризації до певної міри умовно. Так, з функціональної точки зору кульковий підшипник можна розглядати як елемент конструкції, що не розділяється. З точки зору конструкції підшипника, то цей пристрій може бути розділений на відповідні деталі.

По глибині і масштабу структуризації розрізняють макро- і мікроаналіз.

Макроаналіз, або макропідхід, передбачає вивчення об'єкта ззовні, без занурення у внутрішні взаємозв'язки та структуру. Такий підхід дає змогу визначити загальні напрями розвитку системи, виявити узагальнені характеристики її функціонування та основні закономірності.

Мікроаналіз, натомість, зосереджується на внутрішній будові системи, детальному дослідженні властивостей її елементів, а також зв'язків між ними. Він дозволяє виявити фактори, що впливають як на окремі компоненти, так і на систему загалом. У межах цього підходу структуризація здійснюється до найпростіших, елементарних рівнів.

Макро- і мікроаналіз можуть бути етапами дослідження і удосконалення систем. На рівні господарства мікропідхід є основним інструментом виявлення резервів виробництва. Ступінь деталізації при аналізі залежить також від виробничої ситуації і рівня організації робіт. Якщо мають місце явні упущення і втрати, то резерви удосконалення виробництва можуть бути

встановлені порівняно простими методами аналізу на макрорівні. Необхідно пам'ятати, що усунення втрат першочергове завдання аналізу і удосконалення виробництва.

Системний аналіз як методологічний підхід до використання систем передбачає їх структурування, дослідження властивостей на основі аналізу елементів, їхніх взаємодій, а також внутрішніх і зовнішніх зв'язків.

Принцип системності передбачає, що властивості окремих елементів слід вивчати не ізольовано, а з урахуванням їхньої ролі та функції у складі всієї системи. Саме взаємодія та взаємовплив елементів формують нові інтегративні властивості, які притаманні системі як цілісному об'єкту.

Аналіз динамічних, продуктивних та технічних систем може здійснюватися в межах двох аналізів – функціонального та генетичного (еволюційного).

Функціональний аналіз зосереджується на дослідженні структури, властивостей і закономірностей функціонування системи в конкретних умовах. У процесі такого аналізу виявляються функціональні залежності, що виникають у результаті взаємодії між окремими елементами системи, між елементами й системою загалом, а також між системою та зовнішнім середовищем (надсистемою). Ефективність цих взаємодій потребує просторово-часового узгодження: горизонтального – у формі координації, та вертикального – через субординацію.

Генетичний, або еволюційний, аналіз розглядає систему в контексті її розвитку. Будь-яка технічна чи виробнича система проходить через певні етапи життєвого циклу. Ретроспективне дослідження дозволяє виявити причини, передумови та закономірності формування сучасного вигляду й стану системи. Це, у свою чергу, надає цінну інформацію для визначення шляхів її подальшого вдосконалення і перспективного розвитку.

Особливе значення такий підхід набуває в умовах стрімкого науково-технічного прогресу, коли системи та їх елементи швидко застарівають у моральному плані. У межах еволюційного аналізу принцип системності означає врахування закономірностей розвитку системи з урахуванням історичних контекстів і зовнішніх впливів.

Залежно від мети й змісту, аналіз може здійснюватися як у комплексній формі, охоплюючи різні аспекти функціонування системи, так і з вузькою спеціалізацією – зосереджуючись на окремих її елементах чи параметрах.

Питання для самоконтролю:

1. Які види систем вам відомі? Наведіть приклади.
2. Які властивості системи вам відомі?
3. Чи є система «Машина-Поле» керованою? Якщо так, то охарактеризуйте схему цього процесу.
4. Чому система «Машина-Поле» є незамкнутою?
5. Які чинники мають вплив на функціонування системи «Машина-Поле»?
6. Які види аналізу технічних систем вам відомі?
7. Чи є інженерний аналіз остаточним для прийняття рішень виробничого характеру? Чому?
8. Які складові входять до структури системи «Машина-Поле»?
9. Які типи аналізу технічних систем застосовують у агроінженерії?
10. Як здійснюється оцінка ефективності роботи сільськогосподарських машин з урахуванням системного підходу?

3. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС СИСТЕМИ «МАШИНА-ПОЛЕ»

3.1. Загальні положення

Історія життя на Землі, так же як і історія самої Землі, починається з Сонця. Лише недавно людина оволоділа енергією, що виділяється при взаємодії атомних ядер. Якщо не враховувати цього, то єдиним джерелом енергії майже для всіх форм життя і різноманітних процесів, що відбуваються на землі (випаровування води, рух теплих і холодних океанських течій і т.д.) являється Сонце.

Будь-якій машині для роботи необхідне джерело енергії: в годиннику – це енергія стиснутої пружини, на гідроелектростанції – це кінетична енергія падаючої води і т. д.

Необхідна енергія і всім живим істотам, вони також одержують її з «пального», що окислюється, і яке в цьому випадку називається їжею.

Коли зелена рослина росте, вона вловлює і запасає сонячну енергію. Харчуючись зеленими рослинами чи м'ясом тварин, людина також залежить від Сонця, хоч і не так безпосередньо. Навіть автомобілі, які працюють на бензині, і теплові електростанції, в топках яких спалюється кам'яне вугілля, споживають сонячну енергію, тобто енергію вловлену в процесі фотосинтезу організмами, що жили мільйони років тому.

Не будь зелених рослин, що виконують роль перетворювачів сонячної енергії, майже все життя на Землі припинилося б. Виняток склали б хіба що деякі бактерії, що добувають необхідну їм енергію шляхом окислення якихось субстратів, наприклад закису заліза. Однак і ці організми залежать від сонячної енергії при фіксації вуглецю, який необхідний для побудови власного тіла.

Згідно оцінкам, в надрах Сонця речовина зникає з швидкістю 120 млн. т за хвилину, і це супроводжується випромінюванням в космічний простір колосальної кількості енергії.

З усієї сонячної радіації поверхні Землі щорічно досягає біля $17,3 \times 10^{16}$ Вт (рис. 3.1). 2/3 цієї енергії відбивається поверхнею Землі та перетворюється в тепло і розсіюється. Близько 1/3 цієї кількості витрачається на випаровування води, так що на фотосинтез і деякі інші процеси залишається біля 1%. Щорічно зеленим рослинами зв'язується в процесі фотосинтезу – у вигляді цукрів та крохмалю – 200 млрд т вуглецю з атмосфери (CO_2), а це приблизно в 100 раз перевищує масу всього того, що за рік виробляє людство.

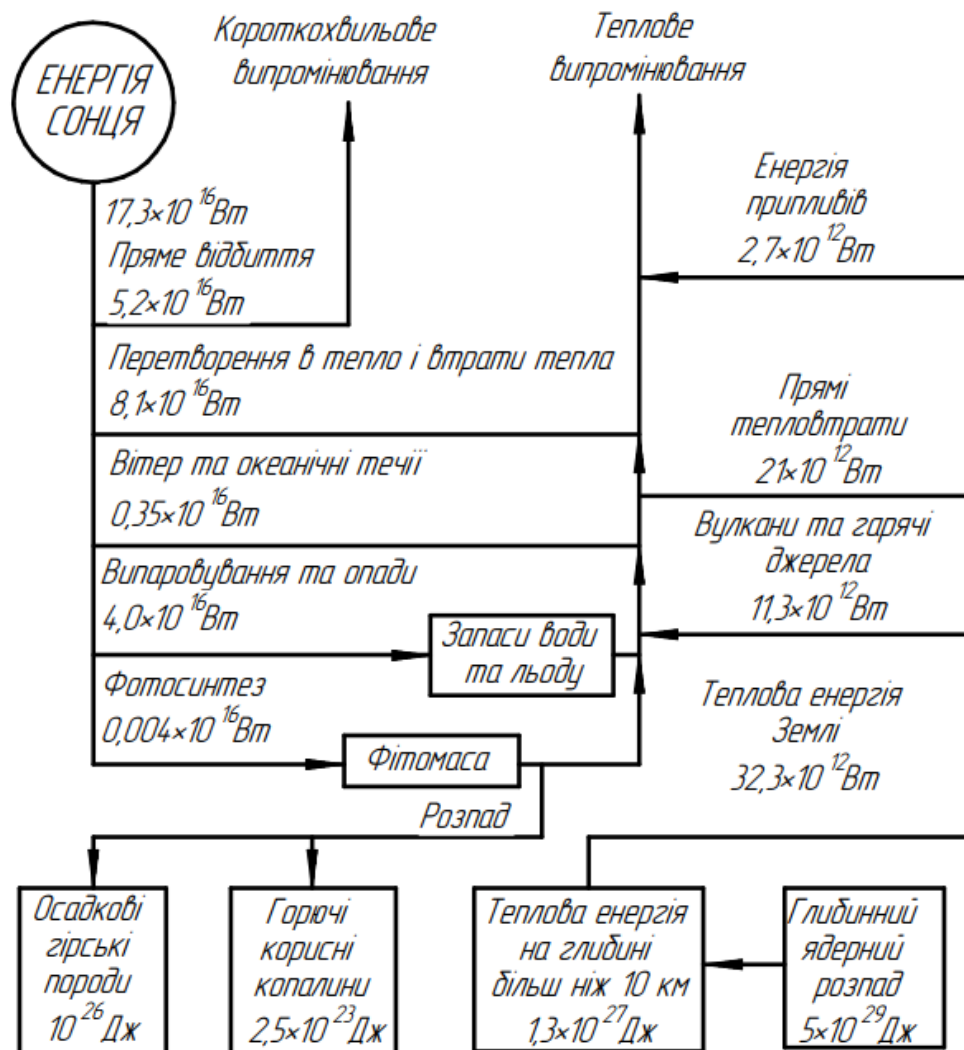
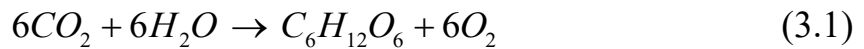


Рис. 3.1. Планетарні потоки енергії

Життя існує на Землі приблизно 3-4 млрд років, тобто значно довше тривалості життя багатьох зірок. Основою безперервного життя є постійне джерело енергії. І саме розвиток фотосинтезу забезпечив земному життю

можливість існувати на протязі часу, сумісного з тривалістю космічних процесів.

Процес фотосинтезу можна записати в наступному спрощеному виді:



При переході від лівої частини цього рівняння до правої енергія сонячного випромінювання запасається в зв'язках органічних молекул. Таким чином життя вирішило проблему накопичення і зберігання енергії, дозволивши деяким формам життя існувати за рахунок енергії, накопиченої рослинами.

Якщо в рівнянні рухатись справа на ліво, то це буде відповідати окисленню, або диханню, при якому енергія не запасається, а витрачається. При цьому енергія може проявитись у формі тепла, роботи і навіть світла. Найбільш відомі прилади окислення – спалювання рослин, деревини, вугілля, нафти. В цих процесах вивільняється сонячна енергія, що запасена в процесі фотосинтезу. Фотосинтез – єдиний біологічний процес, який відбувається із збільшенням вільної енергії системи.

3.2. Енергія системи «Машина-Поле»

Енергія (від грецького *energeia* – дія, діяльність) загальна кількісна міра руху і взаємодії всіх видів матерії. Енергія в природі не виникає з нічого і не зникає; вона тільки може переходити з однієї форми в іншу (закон збереження енергії). Енергія – однозначна функція стану системи. Коли в системі виконується робота, або передається деяка кількість теплоти, а відповідно і енергія, змінюється:

$$E_n - E_k = A \quad (3.2)$$

де E_n – початкова енергія системи;

E_k – кінцева енергія системи;

A – робота системи.

Енергія системи «Машина-Поле» включає в себе дві складові: енергію Сонця і антропогенну енергію (штучну, зв'язану з діяльністю людини).

Енергія Сонця завдяки процесу фотосинтезу накопичується і зберігається рослинами (гумус також є акумулятором сонячної енергії). Максимально можливий ККД перетворення рослинами сонячної енергії досягає 30%. Але в польових умовах він складає 0,8...1,5%. Дослідження показують, що при правильній агротехніці ККД фотосинтезу можна підвищити до 5%. Але підвищення ККД фотосинтезу навіть на 5% дало б можливість в умовах України підвищити врожайність зернових до 250...600 ц/га. Важливу роль в підвищенні ефективності процесу фотосинтезу може відіграти селекція.

Антропогенна енергія – це енергія, що витрачається на створення знарядь праці, а потім і на їх рушійний привод, на виробництво мінеральних добрив (необхідність в яких виникає із різним скороченням залишкової біомаси на полях, яка, розкладаючись, живила б ґрунт), виробництво пестицидів для захисту рослин від шкідників, хвороб та бур'янів, будівництво. Наприклад на виробництво 1 кг азоту (добрива) витрачається 86 МДж енергії, а в перерахунку на рідке паливо – 7 кг нафти. В сучасних умовах доля енергії Сонця, акумульованої в сільськогосподарській продукції складає в енергобалансі рослинництва 80-85 %, решта – додаткова енергія викопного палива.

При правильному і ефективному веденні с-г виробництва енергетичний потенціал поля в кінці технологічного процесу одержання продукції вищий, ніж на початку. Для цього необхідно виконати відповідну роботу. Робота ця виконується з одного боку, рослинами в процесі фотосинтезу, а, з іншого боку, людиною в процесі виробництва продукції (виробництво знарядь праці і забезпечення їх функціонування, виробництво добрив і т. д.).

Результат «роботи» рослини можна оцінити по ККД ФАР (фотосинтетично активної радіації) [17]:

$$\eta_{\text{фар}} = \frac{U \cdot e}{Q_{\text{фар}}}, \quad (3.3)$$

де U – врожайність с-г культур, кг сухої речовини;

e – енергомiсткiсть 1 кг сухої речовини, МДж;

$Q_{\text{фар}}$ – енергiя фотосинтетично активної радiацiї за перiод вегетацiї сiльськогосподарської культури, МДж.

$$Q_{\text{фар}} = 0,42 \cdot S + 0,60 \cdot D$$

де S – сума прямої сонячної радiацiї (на горизонтальній поверхнi);

D – сума розсiяної сонячної радiацiї.

Чим бiльше сухої органiчної речовини мiститься у рослині, тим вона повнiше запасає сонячну енергiю, тим вище ККД ФАР. Але (3.3) не враховує витрати енергiї палива, тобто антропогенної енергiї.

Ефективнiсть використання сукупної (сонячної i антропогенної) енергiї можна оцiнити показником:

$$\eta = \frac{V - Q}{Q_o + Q}, \quad (3.4)$$

де V – енергiя органiчної речовини, що акумулюється в с.-г. продукцiї, МДж;

Q – енергiя використаного палива з врахуванням затрат працi людини (антропогенна енергiя), МДж;

Q_o – сонячна енергiя, що припадає протягом року на с.-г. угiддя, з яких одержують органiчну речовину, МДж ($Q_o \approx 2Q_{\text{фар}}$).

Вираз (3.4) можна записати як

$$\eta = \eta_{\text{фар}} \left(1 - \frac{Q}{V} \right), \quad (3.5)$$

$$\text{де } \eta_{\text{фар}} = \frac{V}{Q_o}$$

Якщо антропогенна дiяльнiсть супроводжується втратами органiчної речовини, то тодi

$$\eta = \frac{V - Q - Q_l}{Q_o + Q}, \quad (3.6)$$

де Q_l – енергетичні втрати, обумовлені втратами органічної речовини, МДж.

3.3. Енергомісткість сільськогосподарської продукції

Найбільш енергомісткою галуззю сільськогосподарського виробництва є рослинництво. В цій галузі витрачається 80% всієї енергії сільськогосподарського виробництва. Для рослинництва характерним є процес інтенсифікації. Інтенсифікація рослинництва – це підвищення ефективності використання енергії сонця, родючості землі і інших природних ресурсів для накопичення максимуму біологічної енергії в органічній масі рослин.

В перерахунку на нафту витрати всіх енергоносіїв складають, кг [10]:

20-44 кг	на 1 т зерна,
180-200 кг	на 1 т свинини,
400-600 кг	на 1 т м'яса птиці.

На виробництво с-г продукції щорічно витрачається приблизно 30% загальносупільних витрат бензину, 50% мастил. Це складає 15% всіх енерговитрат суспільства.

Причому, витрати палива не є головними в загальних витратах енергії на виробництво с-г продукції. Баланс енергомісткості с.-г. продукції орієнтовно такий [10]:

Техніка – 29,4 %	Паливо – 17,4 %
Мінеральні добрива – 38,2 %	Сушка – 4,3 %
Електроенергія – 2,2 %	Будівлі – 6,5 %.

Загальні енерговитрати складають:

$$E = E_n + E_{жс} + E_m + E_o + E_b \quad (3.7)$$

де E_n – витрати первинних енергоносіїв (бензин, паливо, мазут);

$E_{жс}$ – енергія живої праці людей і тварин (1000 год праці людини $\approx$ 2 ГДж, 1000 год роботи коней $\approx$ 25 ГДж);

E_m – енергетична оцінка витрат на машини, обладнання, запчастини, будівлі, іригацію і т. д.;

E_o – енергія мінеральних добрив, пестицидів, саджанців і т. д.;

E_g – біологічна енергія, запасена в рослинах.

Загальні енерговитрати на виробництво одиниці продукції зростають. За останні 50 років енерговитрати зросли в 20 разів, а врожайність – лише в 3 рази.

Таблиця 3.1

Середньостатистичні витрати енергії по окремим операціям на вирощуванні основних культур, % [10]

Культура	Грунтообробка	Внесення добрив	Посів та догляд	Збирання
Озима пшениця	31	12	9	48
Кукурудза	40	10	7	42
Соняшник	40	12	6	39
Цукр. буряк	18	15	12	55
Картопля	18	15	7	60

В США, наприклад, щоб одержати 200 г молока споживається 100 г умовного палива (близько 3 МДж).

Спеціалісти вважають, що в середньодобовому раціоні людини на рослинну їжу повинно припадати 7,5 МДж (1800 ккал) енергії. Для її виробництва необхідно 37,5 МДж (сюди входить вирощування і переробка). Ще 5,5 МДж (1500 ккал) необхідно вживати з їжею тваринного походження, для виробництва якої необхідно 137,5 МДж. Разом це становить 175 МДж сукупної енергії, тобто майже в 14 разів більше, ніж з'їдає людина щоденно. Це 6,0 кг умовного палива (за одиницю умовного палива приймається 1 кг палива з теплотою згорання 29,3 МДж або 7000 ккал/кг). А за рік на одну людину необхідно 2,2 т умовного палива (майже 64000 МДж).

В наш час ріст енергетичних затрат на технологію розглядається як показник екологічної деградації середовища. Вважається, що при затратах енергії 15...20 ГДж/га розпочинається деградація середовища.

Саме до цієї межі дійшли високо розвинуті країни.

Аналіз діяльності людства в галузі с.-г. виробництва призводить до висновку, що не можна порушувати ті закони розширеного відтворення органічної речовини, які створені еволюцією. Ці закони необхідно пізнавати, творчо осмислювати і практично застосовувати в процесі інтенсифікації агросфери з користю для суспільства і самої природи.

Сучасне землеробство опинилось в самому центрі основних тенденцій історичного розвитку людства увійшовши у нове тисячоліття. З цієї позиції необхідно шукати шляхи одночасного вирішення двох основних і взаємодоповнюючих задач сучасного землеробства – одержання необхідної кількості біопродукції і, як відзначав К.А. Тімірязєв, «збереження землі в стані постійної придатності для майбутніх зростаючих потреб».

Питання для самоконтролю:

1. Які планетарні потоки енергії визначають діяльність людини?
2. В чому полягає суть і значення фотосинтезу?
3. Які складові має енергія системи «Машина-Поле» та чим вони характеризуються?
4. За яким показником оцінюється результат «роботи» рослин?
5. Яким чином можна оцінити ефективність використання сукупної енергії?
6. Які складові мають загальні енерговитрати в рослинництві?
7. Як співвідносяться системна одиниця виміру енергії – Джоуль (Дж) та несистемна одиниця – калорія (кал)?
8. Які основні джерела енергії використовуються у сільському господарстві?
9. Як оптимізувати енергоспоживання в системі «Машина–Поле»?
10. Яку роль відіграє енергоаудит в управлінні енергетичним балансом аграрного підприємства?

4. АГРОТЕХНІЧНА ОЦІНКА СКЛАДОВИХ СИСТЕМИ «МАШИНА-ПОЛЕ»

4.1. Загальна характеристика методів агротехнічної оцінки

При розробці сільськогосподарських машин в обов'язковому порядку проводиться їх оцінка: при цьому визначається ряд показників які характеризують умови роботи машин, якість і надійність виконання технологічного процесу, якість готової продукції, величина втрат, ступінь пошкодження культурних рослин і відповідність отриманих при дослідженні розробленим агротехнічним вимогам. Агротехнічні показники роботи машин, що отримані при проведенні дослідів, являться основою для прийняття рішень про постановку їх на виробництво.

Загалом всі методи і засоби агротехнічної оцінки можна розділити на 3 групи (рис. 4.1):

- загального призначення;
- загальноагрономічні;
- інженерно-агрономічні.

При агрооцінці роботи машин визначають глибину культивування, дискування, глибокого обробітку ґрунту, боронування, глибини посіву насіння, динаміку сходів, висоту рослин, швидкість агрегату, час, шлях агрегату, час протікання фотосинтезу та інші лінійні розміри. Тому агрооцінка загального призначення проводиться з використанням приладів і обладнання для вимірювання лінійних величин. З цією метою використовують лінійки, рулетки, кутники, а для більш точних вимірювань – штангенциркулі.

Визначення маси передбачає зважування машин та знарядь, що випробовуються, визначення маси структурних фракцій ґрунту, маси насіння, урожайність з мікро- і макроділянок і т.д. В зв'язку з відміченим в якості приладів і обладнання для визначення маси використовуються автомобільні, циферблатні і аналітичні і електронні ваги.

По результатам проведення агрооцінки машин завжди виконується математична обробка даних досліджень і випробувань, методи математичної обробки (дисперсний аналіз, регресивний аналіз, метод найменших квадратів та ін.), як правило, потребують деякого часу і праці. На сьогодні для проведення обчислювальних робіт розроблено відповідне програмне забезпечення для використання різноманітної обчислювальної апаратури, в тому числі персональні комп'ютери.

Прилади для визначення властивостей груп і рослин дозволяють визначити такі параметри ґрунту, як його густина, шпаруватість, липкість, фракційний склад та ін; для рослин – міцність стебел, міцність кореневої системи і т.д.

Хімічний склад ґрунту і рослин визначається приладами і обладнанням, які дозволяють оцінити кількість гумусу, поживних речовин, наявність пестицидів та ін.

При виробництві сільськогосподарських культур зайнятий цілий перелік машинно-тракторних агрегатів, що забезпечують основний, передпосівний обробіток, догляд за посівами, посів, хімічний захист культурних рослин від шкідників, хвороб і бур'янів. Кожний такий агроприйм виконується відповідним знаряддям в агрегатах з тяговими машинами.

До числа найголовніших показників якості виконання технологічного процесу відносять вписуваність роботи агрегату в допустимі межі відхилень при оранці, посіві обробітку препаратами, а також по величині тягового опору знарядь і витраті палива при виконанні того чи іншого агроприйому. Кількісне значення показників якості виконання визначається з допомогою відповідного приладу, датчика з можливістю фіксації на бортових комп'ютерах.

Прилади, датчики і обладнання дозволяє оцінити роботу збиральних машин. При цьому відповідні прилади дозволяють оцінити величину втрат урожаю, травмування продукту та ін., а також величину опору при обмолоті, викопуванні коренеплодів, подрібненні соломи і листостеблової маси, витрату палива машиною в цілому і на окремі операції, пов'язані зі збиранням врожаю.

Методи, прилади, обладнання агротехніки

Загального призначення	Агрономічні	Інженерно - агрономічні
Вимірювання лінійних величин	Агрометеорологічне обладнання	Прилади для визначення якісних показників машин, що використовуються при обробітку
Вимірювання часу	Прилади для визначення властивостей ґрунту, рослин	Прилади для оцінки якісних показників збиральних машин
Визначення маси	Прилади для визначення хімічного складу ґрунту і рослин	Імітатори поля (ґрунтові канали)
Вимірювання температури		Імітатори рослин (штучне насіння, стебла, коренеплоди і т.д.)
Обчислювальна техніка		

Рис. 4.1 Класифікація методів і засобів агрооцінки машин

Агропоказники змінюються в доволі широкому діапазоні і визначаються в основному фізико-механічними способами. В зв'язку з цим для отримання достовірних даних по оцінці машин необхідно проводити значну кількість дослідів з подальшою статистичною обробкою.

Методи і засоби оцінки весь час удосконалюються в наступних головних напрямках:

- розробка методів з мінімальною кількістю показників;
- удосконалення вимірювальних приладів;
- удосконалення самих методів агрооцінки з мінімальною витратою часу і праці.

Для проведення агрооцінки необхідно мати велику кількість приладів і знарядь. В зв'язку з цим бажано, щоб їх набори були компактними і мобільними. По-цьому нині розроблено і виготовлено цілий ряд комплектів і лабораторій для цієї мети – це «Тензо-агро», «Деметра», «Діагностика» і ін. Лабораторія «Тензо-агро» забезпечує зняття тягових характеристик агрегату, витрату палива, продуктивність, визначення цілого ряду якісних показників роботи агрегату. Лабораторія «Деметра» виготовлена на базі автомобіля ГАЗ-66. Лабораторія оснащена вимірювальним устаткуванням і змінними блок-комплектами. Блок-комплект №1 призначений для агрооцінки машин, які використовуються на обробітку сільськогосподарських культур (знаряддя для підготовки ґрунту, догляду за посівами, посіву).

Блок-комплект №2 – призначений для агрооцінки коренезбиральної техніки.

Блок-комплект №3 – призначений для агрооцінки зернозбиральних комбайнів.

Лабораторія «Деметра» оснащена радіостанцією, обслуговує її 3-5 чол.

Похідна лабораторія «Діагноста» змонтована на шасі автомобіля УАЗ-452Д і призначена для проведення діагностики двигунів тракторів, автомобілів і комбайнів, гідросистеми. Укомплектована динамометрами на 30-50 кН для експрес-методу визначення тягового опору сільськогосподарських машин.

4.2. Методи і прилади оцінки властивостей ґрунту

4.2.1. Ґрунт як об'єкт механічної обробки.

Ґрунт – це верхній, родючий шар земної кори, який відіграє ключову роль у забезпеченні сільськогосподарського виробництва. Його родючість може знижуватись у разі нераціонального використання, що зумовлює необхідність розробки ефективних агротехнічних заходів та вибору відповідних технічних засобів для обробітку.

З метою збереження та підвищення родючості ґрунтів важливо мати ґрунтовні знання про їх фізичні та технологічні властивості. Необхідно впроваджувати науково обґрунтовані системи обробітку, адаптовані до місцевих природно-кліматичних умов, а також підбирати технічні засоби з урахуванням особливостей конкретних ділянок поля.

Обробка ґрунту – це процес дії з нею робочих органів ґрунтообробних машин з метою створення сприятливих умов для зростання і розвитку культурних рослин, збереження і підвищення родючості ґрунту, ефективної боротьби з бур'янами.

Розглядаючи ґрунт як об'єкт механічної обробки, враховуємо, що він є трифазним дисперсним середовищем – твердим, рідким і газоподібним.

Тверда фаза складається головним чином з мінеральних частинок (до 90%), але разом з тим містить і органічні речовини (гумус, рослинні залишки), а також живі організми рослинного і тваринного походження.

Рідка фаза представлена водою і розчином різних речовин, які забезпечують живлення рослин через кореневу систему.

Газоподібна фаза представлена повітрям, що містить пари води, вуглекислий газ, метан і інші гази.

У структурному ґрунті тверді частинки об'єднані в грудочки, які пронизані капілярними порами. Між грудочками знаходяться гравітаційні пустки. Проміжки між грудочками і капілярні пори заповнені водою і повітрям. Від співвідношення в ґрунті рідкої і газоподібної фаз залежать її технологічні властивості.

Шпаруватість ґрунту – це відношення об'єму порожнини до загального об'єму ґрунту. Шпаруватість залежить від розміру ґрунтових частинок і для піску вона дорівнює 40...50%, глини і суглинки – 50...60%, торфу – 80...90%.

Густина ґрунту – відношення її маси до об'єму проби, узятій без порушення її природної структури.

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ г/см}^3 \quad (4.1)$$

Густина ґрунту безпосередньо пов'язана з пористістю. Чим пористіший і рихлий ґрунт, тим менше його густина. Кількісно цей показник змінюється в межах 0,9...1,8 г/см³.

Оптимальна густина ґрунту для вирощування с.-г. культур виглядає таким чином: для зернових колосових – 1...1,3 г/см³, картоплі і соняшнику – 1,0...1,2 г/см³,. Для цукрового буряка – 1,1...1,5 г/см³.

Структура ґрунту оцінюється відношенням маси агрегатів розміром 0,25...7 мм до маси решти частини ґрунту.

Агрегати розміром менше 1 мм вважаються ерозійно небезпечними.

Зв'язність ґрунту – здатність агрегатів створювати опір механічним діям. Ґрунти які руйнуються під дією порівняно великих зусиль при незначних деформаціях, відносяться до категорії твердих. М'які ґрунти руйнуються під впливом невеликих зусиль при значних деформаціях.

Міцність структури ґрунту визначається здатністю ґрунтових агрегатів протистояти розмиваючій дії води.

Гумус – продукт переробки мікроорганізмами органічних залишків рослин. Його вміст в ґрунті коливається в межах 1...12% і більше. Гумус сприяє створенню структурних агрегатів, що підвищує зв'язність легких ґрунтів і зменшує зв'язність важких.

Рідка фаза впливає на ефективну родючість ґрунту. Волога в ґрунті знаходиться у вільному і зв'язаному стані. Пружність, пластичність, липкість і інші технологічні властивості ґрунту залежать від вільної вологи.

При дії на ґрунт робочих органів ґрунтообробних машин значна частина вільного повітря в ґрунті переходить в стислий стан. Відповідно до закону Бойля-Маріотта, між об'ємом і тиском існує зв'язок.

$$PV = \text{const} \quad (4.2)$$

При стисненні ґрунту на робочих органах об'єм шару зменшується ΔV , а тиск стислого повітря зростає на ΔP , тобто можна записати:

$$(V - \Delta V)(P + \Delta P) = \text{const} \quad (4.3)$$

З цього рівняння виходить, що внаслідок збільшення тиску зростає потенціальна енергія. Після сходу з робочих поверхонь ґрунт руйнується під впливом цієї енергії стислого повітря.

Властивості ґрунту, які виявляються в процесі її обробки, називають технологічними. До таких властивостей відносять: здатність ґрунту кришитися, його твердість, опір деформаціям, липкість, пластичність, абразивність, в'язкість, характеристики зовнішнього і внутрішнього тертя і ін.

Здатність ґрунтів до кришення – значною мірою впливає на їх родючість. Пропонується класифікація грудочок ґрунту в групи: розмір $<0,5$ мм – пилоподібні частинки; негативно впливають на властивості ґрунту.

Перша група: $\leq 0,5$ мм;

Друга група: $= 0,5-10$ мм – зернисті частинки і дрібногрудкові;

Третя група: $= 10-50$ мм – середньогрудкові;

Четверта група: > 50 мм.

Позитивну роль в орному шарі ґрунту виконують агрегати другої і третьої груп. Вони створюють умови для протікання фізико-хімічних і біологічних процесів в ґрунті.

Здатність ґрунту до спущення визначається відношенням маси агрегатів розмірами менше 50 мм до маси ґрунту в зразку.

$$K_p = \frac{m_{50}}{m_0} \quad (4.4)$$

Твердість ґрунтів – це здатність ґрунтів протидіяти вдавлюванню твердого тіла у вигляді конуса, циліндра.

Коефіцієнт тертя ґрунтів. Тертя ковзання ґрунту характеризують опором переміщенню або ковзанню ґрунту по поверхні інших тіл.

Зовнішнє тертя $T = N \cdot \operatorname{tg} \varphi$, де φ – кут тертя, N – тиск між поверхнями.

Липкість ґрунтів (адгезія) визначається зусиллям, віднесеним до одиниці площі контакту прилиплої до ґрунту пластинки.

$$L = \frac{P}{S} \quad (4.5)$$

Абразивність ґрунтів. Властивість ґрунту викликати зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин називають абразивною.

По абразивності ґрунти підрозділяють на три групи. До першої групи з малою абразивною відносять ґрунти, що мають в своєму складі до 80% фізичного піску, до другої – супіщані і піщані ґрунти, що містять 80-95% піску (середньоабразивні ґрунти), і до третьої групи відносяться високоабразивні, містять 95-100% фізичного піску і велику кількість кам'янистих включень.

Максимальне зношування лемішів на оранці 1 га складає для першої групи 2...30 г, другий – близько 100 г і у третьої – до 500 р.

Для визначення середнього питомого зношування лемішів до першого ремонту на ґрунтах першої групи існує формула

$$U_{cp} = 2e^{0,04K} \quad (4.6)$$

U_{cp} – середнє питоме зношування леміша, г/га

K – процентний вміст піску в ґрунті.

Пластичність ґрунтів – це їх властивість деформуватися під дією зовнішнього навантаження із збереженням деформації після зняття навантаження.

Число пластичності ґрунту визначають за формулою

$$W_{пл} = W_{с} - W_{н} \quad (4.7)$$

Тут: W_g – верхня межа пластичності, тобто вологість, при якій ґрунт починає текти, %;

W_n – нижня межа пластичності, тобто вологість, при якій ґрунт скручений в шнур починає кришитися.

Пружність ґрунтів – це їх властивість відновлювати свою форму після зняття зовнішнього навантаження.

Відносне значення пружної деформації ґрунту D_n визначають за формулою

$$D_n = \frac{l_k - l_n}{l_n} \cdot 100\% \quad (4.8)$$

l_k – кінцеве значення розміру зразка, мм

l_n – початкове значення розміру зразка, мм.

Відносне значення пружної деформації коливається в межах 30...80%.

В'язкість ґрунтів – це їх властивість деформуватися у функції навантаження і часу її дії.

Крихкість ґрунтів. У крихких тіл пластична деформація відсутня. Такі ґрунти руйнуються без деформації.

4.2.2. Методи і прилади оцінки властивостей ґрунтів

Під час агротехнічної оцінки багато часу потрібно на дослідження по визначенню властивостей ґрунту – структурність, шпаруватість, вологість, липкість і ін.

Структурний аналіз ґрунту (вміст агрегатів різних розмірів) проводять за допомогою набору решіт з різним діаметром отворів: 0,25; 0,50; 1,0; 3,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0; 50,0; і 100,0 мм. Крізь набір таких решіт пропускають зразок ґрунту і по масі ґрунту на кожному решеті визначають вміст частинок ґрунту того або іншого розміру.

Після цього визначають водостійкість структурних агрегатів ґрунту. З цією метою виділені в результаті просівання агрегати знову просівають на

решетах, але вже у воді. Після цього ґрунт з кожного решета висушують і обчислюють водостійкість частинок різного діаметру.

Об'ємну масу ґрунтів визначають за допомогою пікнометра, а потім обчислюють за формулою

$$\gamma = \frac{m}{V} \quad (4.9)$$

Де m – маса ґрунту, узятото за допомогою пікнометра;

V – об'єм зразка.

Пористість (шпаруватість) ґрунту визначають методом заповнення пор в навіски водою з подальшим розрахунком за формулою

$$p = \frac{V_n}{V_o} \quad (4.10)$$

де p – пористість ґрунту;

V_n – об'єм пор (за об'ємом поглиненої води)

V_o – об'єм зразка ґрунту.

Вологість ґрунту – визначають методом висушування зразка. З цією метою бурому беруть зразки ґрунту в різних шарах по 20...40 г і заповнюють її в таровані алюмінієві бюкси. Узяті зразки в бюксі висушують в сушильній шафі при температурі 100...105°C протягом 5-6 годин. По різниці маси сирого (m_n) і сухого (m_c) зразків обчислюють вологість ґрунту

$$W_n = \frac{m_n - m_c}{m_c} \cdot 100\% \quad (4.11)$$

Твердість ґрунту визначається методом вдавлювання вимірювального органу в досліджуваний ґрунт. У твердомір (конструкції Горячкіна В.П.) вставляють наконечник конічної форми з площею вдавлювання 1 см² для твердих ґрунтів і 2 см² для пухких. Твердоміри мають реєструючий пристрій за допомогою якого записується діаграма змін сил вдавлювання конуса в ґрунт. По діаграмі визначають середню твердість ґрунту T за формулою

$$T = \frac{h \cdot g_n}{S} \quad (4.12)$$

h – середня ордината середня ордината діаграми, см

g_n – жорсткість пружини твердоміра, $H/см$

S – площа вдавлювання корпусу, $см^2$

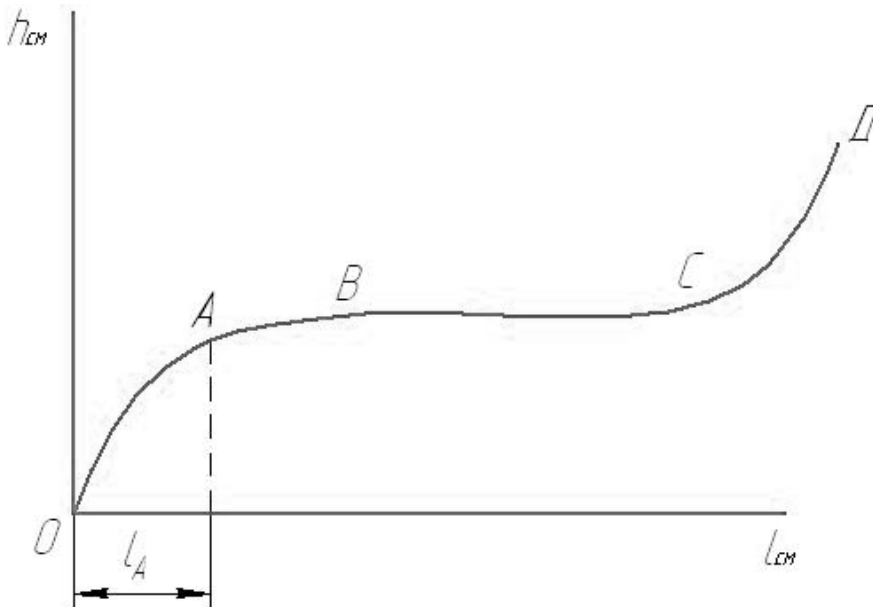


Рис. 4.2. Діаграма твердості ґрунту

Коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту q визначають за формулою

$$q = \frac{P_a}{S \cdot l_a}, H/см^3 \quad (4.13)$$

P_a – сила вдавлювання корпусу до точки A , Н

l_a – глибина вдавлювання, що відповідає P_a , см

Липкість ґрунтів визначають за допомогою приладу (рис. 4.3), який працює наступним чином

Диск 1, що закріплено на стержні 2, рухається між рамами 3 у вертикальній площині. Відрив диска 1 від ґрунту, у якого визначають липкість, здійснюється за допомогою нитки 4, один кінець якої закріплений до стержня 2, а другий – до місткості 5, в яку подають пісок. Липкість визначають за формулою

$$L = \frac{P}{S} \quad (4.14)$$

P – зусилля відриву, Н (вага піску, mg Н)

S – площа диска, m^2 .

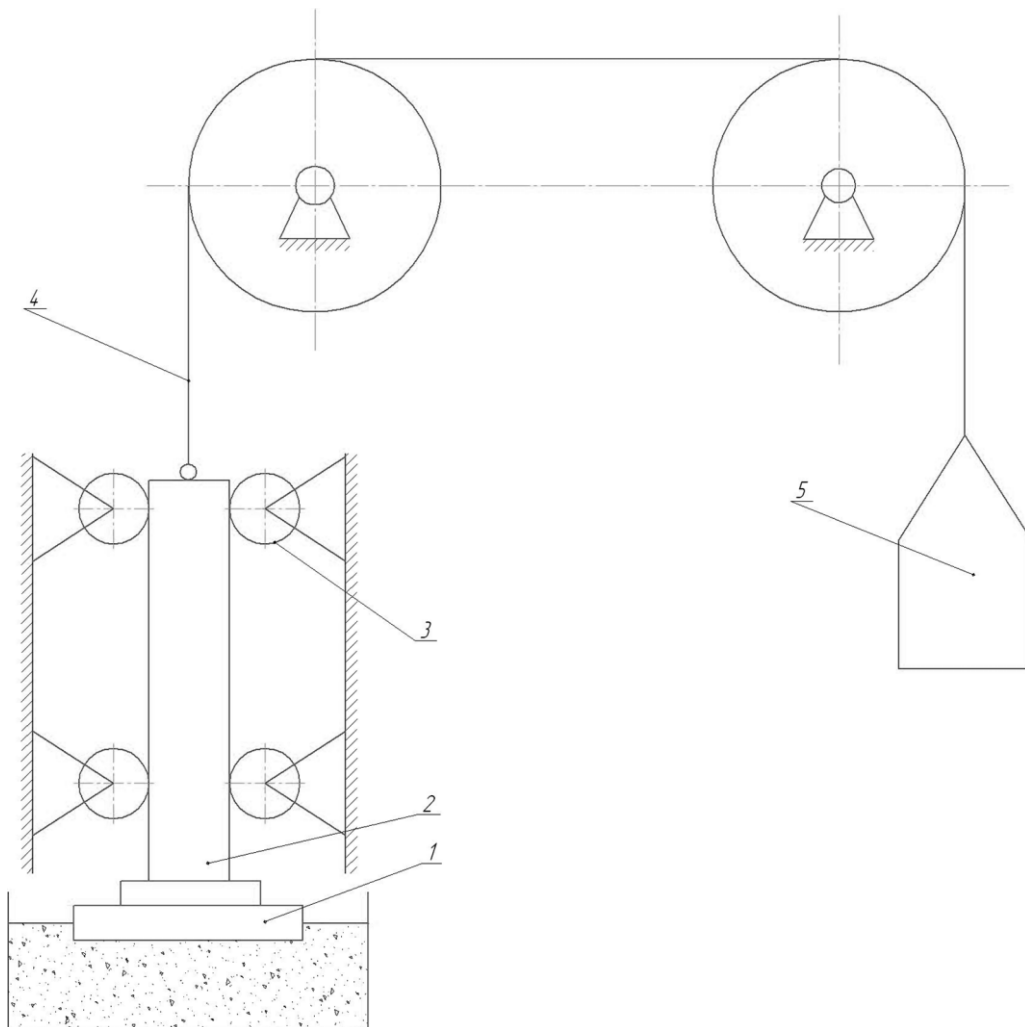


Рис. 4.3. Схема приладу для визначення липкості ґрунту

4.3. Штучні елементи поля і рослин

Остання, заключна підгрупа із групи інженерно-агрономічних методів і засобів агрокваліметрії застосовується на етапах створення нових машин, при дослідженні робочих органів. При деяких дослідженнях, щоб марно не втрачати час в чеканні агростроків, створюють штучні технологічні умови, наближені до тих, які бувають при роботі машин в певні агростроки. Найбільш розповсюджені в сільськогосподарському машинобудуванні імітатори поля У вигляді ґрунтових каналів, кругових стендів, рухомих «полів» та імітатори

рослин, чи їх частин, у вигляді штучних коренеплодів, плодів тощо. Такі імітатори дозволяють увесь рік в закритих приміщеннях проводити необхідні дослідження для оцінки якості роботи робочих органів машин. Мають місце і комбіновані імітатори, де поєднуються штучні елементи з природними рослинами, які заготовляють в агрострок і зберігають цілий рік для досліджень.

Розглянемо спочатку ґрунтові канали і кругові стенди.

Ґрунтові канали, розміри яких залежать від необхідності і можливості, застосовують для пошукових досліджень та оцінки якості роботи ґрунтообробних робочих органів, сошників та насіннезагортаючих робочих органів сівалок тощо.

Будову каналу розглянемо на схемі, зображеній на рис. 4.4, А. Як видно, ґрунтовий канал складається з місткості для ґрунту 1 у вигляді жолоба. Довжиною може бути в залежності від приміщення, в якому знаходиться. Чим довший, тим краще, але найбільш поширені до 25-30 м. Ширина жолоба від 1 до 5 метрів. По обом довгим боковим стінкам прокладено направляючі рейки 3 для візка 5. Візок приводиться в рух за допомогою електромотору, який живиться від електромережі 4. На раму візка закріплюють необхідні для дослідження робочі органи 6 (культиваторні лапи, фрези тощо), а в жолоб завантажують звичайний ґрунт 2. Візок рухається по рейкам з необхідною швидкістю. Закріплені на ньому робочі органи переміщуються в ґрунті на необхідній глибині. Рух може відбуватися в автоматичному чи в керованому режимі за допомогою оператора, який знаходиться на візку.

Для роботи на такому каналі ґрунт попередньо готують: поливають до необхідної вологості, розпушують чи ущільнюють, фарбують шари по глибині тощо. Потім після проходу робочих органів обробітку ґрунту вивчають переміщення і перемішування шарів, ступінь подрібнення. Після проходу в ґрунті робочих органів сівалок вивчають розміщення насіння по глибині і довжині рядку, взаємне положення добрив і насіння, якщо сівалка оснащена і туковими сошниками.

Недолік такого ґрунтового каналу полягає в тому, що, з врахуванням розгону та гальмування візка з робочими органами, довжина діючої ділянки каналу незначна, а процес випробування носить переривчастий характер. При цьому неможливо провести випробування на залипання, на спрацьованість робочих органів.

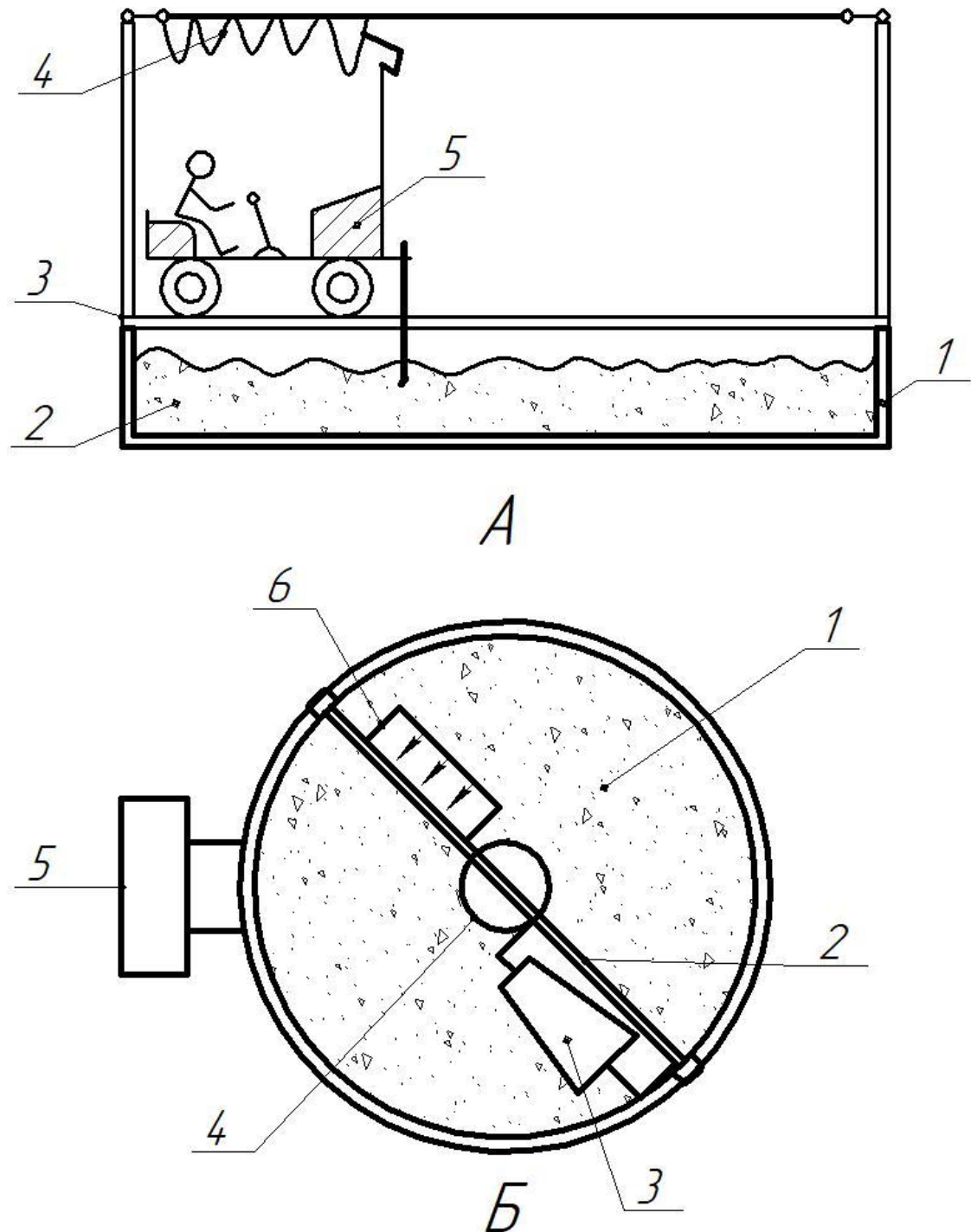


Рис.4.4. Імітатори поля: а - ґрунтовий канал (вид збоку),
б – круговий стенд (вид зверху).

Тому для імітації безперервного впливу поля застосовують кругові стенди, на яких вивчають стійкість виконання технологічних процесів, спрацьованість і залипання робочих органів. Круговий стенд, як видно із рис. 4.4 Б складається із круглої місткості 1, яку виготовляють з металу і заповнюють або звичайним ґрунтом з підготовленими властивостями чи абразивною сумішшю із піску з гравієм. В центрі місткості знаходиться електродвигун 4, до якого приєднана по двох радіусах рама 2. На один радіус рами встановлюють робочі органи 6, призначені для випробування, а на другий - робочі органи 3 відновлення ґрунту чи абразиву, наприклад, ущільнюючий коток. З пульта управління 5 здійснюється керування круговим стендом. Розмір стенду по діаметру може сягати до 10-12 м.

Якщо замість ґрунту заповнена абразивна суміш, то за коефіцієнтом переводу визначають у скільки разів вона діє активніше на спрацьованість робочих органів, і відповідно скорочується термін випробування. Такий круговий стенд може працювати в безперервному автоматичному режимі багатодобово, імітуючи весь сезон роботи тієї чи іншої машини. Можна навіть імітувати повний термін експлуатації за кілька років. Загальним недоліком ґрунтового каналу і кругового стенду є необхідність заміни ґрунту чи абразиву, тому що під впливом робочих органів з кожною годиною, з кожною добою роботи технологічні властивості ґрунту, абразиву змінюються і стають все більше віддаленими від дійсних і заданих необхідних параметрів відповіно агростроку.

Для цілорічної агрокваліметричної оцінки робочих органів техніки для збирання врожаю застосовують рухомі штучні поля з комбінацією імітаторів та натуральних рослин (рис. 4.5).

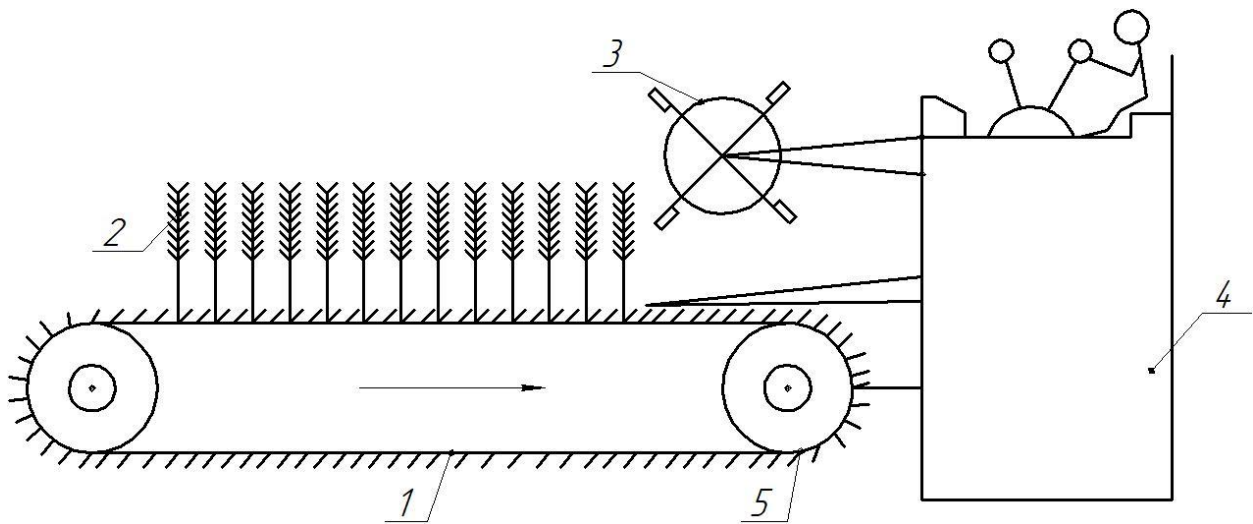


Рис 4.5. Рухоме «поле» (вид збоку)

Так, наприклад, дія оцінки роботи жаток, мотовил на транспортер 1 зі затискачами, який приводиться в рух електродвигуном 5, за допомогою затискачів скріплюють попередньо заготовлені рослини 2 злакових зернових (пшениці, жита, ячменю) чи кукурудзи. На випробувальний стенд 4 закріплюють зрізувальні робочі органи збиральної машини 3, в даному випадку жатки з мотовилом. При цьому поступальний рух імітується пересуванням транспортера з одночасним обертальним рухом мотовила і поперечну вертикально-поступальним рухом ножа жатки.

Для перевірки робочих органів гичкозбиральних машин застосовують стенд, на якому коренеплоди з гичкою закріплені нерухомо, а переміщуються робочі органи для її зрізування. При цьому коренеплоди з гичкою повинні зберігатися в теплиці посадженими в ґрунт в умовах підвищеної вологу ґрунту і повітря.

Робочі органи картопле- та коренезбиральних машин випробуються в ґрунтових каналах, а також на спеціальних стендах з натуральними чи штучними коренеплодами і бульбами, виготовленими із гуми, пластмаси тощо.

З метою проведення глибоких досліджень застосовують штучні плоди, корене- та бульбоплоди з системою датчиків, сигнали з яких передаються

мікрорадіопередавачем. Реєстрація цих сигналів радіоприймачем дозволяє встановити на якій технологічній операції, на якій ділянці робочих органів машин випробуваний штучний об'єкт зазнає найбільшої дії, що може призвести до ушкоджень.

4.4. Основні фактори якості роботи сільськогосподарських машин.

Забезпечення належного рівня якості потребує системного підходу, що передбачає одночасне розв'язання комплексу завдань різної природи – технічних, методичних, економічних, математичних, організаційних, психологічних тощо. Це зумовлено тим, що якість є багатфакторним показником, який формується під впливом різноманітних взаємопов'язаних чинників.

Виділимо чотири основних групи факторів якості (рис. 4.6).

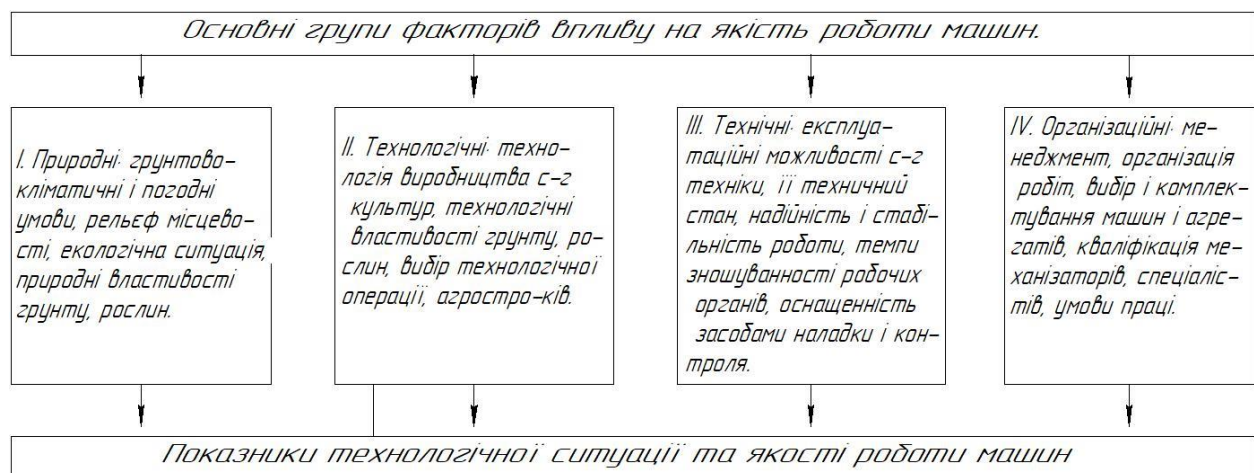


Рис. 4.6. Основні групи факторів якості роботи сільськогосподарських машин.

Фактори, що впливають на якість, поділяються на дві основні категорії – об'єктивні та суб'єктивні. Об'єктивні чинники, такі як погодні умови (опад, вітер), стан рослин тощо, не піддаються безпосередньому впливу з боку людини, і тому їх слід лише враховувати під час планування й оцінювання процесів. Суб'єктивні фактори, навпаки, пов'язані з людським втручанням – наприклад, вибір техніки, її налаштування або режим роботи. Людина має

змогу змінювати їх вплив у бік як підвищення, так і зниження якості результату.

Однак варто зазначити, що ізольований вплив окремих чинників на якість часто важко визначити через складну взаємодію факторів у системі. Тому в практиці аналізу доцільно зосереджуватися на найбільш вагомих факторах – тих, які мають вирішальне значення для формування ключових показників якості.

Також важливо пам'ятати, що вплив кожного з факторів може змінюватися залежно від умов середовища, конкретного місця та часу дії, а також від взаємозв'язку з іншими чинниками.

Більшість із факторів якості описують відповідні дисципліни: природні - екологія, технологічні - основи агрономії, технологія виробництва рослинної продукції, технічні – сільськогосподарські машини, механізація; до організаційних можна віднести і питання менеджменту і машиновикористання в землеробстві. Тому не будемо зупинятися детально на всіх факторах, а виділимо тільки ті із них, які мають особливе значення для оцінки якості роботи і на які людина може найбільше впливати, від яких в першу чергу залежить робота сільськогосподарських машин.

До природних факторів належать кліматичні та погодні умови, зокрема річна та сезонна кількість опадів, їх розподіл за місяцями, інтенсивність і тривалість дощів, кількість сонячних днів, а також тривалість періоду, придатного для виконання польових робіт. Ці чинники безпосередньо впливають на терміни агротехнічних операцій, а також на фізичні властивості ґрунту й стан рослинного покриву.

Ґрунт є одним з основних елементів у структурі матеріально-технічного забезпечення сільськогосподарського виробництва. Це складна природна система, яка поєднує риси живої та неживої матерії. Властивості ґрунту формують широкий спектр характеристик – як фізичних, так і хімічних, що визначають вибір технології вирощування сільськогосподарських культур,

умови проведення технологічних процесів та вимоги до якості виконання механізованих робіт. Як видно з рисунку 4.7, ці властивості характеризуються більш як двома десятками показників, які розділяються на 4 основні групи: родючість, водні, технологічні та біологічні властивості [1].

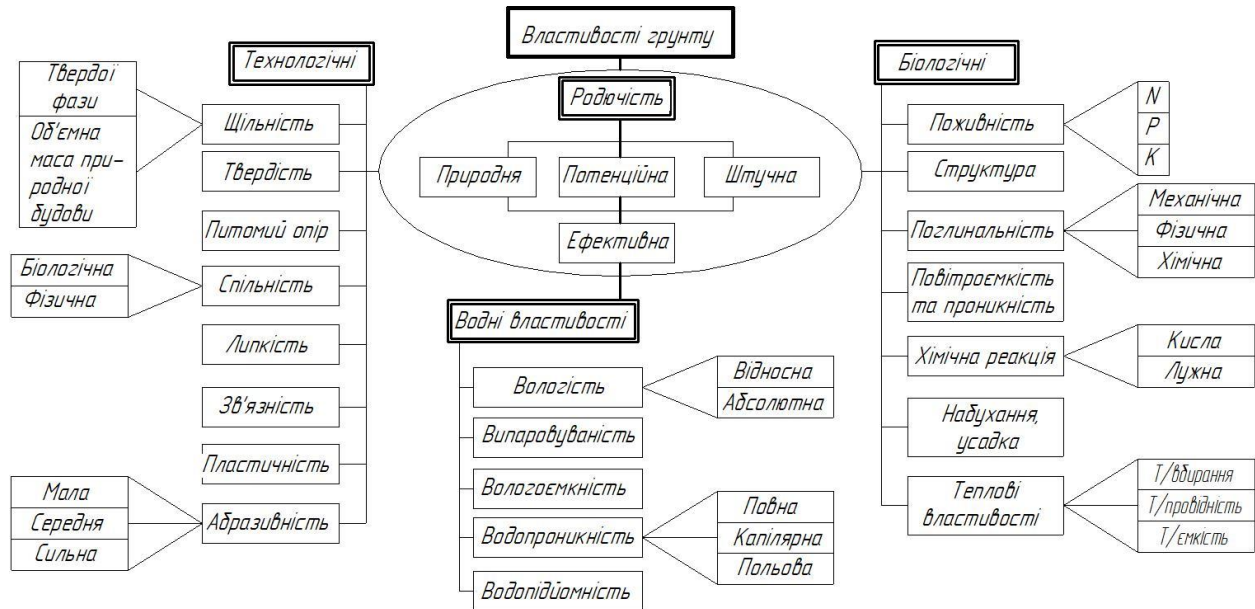


Рис. 4.7. Властивості ґрунту, які обумовлюються вибір технології виробництва сільгоспкультур, технологічні умови та показники якості роботи машини

Ґрунт – це не просто фізична основа сільськогосподарського виробництва, а складна жива система, що за багатьма характеристиками подібна до організму. У нього є свого роду «скелет» – мінеральна основа, «кров» – волога, яку він накопичує і утримує, органічні речовини, що забезпечують «живлення», і потреба в «диханні» – надходженні повітря. Подібно до живої істоти, ґрунт може працювати, але потребує періодичного відпочинку для відновлення своїх властивостей.

Ґрунт має «пам'ять» – він зберігає сліди впливу людської діяльності: як добрих практик, так і згубних втручань. Якщо з ним поводитися розумно й шанобливо – він щедро віддячить урожаєм. Але у відповідь на виснаження чи недбале ставлення може «помститися» – втратою родючості, ерозійними процесами, утворенням ярів і деградацією сільськогосподарських угідь.

Природні чинники відіграють ключову роль у формуванні фізичних і хімічних властивостей ґрунту. Вони визначають тип ґрунту, глибину гумусового шару, рівень засміченості камінням або рослинними залишками. Ці базові характеристики суттєво впливають на вибір технологій обробітку та ефективність їх застосування в сільському господарстві.

Окрім того, природні фактори впливають і на морфологічні особливості рослин. За умов надмірного зволоження рослини утворюють потужну надземну масу: великі листки, високі стебла. Натомість у посушливому середовищі спостерігається активний розвиток кореневої системи, особливо центрального кореня, який заглиблюється в ґрунт у пошуках вологи. При цьому коренеплоди часто набувають деформованої форми.

Важливим природним фактором є також рельєф місцевості. У рівнинних умовах робота сільськогосподарських машин є стабільною: машини рухаються прямолінійно, з постійною швидкістю та у відповідному технологічному режимі. Натомість на горбистій місцевості часто зустрічаються короткі гони та невеликі за площею поля, що потребує частих змін швидкості, ускладнює дотримання рівномірного технологічного процесу, призводить до сповзання агрегатів на схилах і підвищує ймовірність помилок на поворотах та в кінцевих ділянках гонів.

Залежно від ступеня ухилу місцевості виділяють кілька типів схилів, що мають різне значення для можливості застосування сільськогосподарської техніки. До рівнин відносять ділянки з нахилом $1-2^\circ$, до пологих схилів – $3-9^\circ$, до помірних – до 20° . Схили з нахилом $21-26^\circ$ вважаються крутими, а $27-35^\circ$ – особливо крутими; понад 35° – це вже обривисті, небезпечні для технічного обробітку ділянки.

Більшість сільськогосподарських машин забезпечує якісну роботу на схилах до 3° . При роботі на схилах $12-17^\circ$ і більше необхідне застосування спеціалізованих крутосхильних тракторів або проведення терасування – процесу формування горизонтальних або уступоподібних майданчиків за допомогою спеціальної техніки для забезпечення стабільного та безпечного

функціонування агроагрегатів.

Загалом природна екологічна ситуація, яка формується під впливом як природних, так і антропогенних факторів, визначає вибір технологічних операцій, добір машин для їх реалізації, а також впливає на умови й якість виконання механізованих робіт.

Природні фактори, що впливають на якість агровиробництва, водночас формують і технологічні умови, оскільки сама технологія є похідною від умов вирощування та біологічних властивостей культур. Розробка й впровадження технологій здійснюється з урахуванням специфіки окремих сільськогосподарських культур та природно-кліматичних особливостей конкретного регіону.

Технологія обробітку ґрунту й вирощування культур здатна змінювати природні властивості як ґрунту, так і рослин. Наприклад, оранка впливає на щільність ґрунту, внесення добрив – на його хімічний склад, а спосіб вирощування культур може змінювати морфологічні та хімічні характеристики самих рослин. У цьому контексті технологічні властивості ґрунтів і рослин слід розглядати як результат взаємодії природного середовища та людської діяльності через вплив технології й технічних засобів.

Під технологічними властивостями сільськогосподарських матеріалів розуміють їхню здатність чинити опір робочим органам машин, впливати на ступінь їх зношення, а також визначати продуктивність і якість виконання механізованих операцій [13].

Вибір технологічних операцій і конкретних їх варіантів значною мірою залежить від технологічних властивостей ґрунту та рослин. Ці властивості визначають, які методи обробітку будуть найефективнішими в конкретних агроекологічних умовах.

До технологічних властивостей ґрунту, які впливають на якість обробітку, вирощування рослин належать наступні показники: товщина орного шару, кількість гумусу, хімічний склад та фізико-механічні властивості – механічний і структурний склад, вологість, щільність, липкість, твердість.

До технологічних властивостей рослин, що мають прямий вплив на умови роботи сільськогосподарських машин, передусім належать характеристики посівного або садивного матеріалу. Серед них ключовими є: життєздатність; схожість; вирівняність; чистота насіння.

Усі зазначені показники є результатом якісної передпосівної обробки та підготовки насіннєвого матеріалу. Вони мають критичне значення для точності й надійності роботи сівалок, впливають на рівномірність висіву, щільність розміщення рослин у рядках і міжряддях. Це, своєю чергою, позначається на ефективності виконання доглядових операцій (прополка, підживлення, міжрядна обробка) та, зрештою, визначає рівень урожайності.

Не менш важливими є морфометричні властивості рослин, серед яких слід виділити: висоту рослин; діаметр і міцність стебел; розміри й масу насіння, плодів, бульб або коренеплодів.

Ці параметри впливають на налаштування сільськогосподарської техніки, особливо під час збирання, коли точність роботи машин є вирішальною для мінімізації втрат і забезпечення високої якості продукції.

Зазначені властивості рослин мають вирішальне значення для налаштування робочих органів машин, особливо на етапі збирання врожаю. Серед ключових факторів також виділяють вологість рослинних тканин і концентрацію накопичених біологічно активних речовин, оскільки саме вони визначають оптимальні строки збору врожаю та безпосередньо впливають на технологічні умови й якість функціонування збиральної техніки.

На ефективність машин для догляду за рослинами і для збору врожаю впливають також механічні характеристики рослин – зокрема, міцність окремих органів і частин, їх здатність до деформацій: розтягування, стискання, згинання, зношування, а також взаємодія з інструментами через тертя, різання, відокремлення чи відхилення.

Крім того, важливу роль відіграють сили зчеплення рослин із ґрунтом, оскільки вони визначають, наскільки ефективно відбувається їхнє виривання чи підкопування, а також імовірність механічного пошкодження або втрати

продукції під час механізованих операцій.

Таким чином, частину показників, що характеризують технологічні властивості ґрунту й рослин, можна розглядати як такі, що формують технологічні умови функціонування сільськогосподарських машин. Інші ж безпосередньо визначають якість виконання технологічних операцій.

До технологічних факторів впливу на якість належить, зокрема, вибір агротехнічного строку проведення тієї чи іншої операції – моменту, коли умови є найбільш сприятливими для досягнення високої ефективності та якості.

До технічних факторів відносять усе, що пов'язано з конструктивними особливостями, технічними параметрами та станом сільськогосподарської техніки, а також засобами її налаштування, контролю роботи і обслуговування.

Особливістю функціонування сільгоспмашин є те, що вони здебільшого працюють на відкритому повітрі, у природному середовищі, де присутні живі біологічні об'єкти – рослини, ґрунтові організми тощо. Технологічні операції виконуються в основному шляхом переміщення машини по полю, що обумовлює змінні умови роботи. Крім того, одна й та сама машина може використовуватися на різних етапах виробничого процесу та в різні періоди вегетації.

Час використання техніки значною мірою обмежується агростроками, що диктуються біологією культур. Більшість машин експлуатуються в умовах підвищеної абразивності (пил, тверді частинки ґрунту), що призводить до інтенсивного зношування їхніх робочих органів і вимагає особливої уваги до технічного обслуговування.

Так, при затупленості лемішу плуга змінюються в бік погіршення такі основні показники якості оранки як: середня глибина та відхилення від середньої глибини. Це проілюстровано на рисунку 4.8,А, криві якого побудовано за даними Веденяпіна Г.В. [24].

На рисунку 4.8, Б зображено криві частот розподілу насінин по глибині у відсотках в залежності від ступеня зношеності робочих органів сівалки [24]. Як видно, нова сівалка (поз. 1) забезпечує загортання всього насіння за

агровимогами, тобто на задану глибину з відхиленням ± 10 мм. При середній зношеності робочих органів вже частина насіння загортається поза агровимогами, тобто в межах $\pm 10 \dots 15$ мм (поз. 2). При високому ступені зношеності (поз. 3) понад 25% насіння загортається за допустимими межами агровимог. Таким чином, при старінні сівалки якість сівби може знизитися до такого ступеня, що чверть висіяного насіння буде вважатися як брак в роботі сівалки.

Організаційні фактори впливають, чи не найбільше на якість робіт, враховуючи різноманітність попередніх об'єктивних і суб'єктивних факторів. Якість роботи сільськогосподарських машин визначається не лише технічними й технологічними факторами, а й низкою організаційних чинників. Серед них важливу роль відіграє форма господарювання, а також оптимальність складу машинно-тракторного парку відповідно до потреб господарства.

Рівень якості механізованих робіт залежить від правильної організації польових сівозмін, добору сортів вирощуваних культур, конфігурації й розмірів полів. Значення має також раціональний розподіл техніки між різними видами робіт, вибір типів машин та агрегатів, їх правильне застосування в полі – з урахуванням напрямку руху, схеми загінок, мінімізації розворотів тощо.

Вагомим чинником є умови праці механізаторів і спеціалістів, а також забезпечення їх сучасними засобами контролю за якістю технологічних операцій. Продуктивність техніки часто залежить від того, наскільки працівники мають змогу контролювати процеси в реальному часі.

Серед організаційних факторів ключове значення має кваліфікація персоналу – досвід, рівень підготовки механізаторів і фахівців. Саме від їхнього професіоналізму залежить здатність врахувати широкий спектр факторів, які визначають ефективність і якість роботи техніки в полі.

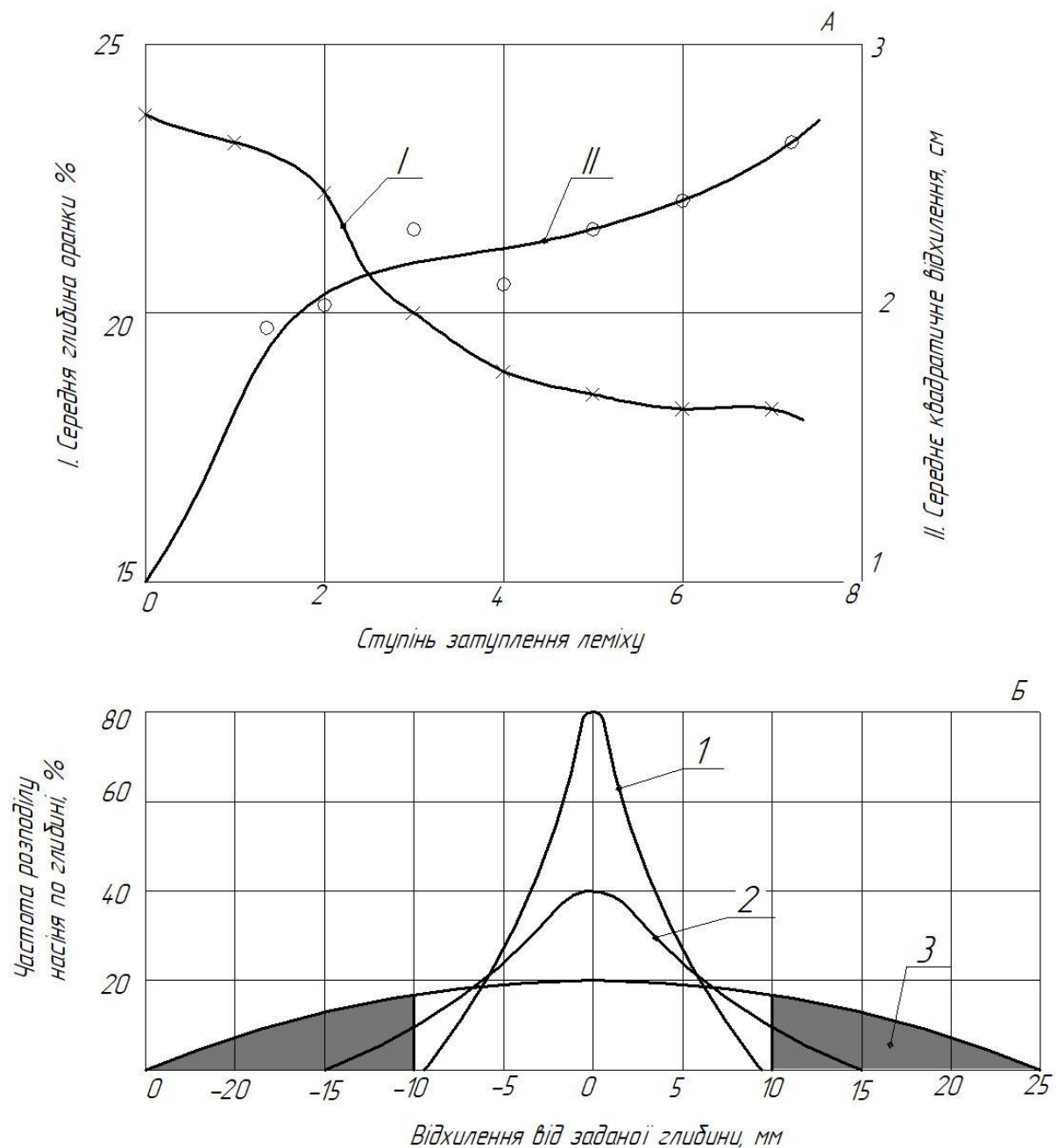


Рис 4.8. Вплив ступеня зношення робочих органів сільськогосподарських знарядь і машин на якість роботи:

А - затупленість леміша плугу, Б – зношеність сівалки: 1 - нова не зношена, 2 - середня ступінь зношеності, 3 – сильно зношена (брак заштриховано)

4.5. Тенденції перспектив підвищення якості робіт в рослинництві та розвитку методів і засобів агрооцінки

Від початку існування землеробства людина визначила так чи інакше терміни, умови і якість виконання робіт в сільському господарстві. І землероб цим вимушений був займатися задовго до виникнення агрономічної науки.

Тому можна виділити кілька етапів в землеробстві по оцінці стану ґрунту і рослин, по оцінці якості робіт при вирощуванні цих рослин, при збиранні врожаю [13].

Перший етап, який можна назвати як *інтуїтивно-спостережний*, коли землероб спостерігав за ґрунтом, за рослинами і на основі досвіду предків, власного досвіду оцінював умови і якість робіт в землеробстві. Очевидно, цей етап існував кілька тисячоліть і інтуїція була його основним методом.

Другий етап, *органолептичний*, виник в надрах інтуїтивно-спостережного, коли землероб поряд з інтуїцією почав широко використовувати в оцінці умов і якості робіт органи чуття, визначаючи «на око» та за допомогою дотику вологість, температуру ґрунту, стиглість рослин тощо.

З появою писемності, наук, в тому числі агрономічної, з'являється можливість одночасно з інтуїтивно-спостережними і органолептичними методами застосувати в землеробстві, в рослинництві перші пристосування, прилади для визначення якості робіт. Цей третій етап можна назвати як *вимірювально-реєстраційний*. Землероб вже міг вимірювати, записувати, узагальнюючи і реєструючи накопичений досвід першого і другого етапу в розвитку методів і засобів визначення умов і якості робіт в рослинництві.

Зараз можна вважати наступив четвертий етап визначення технологічних умов та якості робіт в рослинництві, коли застосовуються *комплексно-лабораторні методи і прилади кількісного визначення показників* роботи сільгоспмашин при виробництві рослинної продукції, тобто коли в агропромисловому комплексі застосовують комплекти приладів і пристосувань, спеціальні методи, спеціалізовані лабораторії.

В сучасному агропромисловому комплексі також набувають розповсюдження *автоматизовані комп'ютерні системи* зі супутниковим забезпеченням реєстрації, аналізу технологічних умов і визначення якості робіт. Таким чином, з'являються перші ознаки п'ятого перспективного етапу в

розвитку світового моніторингу в землеробстві, в рослинництві.

При цьому підвищення якості робіт у виробництві рослинної продукції, розвиток методів і засобів відбувається в декількох напрямках.

Головний напрямок - це створення і впровадження у виробництво рослинної продукції машинних технологій високої якості з високим коефіцієнтом реалізації біопотенціалу сільськогосподарських культур. При цьому має значення розробка так званих гнучких технологій, які забезпечують оптимальне виробництво продукції стосовно конкретного господарства і поля, як по окремих найбільш важливих критеріях, так і в кінцевому результаті по комплексних показниках. При такому підході господарник для прийняття технологічних рішень повинен мати в своєму арсеналі альтернативи щодо кожного ступеня ієрархічної піраміди управління якістю технологічних операцій і процесів формування врожаю, починаючи з двох-трьох варіантів технологій, способів, маючи інформаційне забезпечення про стан і рух системи «грунт-рослина-машина». Пофакторним аналізом встановлено, що внесок складових елементів технологій в реалізацію біопотенціалу рослин складає: сорт і якість насіннєвого матеріалу 40-50%, технологічні операції і технічні засоби та якість їх роботи 20-30%, ефект взаємодії 20%, випадкова складова - 10% [13].

Інтенсивна, економічно доцільна технологія високої якості збільшує коефіцієнт реалізації біопотенціалу рослин до 0,8-0,9 долей одиниці, забезпечуючи значне збільшення виробництва конкурентоспроможної рослинної продукції. Завдяки збільшенню частки площ під інтенсивними технологіями можливий перехід до загального інтенсивного землеробства, зменшуючи обсяг земель, що обробляються. Повернення частини площ до природнього стану впровадження агроекотехнологій (суміщення кількох культур) дасть можливість підвищити рівень збалансованості екосистеми в країні і в цілому на Землі. Відомо, що зараз в Україні кількість розораних земель досягла катастрофічного рівня - 83%. В той час як в США цей рівень становить 25%, а в Європі 30% [13].

Останнім часом постає проблема перенасичення сільського господарства технікою, її негативного впливу на ґрунт, на довкілля. Тому розробляються операційно-мінімальні агротехнології з мінімальним складом машин. Пропонується також застосування постійних технологічних колій, тобто так званого колійного землеробства [13].

Розробка високоякісних конструкцій сільськогосподарської техніки, оснащення машин засобами автоматизованого контролю за їхнім переміщенням і за якістю виконання технологічних операцій – це другий ключовий напрям підвищення ефективності робіт у рослинництві.

Особливу роль у цьому процесі відіграє впровадження сучасних агрокваліметричних методів – систем оцінювання якості та продуктивності роботи машин на основі вимірювання параметрів у реальному часі. Використання подібних технологій дозволяє не лише забезпечити стабільну якість операцій, а й оперативно реагувати на відхилення, знижувати втрати ресурсів та підвищувати загальну ефективність виробництва.

Для забезпечення ефективної роботи мобільної сільськогосподарської техніки необхідно впроваджувати системи вимірювання, обліку та контролю її параметрів, а також засоби захисту основних механізмів, регулювання та управління технічними процесами. Важливими є вибір оптимальних режимів роботи машин і забезпечення відповідного рівня якості виконання технологічних операцій.

У цьому контексті машина, її робочі органи та сам технологічний процес виступають як об'єкти контролю і регулювання. У поєднанні з відповідним обладнанням – засобами вимірювання, захисту та управління – вони формують цілісну систему автоматизованого контролю та керування.

Відповідно до підходів автоматизації, системою вважається сукупність об'єкта керування та пристрою, що забезпечує його регулювання або контроль, спрямоване на досягнення заданих параметрів і стабільність технологічного процесу [13].

У структурі сучасного сільськогосподарського машинобудування

виокремлюють три основні напрями автоматизації, що безпосередньо впливають на якість виконання технологічних операцій: 1) системи автоматичного контролю; 2) пристрої автоматичного водіння; 3) системи автоматичною регулювання технологічних процесів.

Принцип дії автоматизованих систем контролю, встановлених на сільськогосподарських машинах, полягає у використанні датчиків, які монтуються у ключових точках конструкції. Ці датчики передають інформацію про параметри процесу в реальному часі.

Конструкції та типи датчиків варіюються залежно від об'єкта моніторингу. Якщо контроль здійснюється за переміщенням техніки або об'єктів (наприклад, насіння, добрив, рослин), застосовуються одні типи сенсорів. Якщо ж необхідно стежити за властивостями технологічного середовища або матеріалу (вологість, температура, густина, тиск тощо), використовуються інші типи.

Сигнал, що надходить від датчика, передається електричним струмом через провід до підсилювального пристрою, після чого інформація виводиться на пульт керування, розміщений у кабіні тракториста або оператора. Залежно від зафіксованих змін у режимі роботи чи якості виконання технологічного процесу, система подає візуальний сигнал (відхилення стрілки на шкалі, засвічування табло) або звукове попередження. Такі сигнали вказують на відхилення від заданих параметрів, що дозволяє своєчасно реагувати на порушення у роботі машини або якості процесу.

Системи автоматичного контролю класифікуються за типами сільськогосподарських машин і функціональним призначенням. Наприклад, для ґрунтообробних машин застосовуються системи контролю: глибини обробітку, ширини захвату, напрямку руху, обліку обробленої площі.

Типовим прикладом є сигналізатор порушення заданої глибини оранки, який дозволяє виявити відхилення від агротехнічних вимог і оперативно внести корективи в роботу (рис. 4.9).

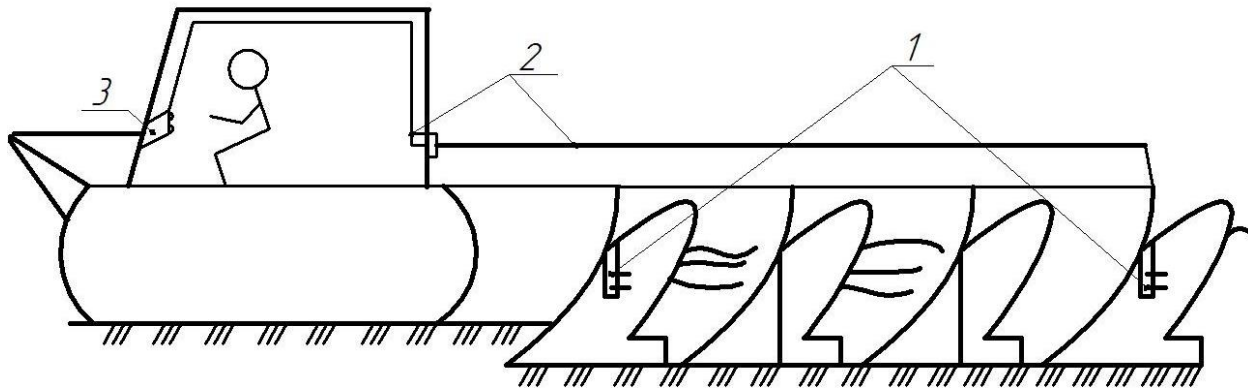


Рис. 4.9. Схема сигналізатора порушення заданої глибини оранки:

1 - первинний перетворювач; 2 - лінія зв'язку; 3 - блок сигналізації

У машинах для внесення добрив використовуються системи автоматизованого контролю, які забезпечують моніторинг норми внесення, рівномірності розподілу матеріалу та залишку добрив у бункері. Аналогічно, на сівалках і саджалках системи контролю дозволяють відстежувати процес і норму висіву, рівень насіння в завантажувальному бункері, а також глибину занурення сошників у ґрунт.

Однією з найпоширеніших автоматизованих систем цього типу є система «Кедр», що встановлюється на сівалках точного висіву типу СЗ та УПС. Вона складається з датчиків висіву, які містять первинні перетворювачі та підсилювачі сигналу, а також датчиків рівня насіння. Усі кабелі датчиків під'єднані до електронного блоку, розміщеного в центральній частині сівалки.

Цей блок включає: набір контрольних пристроїв; дешифраторну матрицю; діодну схему для підключення звукового генератора.

Зв'язок між електронним блоком і пультом управління в кабіні трактора забезпечується через спеціальний кабель. На пульті розміщено світлові індикатори, звуковий генератор, підсилювач сигналу та модуль самодіагностики, що забезпечує контроль справності системи.

У збиральній техніці, зокрема на зернозбиральних комбайнах, автоматизовані системи контролю охоплюють низку важливих функцій. До них належать:

- контроль за втратами зерна під час збирання – один з ключових показників ефективності роботи комбайна;
- моніторинг рівня заповнення зернового бункера, що дозволяє уникнути переповнення й простоїв;
- датчики контролю забивання шнеків, які попереджають про порушення у роботі транспортуючих механізмів.

Уся отримана інформація виводиться на пульт управління комбайнера, де розміщені світлові індикатори і звуковий генератор. Це дає змогу оператору в реальному часі реагувати на відхилення, оперативно вносити корективи та забезпечувати стабільну якість збирання врожаю.

Контроль втрат зерна у зернозбиральних комбайнах здійснюється за допомогою спеціалізованих п'єзодатчиків або мікрофонного типу сенсорів, які розміщуються під соломотрясом і решітною системою очищення. Ці датчики фіксують удари зернин, що падають на їхню поверхню, перетворюючи їх у електричні імпульси, кількість яких пропорційна обсягу втрат.

Сигнал з датчиків обробляється аналоговими або цифровими засобами, після чого результати виводяться на індикаторну шкалу у вигляді відсотків втрат. Через складність оперативного охоплення всієї маси обмолоченої продукції, система зазвичай надає опосередковані (попередні) дані, що дещо обмежує точність показників.

Оскільки інтенсивність втрат значною мірою залежить від швидкості руху комбайна, до складу системи обов'язково входить датчик робочої швидкості, який дозволяє враховувати цей фактор у розрахунках і коригувати параметри роботи комбайна в режимі реального часу.

Існують автоматизовані системи, які дозволяють оцінювати втрати зерна у перерахунку на одиницю площі. У таких системах зазвичай використовується п'ять датчиків: два розміщуються за соломотрясом, два – позаду решітної системи очищення, а один датчик фіксує пройдений шлях комбайна.

За допомогою перемикача режимів, оператор може виводити на

градуйований індикатор окремі значення: втрати за соломотрясом; втрати за решетами; загальні втрати зерна.

Система має можливість переналаштування під конкретні зернові культури, що забезпечує її універсальність у межах збиральної кампанії. Гранично допустимі значення втрат задаються вручну відповідно до агротехнічних вимог. У разі перевищення встановленого порогу вмикається звуковий сигнал, що слугує попередженням для комбайнера і дозволяє оперативно скоригувати параметри роботи.

Пристрої автоматичного водіння сільськогосподарських агрегатів є важливим елементом сучасної системи автоматизації, особливо з огляду на те, що під час операцій, таких як оранка, культивування, сіяння, до 90% інформаційного навантаження на тракториста становить необхідність утримання точного напрямку руху.

Забезпечення прямолінійного ходу агрегату дозволяє: уникати огріхів при обробі; зберігати рівномірність рядків; запобігати пошкодженню культурних рослин; зменшити перевитрати пального та часу.

Автоматичне водіння реалізується через програмне забезпечення, дистанційне телеуправління, лазерні системи орієнтації або комбінацію зазначених технологій. Це значно зменшує навантаження на оператора і забезпечує стабільну якість виконання механізованих робіт, особливо на великих площах чи в умовах обмеженої видимості.

У системах автоматичного водіння з програмним управлінням рух агрегату відбувається відповідно до заздалегідь заданої програми, яка відтворюється автоматичними пристроями. Програму можна формувати безпосередньо на місцевості, у самій машині, або шляхом поєднання обох підходів.

При програмуванні на місцевості напрям руху задається через орієнтири, що утворюються робочими органами сільськогосподарських машин або спеціальними маркерними пристроями. У цьому випадку базовими лініями можуть слугувати: перша борозна, прокладена при оранці; спеціальна щілина,

утворена під час сівби і зчитувана в процесі міжрядного обробітку; маркерні лінії, зроблені в ґрунті або нанесені контрастною речовиною; рядки культурних рослин; валки скошеної маси або крайки нескошених стебел.

Таке програмування дозволяє агрегатам зберігати точний напрямок руху, забезпечуючи високу якість механізованих операцій навіть за складних умов рельєфу чи обмеженої видимості.

Серед засобів автоматичного водіння найбільш поширеними є копіювальні пристрої. Вони забезпечують стабільне дотримання заданого напрямку руху агрегату по борозні, валку чи рядку культурних рослин.

Принцип дії копіювального пристрою полягає в наступному: при відхиленні машини від орієнтиру (наприклад, трактор від борозни, комбайн від валка), копіювальний елемент виходить із нейтрального положення й активує контактний або безконтактний сигналогенератор. Сформований сигнал передається до гідравлічного підсилювача, де він посилюється і подається на гідроциліндр, який, у свою чергу, здійснює коригувальне повертання механізму кермового управління.

У результаті машина повертається на попередню траєкторію руху, що дозволяє забезпечити точне виконання технологічної операції з мінімальними огріхами.

Значний якісний прорив в автоматизації сільськогосподарських робіт було досягнуто із впровадженням пристроїв автоматичного водіння для самохідних коренезбиральних машин. У таких системах застосовуються механічні датчики-щупи, які переміщуються в міжряддях і зчитують положення рядків. Ці датчики з'єднані з гідравлічною системою, що здійснює управління поворотними колесами машини.

Передбачено можливість перемикання між автоматичним та ручним режимом управління, що забезпечує гнучкість та адаптивність у роботі.

Особливо помітний ефект від застосування цієї технології спостерігається під час збирання цукрових буряків. Автоматизація водіння дала змогу суттєво підвищити швидкість руху техніки, а отже – і

продуктивність агрегатів. При цьому повнота збирання досягає 98-99%, що свідчить про високу якість виконання збиральних операцій і забезпечує мінімальні втрати та високу збереженість коренеплодів.

Радіонавігаційні системи телеуправління для автоматичного водіння сільськогосподарських агрегатів перебувають на стадії активного розвитку. У практиці використовуються як стаціонарні наземні системи радіонавігації, так і супутникові технології (GNSS, GPS), які забезпечують високу точність керування навіть на великих площах.

Проте основною перешкодою для масового впровадження таких систем залишається їх висока вартість, що обмежує доступність технологій для широкого кола аграріїв, особливо в малих і середніх господарствах.

Водночас найбільш перспективним і стратегічно важливим напрямом автоматизації в аграрній техніці з точки зору підвищення якості виконання робіт є впровадження систем автоматичного регулювання технологічних процесів. Саме такі системи забезпечують точне дотримання параметрів обробітку, внесення, висіву, збирання тощо – тобто безпосередньо впливають на кінцеву якість сільськогосподарського продукту. При цьому під методами регулювання розуміють сукупність принципів, способів, операцій, прийомів, за допомогою яких сільгоспмашини виконують необхідний алгоритм функціонування. Для цього в умовах постійно діючих на машину внутрішніх і зовнішніх збурювань необхідно організувати дії управління, регулювання, відповідні алгоритму управління. Сукупність об'єкта регулювання і пристрою автоматичного регулювання являє собою систему автоматичного регулювання [13].

Для хімічного обробітку садів розроблена система, яка виключає втрати робочої рідини, запобігає надмірному забрудненню довкілля отрутохімікатами тому що рідина подається до розпилювачів тільки при наявності крони дерев, яку виявляють за допомогою ультразвукової локації (рис. 4.10). Для автоматичного очищення розпилювачів розроблена система, принцип дії якої полягає в тому, що при порушенні режиму роботи одного із обпилювачів в

гідросистему подається рідина під тиском і частотою, що в 2,5-3 рази перевищує робочий тиск, в результаті чого робочі органи очищуються.

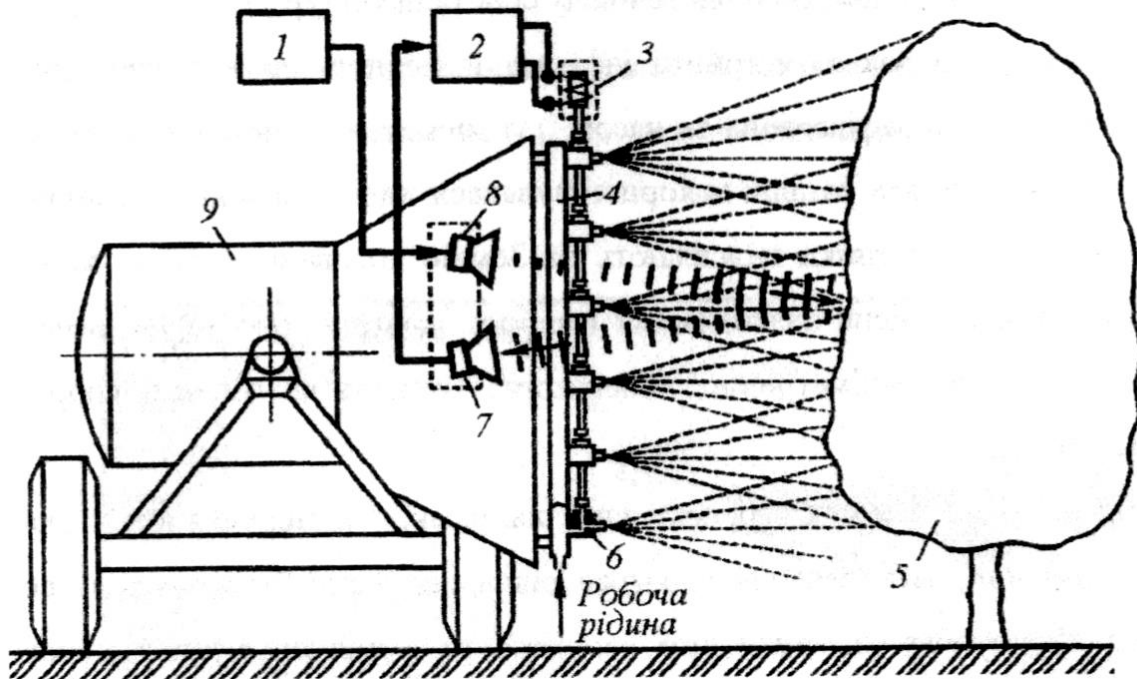


Рис. 4.10. Схема системи автоматичного управління садовим обприскувачем:

- 1 - генератор збудження ультразвуку; 2 - підсилювач; 3 - електромагнітний виконуючий механізм; 4 - трубопровід робочої рідини; 5 - крона дерева;
- 6 - клапан включення подачі робочої рідини до розпилювачів обприскувача;
- 7 - приймач ультразвукових хвиль; 8 - ультразвуковий випромінювач;
- 9 - ємкість робочої рідини

Системи автоматичного регулювання в процесі збирання врожаю ґрунтуються на підтримуванні певної заданої висоти зрізу, глибини підкопування тощо, а також системи регулювання навантаження робочих органів, двигунів для оптимізації швидкості технологічних процесів, що суттєво впливає на якість їх виконання. Такі системи застосовують в зернозбиральних комбайнах та в комбайнах для збирання картоплі, цукрових буряків.

Крім того, самі методи і засоби агрооцінки потребують вдосконалення та розробки нових. В цьому відношенні найбільш перспективні методи оперативного визначення агротехнічних показників та портативні засоби і їх

комплекти з оцінкою не тільки проміжних показників, а і їх впливу на кінцевий результат, особливо на врожайність.

Пропонується ціла система управління станом земель (агромоніторингу), яка у загальному вигляді складається зі слідуючих етапів: 1) відбір проб ґрунту, рослин, врожаю, 2) аналіз цих проб та накопичення інформації (досвіду); 3) розробка рекомендацій на основі аналізу та попереднього досвіду по коригуванню стану угідь; 4) реалізація рекомендацій; 5) відбір проб для аналізу якості та ефективності проведених заходів; 6) аналіз цих проб і т.д [13]. При цьому передбачається використання новітніх зразків спектрофотометрів, фотоелектрокалориметрів, кишенькових приладів, а також перспективних спрощених методик визначення показників ґрунту та рослин із застосуванням нових реагентів, що дає змогу експрес-методами та експрес-приладами проводити аналіз безпосередньо в полі в найкоротші строки.

Реалізація перспективної метрологічної бази агрометрії передбачає високу точність розбивки поля на елементарні ділянки, механізацію відбору проб, застосування на рівні районів і великих господарств мобільних лабораторій, які повинні забезпечити ефективний збір, зберігання і обробку інформації про технологічний стан поля, рослин, про якість виконання технологічних операцій і процесів, про вплив цих показників на врожайність, на реалізацію біопотенціалу сільгоспкультур.

Отримана інформація з певного поля, певної його ділянки може бути зафіксована за часом і за місцем на основі сигналів супутникової системи, яка раніше використовувалася лише у військових цілях для навігації. Такі супутники надсилають на Землю кодовані сигнали, за якими фіксується час і місце знаходження (широта, довгота, висота) приймача,

Отже, одним із найперспективніших напрямів підвищення якості роботи сільськогосподарських машин та ефективної реалізації біологічного потенціалу сортів культур є створення інтегрованої системи якості, що

базується на аналізі та моніторингу стану сільськогосподарських угідь із використанням комп'ютерних програм, супутникового зв'язку та геопозиціонування.

Такі системи дозволяють:

- точно визначати координати на полі;
- здійснювати моніторинг ґрунтів, рослинного покриву, якості виконання технологічних операцій;
- впроваджувати диференційований підхід до обробітку окремих ділянок поля, що мають різні агрофізичні властивості.

У майбутньому планується розробка спеціалізованих супутникових випромінювачів і приймачів, які зможуть на відстані оцінювати технологічний стан ґрунту, польових культур, рівень виконання робіт – тобто створити умови для прецизійного землеробства.

Це дозволить перейти від узагальнених технологій, що враховують лише природно-кліматичну зону, до локалізованих підходів, які базуються на особливостях конкретного господарства, поля або навіть його окремих ділянок. Такий підхід забезпечує максимальну ефективність, високу врожайність і водночас – мінімальні витрати ресурсів і праці.

Очевидно, на зміну інтенсивної технології повинна прийти так звана технологія «точного землеробства». Суть цієї технології полягає в тому, що замість середніх (інтегральних) норм розподілу технологічних матеріалів (добрив, пестицидів) будуть застосовані адаптовані (диференційовані) норми відповідно до кожної ділянки поля .

Для реалізації такої високотехнологічної системи землеробства необхідно розробити універсальну методику визначення місцезнаходження машинно-тракторного агрегату з високою точністю. Це передбачає створення спеціалізованих приладів і сенсорів, здатних оперативно та достовірно збирати дані, що впливають на якість виконання сільськогосподарських робіт, при цьому залишаючись доступними за ціною.

Крім того, потребують розробки регресійні моделі, які

встановлюватимуть зв'язок між умовами вирощування культур, рівнем урожайності та якістю продукції. Це дозволить проводити прогнозування і приймати обґрунтовані технологічні рішення.

Необхідно також створити нове покоління автоматизованих машин із вбудованими системами управління, які: адаптують норми внесення добрив і ЗЗР у режимі реального часу; підлаштовують режими обробітку ґрунту відповідно до конкретних умов поля та координат агрегату; забезпечують точне виконання технологічного завдання на будь-якій ділянці.

Впровадження такої системи дає змогу мінімізувати вплив несприятливих чинників зовнішнього середовища, значно підвищити врожайність сільськогосподарських культур, знизити витрати та обмежити техногенне і хімічне навантаження на ґрунт і довкілля.

Станом на сьогодні система «точного землеробства» перебуває у фазі активного розвитку та розробки необхідного технічного та програмного забезпечення її реалізації. Сутність, особливості та стан впровадження системи «точного землеробства» будуть розглянуті в одній із лекцій даного посібника

Отже, суттєве підвищення рівня реалізації біологічного потенціалу сільськогосподарських культур і ефективного використання земельних ресурсів можливе лише за умови впровадження сучасних систем управління технологічними процесами. Ключову роль у цьому відіграє інтеграція системи якості «Машина-Поле», яка поєднує точне управління механізованими операціями з адаптацією до конкретних умов поля. При цьому необхідно розробити моделі, які зв'язують показники якості роботи машини зі станом системи «рослина-ґрунт», створити банк даних ґрунтово-кліматичних умов; обґрунтувати перелік показників якості роботи технічних засобів, розробити технологію збирання необхідної інформації.

Питання для самоконтролю:

1. Які етапи розвитку у визначенні показників технологічного стану поля та якості робіт в землеробстві?
2. Які основні напрямки підвищення якості робіт в рослинництві?
3. Як відбувається розвиток і вдосконалення методів і засобів агротехнічної оцінки?
4. Які основні шляхи автоматизації в роботі сільськогосподарських машин і їх значення для забезпечення якісної роботи?
5. В чому суть системи управління станом земель (агромоніторингу)?
6. Які засоби застосовують в перспективній системі агромоніторингу?
7. В чому полягає суть системи «точною землеробства»?
8. Що таке агротехнічна оцінка і яку роль вона відіграє в системі «Машина–Поле»?
9. Які показники використовують для визначення фізико-механічних властивостей ґрунту?
10. Які параметри впливають на якість роботи ґрунтообробної, посівної та збиральної техніки?
11. Як оцінюється рівномірність посіву, глибина обробітку, ступінь подрібнення ґрунту тощо?
12. Які сучасні технології сприяють підвищенню точності агрооцінки?
13. Які напрямки розвитку методів агрооцінки в рослинництві є найбільш перспективними?

5. СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ, ЯК АКТИВНИЙ ДІЮЧИЙ ФАКТОР СИСТЕМИ «МАШИНА-ПОЛЕ»

5.1. Особливості проектування сільськогосподарських машин.

Проектування сільськогосподарських машин – це процес створення механізованих засобів, призначених для виконання конкретних технологічних операцій у межах сільськогосподарського виробництва. Цей процес охоплює вибір принципу дії, конструктивних елементів і технічних характеристик майбутньої машини.

Ключовим фактором, що визначає особливості конструктивного рішення, є умови експлуатації техніки – тип ґрунтів, кліматичні особливості регіону, характер і інтенсивність механізованих робіт. Врахування цих чинників на етапі проектування забезпечує ефективність, надійність і довговічність технічного засобу в умовах його реального використання.

Процес проектування полягає у розробці конструкторської та іншої технічної документації, призначеної для створення нових видів та зразків сільськогосподарських машин та знарядь. У період проектування виконуються технічні та економічні розрахунки, схеми, графіки, макети, складаються пояснювальні записки, специфікації та описи.

Проектування сільськогосподарських машин здійснюють фахівці конструкторських організацій, науково-дослідних інститутів, конструкторських бюро при заводах та організаціях.

5.1.1. Вирішення особливого кола завдань при проектуванні сільськогосподарських машин

Підйом сільського господарства, зростання виробництва продуктів харчування та сировини для промисловості багато в чому залежать від його технічної озброєності, від розробки машин з високими техніко-економічними показниками, що відповідають умовам кожної сільськогосподарської зони

країни та способам господарювання, різновидами яких є колективні, фермерські, присадибні. та ін.

При створенні нових машин і модернізації тих, що серійно виробляються, велика увага повинна приділятися підвищенню продуктивності машин, підвищенню якості виконання технологічного процесу машиною, підвищенню надійності і довговічності забезпечення заданого наробітку машиною без ремонту із заміною деталей, що швидко зношуються, дотримання єдиних правил техніки безпеки та гігієни праці. Найважливішим завданням машинобудівників є те, щоб створювалися такі конструкції машин, які змогли б працювати без будь-якого технічного обслуговування протягом цілого сезону експлуатації.

Крім того, при створенні нових сільськогосподарських машин постійно існують інженерно-агромічні проблеми використання їх у сільськогосподарському виробництві, головним чином у рослинництві. Так, оптимум проростання насіння цукрових буряків лежить у межах 30-35% вологості ґрунту, а можливості якісної роботи сучасних робочих органів поки що знаходяться лише в межах 15-20% вологості ґрунту, тобто. коли відбувається найменше залипання їх і забезпечується високий рівень кришення ґрунту. Конструкторам ще дуже багато потрібно попрацювати, щоб зменшити розрив вологості ґрунту між оптимумом та технічною можливістю робочих органів, що зменшуватиме втрати врожаю. Другий приклад. Рівномірність глибини загортання насіння в ґрунт дуже впливає на врожайність культури. Сьогодні для зернових компромісним оптимумом відхилень від заданої глибини сівби є 0,5 см при глибині сівби до 4 см і $\pm 1,0$ см – понад 4 см. У той же час, наприклад, виведені високоврожайні карликові сорти пшениці, які потребують оптимуму глибини загортання насіння всього 1,5...2,0 см, що нереально для сучасних зернових сівалок. Тому для цих сортів було встановлено компромісний оптимум глибини сівби 4...5 см, що, безумовно, позначається на врожайності.

З наведених прикладів випливає, що при розробці технічного завдання на проектування будь-якої сільськогосподарської машини вибираються компромісні оптимуми між умовами росту рослин та можливістю інженерного рішення в машині, між міцністю плодів рослин та зусиллями, що прикладаються до них машиною, тощо, які в більшості своїй не збігаються.

При проектуванні сільськогосподарських машин слід пам'ятати про наслідки їх взаємодії з навколишнім середовищем. Причому кожна машина по-своєму впливає на природу та людину. Але є й загальні питання впливу, які притаманні майже всім мобільним машинам – деформація та ущільнення ґрунту рушіями цих машин. Регламентує норми впливу рушіїв на ґрунт ДСТУ 4521:2006 (Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт). Крім усього, слід враховувати думку ряду вчених, яку висловив академік В.А. Кубишев, що сільгосптехніка та інші машини масою понад 10 т не повинні виїжджати на поле, оскільки вони ущільнюють ґрунт на глибину до 1 м, а оранка ґрунту відбувається на глибину до 35...40 см; підорний шар залишається переущільненим, в ньому відбувається поступове згасання життя мікроорганізмів через погіршення доступу в цей шар вологи і повітря, що в результаті призводить до втрати родючості ґрунту.

5.1.2. Тенденції у проектуванні сільськогосподарських машин

Як відомо, головним рушієм технічного прогресу є потреба у нових засобах праці. Відповідно, тенденції в проектуванні сільськогосподарських машин безпосередньо залежать від запитів агровиробництва та змін у структурі сільського господарства.

Сучасну потребу в новій аграрній техніці можна окреслити кількома ключовими положеннями. Перш за все, близько 20% працівників у сільському господарстві все ще зайняті на ручних операціях, що суттєво знижує продуктивність праці та ефективність виробництва. Особливо гостро це питання постає в умовах нових форм господарювання, зокрема фермерських і

малих сімейних господарств, де ресурси обмежені, а навантаження на людину – високе.

У цьому контексті пріоритетним завданням для галузі сільськогосподарського машинобудування залишається створення техніки, яка забезпечить повну механізацію всіх етапів агровиробництва – від підготовки ґрунту до збирання врожаю і післязбиральної обробки. Такі машини мають бути адаптивними, економічно доступними та придатними до умов роботи в господарствах різного масштабу.

Крім необхідності повної механізації сільськогосподарських процесів, важливо також враховувати енергоефективність аграрної техніки. За наявними оцінками, вітчизняні машини виконують технологічні операції з енерговитратами, які у 2,5-3 рази перевищують відповідні показники в розвинених країнах. Це вказує на нагальну потребу в удосконаленні конструкцій з урахуванням енергозбереження як одного з ключових критеріїв якості.

У зв'язку з цим одним із пріоритетних напрямів розвитку машинобудування є розробка техніки, що забезпечує виконання менш енергоємних технологічних процесів, без зниження якості результату.

Одним із прогресивних підходів до вирішення цього завдання є створення багатофункціональних машин на базі блочно-модульних або уніфікованих конструкцій. Такі рішення дозволяють використовувати одну базову машину з різними змінними робочими модулями, що зменшує потребу в окремих спеціалізованих агрегатах, знижує витрати енергії, спрощує обслуговування та підвищує адаптивність до різних умов виробництва.

Як ніколи гостро ставиться питання створення та впровадження зональних комплексів ґрунтообробних машин та знарядь з набором робочих органів для гладкої оранки, мінімальної обробки, чизелювання ґрунтів, суміщення операцій. Чимало невирішених питань залишається у забезпеченні комплексної механізації збирання сільськогосподарських культур, де потрібно

розробляти певні типажі збиральних машин кількох класів за продуктивністю у самохідному, причіпному та начіпному виконанні.

Крім того, проектування сільськогосподарської техніки залишається залежним і від потреби в різних нових технологіях у сільськогосподарському виробництві, у тому числі зональних технологіях виробництва сільськогосподарських культур.

5.1.3. Особливості проектування сільськогосподарських машин

Особливості проектування сільськогосподарських машин впливають із особливостей їхньої роботи. Одна з особливостей роботи сільськогосподарських машин – взаємодія їх з матеріалами, що є середовищем, в якому відбуваються біологічні процеси – з ґрунтом та рослинами. З метою підвищення ефективності роботи сільськогосподарської техніки та мінімізації втрат продукції, при проектуванні машин необхідно ґрунтовно враховувати фізико-механічні, біологічні та інші властивості оброблюваного матеріалу (зерна, коренеплодів, плодів тощо). Надмірні або неконтрольовані впливи робочих органів можуть призводити до механічних пошкоджень, втрати маси або якості продукції.

У зв'язку з цим, у ряді сучасних конструкцій робочі органи виготовляють із використанням еластичних або неметалевих матеріалів, а окремі функціональні поверхні покривають спеціальними амортизуючими шарами. Такі рішення дозволяють знизити агресивність взаємодії машини з об'єктом обробки, зберегти його цілісність та суттєво зменшити технологічні втрати.

Однією з характерних особливостей експлуатації сільськогосподарських машин є виражена сезонність їх використання. Техніка працює в строго обмежених агротехнічних термінах, часто лише кілька тижнів або місяців на рік. Це висуває до конструктора вимоги щодо забезпечення надійного консервування машин у міжсезоння з гарантією збереження працездатності до наступного періоду експлуатації.

Ще однією важливою особливістю є те, що технологічний процес роботи машин у рослинництві безпосередньо поєднаний із пересуванням агрегату по полю. Це створює низку додаткових конструктивних викликів, оскільки мобільна техніка під час руху піддається впливу: коливань і вібрацій через нерівності ґрунту; змін рельєфу (ухили, западини); атмосферних факторів – вітру, пилу, вологості тощо.

Ці умови можуть негативно впливати на точність і стабільність виконання технологічного процесу, тому завданням конструктора є забезпечення стабільності параметрів роботи машини за змінних умов середовища, включаючи вдосконалення ходових систем, амортизації, стабілізації робочих органів.

Ще однією критично важливою особливістю є те, що сільськогосподарські машини працюють під відкритим небом, у змінних і часто екстремальних погодних умовах. Експлуатація відбувається при високих і низьких температурах, під час опадів (дощу, снігу), на в'язких, піщаних або кам'янистих ґрунтах, при значних коливаннях вологозабезпечення, щільності ґрунту, стану культури тощо.

Таким чином, витривалість, надійність і адаптивність до природних впливів – це обов'язкові умови, що закладаються на етапі проектування сучасної сільськогосподарської техніки.

П'ятою важливою особливістю є те, що значна частина сільськогосподарських машин – зокрема ґрунтообробні, посівні, коренебульбозбиральні тощо – функціонують в умовах інтенсивного абразивного впливу. Це обумовлено контактом із ґрунтом, піском, камінням, пожнивними рештками, які спричиняють прискорене зношування робочих органів. У зв'язку з цим перед конструктором стоїть завдання оптимального вибору матеріалів, що здатні забезпечити тривалу експлуатацію у складному середовищі.

Таким чином, сукупність специфічних умов роботи сільськогосподарської техніки – сезонність, складність робочого середовища,

одночасне виконання технологічних і транспортних функцій, природні впливи та абразивне навантаження – створює серйозні виклики для проєктантів. Їх врахування є основою для створення надійних, довговічних і ефективних машин, здатних відповідати сучасним вимогам агровиробництва.

5.2. Сільськогосподарські машини як об’єкт проєктування.

5.2.1. Структура сільськогосподарських машин та агрегатів

Сільськогосподарська машина – це технічний засіб, що являє собою цілісну конструкцію, в якій об’єднані робочі органи, кожен з яких виконує специфічну функціональну дію. У сукупності ці дії забезпечують виконання безперервного технологічного процесу, необхідного для реалізації одного з етапів сільськогосподарського виробництва. Таким чином, сільськогосподарська машина – це не просто агрегат, а функціонально скоординована система, в якій компоненти працюють злагоджено задля досягнення агротехнічного результату.

Структура сільськогосподарської машини – це сукупність стабільних функціональних зв’язків між її основними елементами, які забезпечують її цілісність, системність та здатність стабільно виконувати задану технологічну операцію. Робочий орган машини – це функціональний елемент (або вузол), який безпосередньо контактує з оброблюваним середовищем (грунтом, насінням, рослинами, добривами тощо) і виконує фізичну дію, необхідну для реалізації технологічного процесу – наприклад, загортає насіння, копає коренеплоди, ріже, трамбує, піднімає тощо. Таким чином, розуміння структури та ролі робочих органів є базовим при проєктуванні, експлуатації та технічному обслуговуванні сучасної сільськогосподарської техніки. Як приклад розглянемо структуру зернотукотрав’яної сівалки рис. 5.1.

Принцип роботи сівалки полягає в тому, що при русі її по полю з опущеними в робоче положення сошниками котушки зернових, трав’яних і тукових висівних апаратів, обертаючись, захоплюють насіння і добрива і викидають їх у насіннєпроводи 8 і 11. При висіві несипких (райграс, лисохвіст

та ін.) та середньосипких (вівсяниця та ін.) насіння трав подача їх у приймальні камери висівних апаратів 14 здійснюється нагнітачами 15. Для руйнування склепінь, що утворюються в насінневих місткостях 5 і 17 встановлені ворушилки 4 і 16. Добрива по насіннєпроводах 8 і 11 надходять у сошники 9 і 10 і, скочуючись по напрямникам, потрапляють на дно борозен, утворених у ґрунті дисками та наральниками сошників. Таким чином, структура сівалки визначена забезпеченням виконання необхідного технологічного процесу сівки та конкретними конструкціями робочих органів.

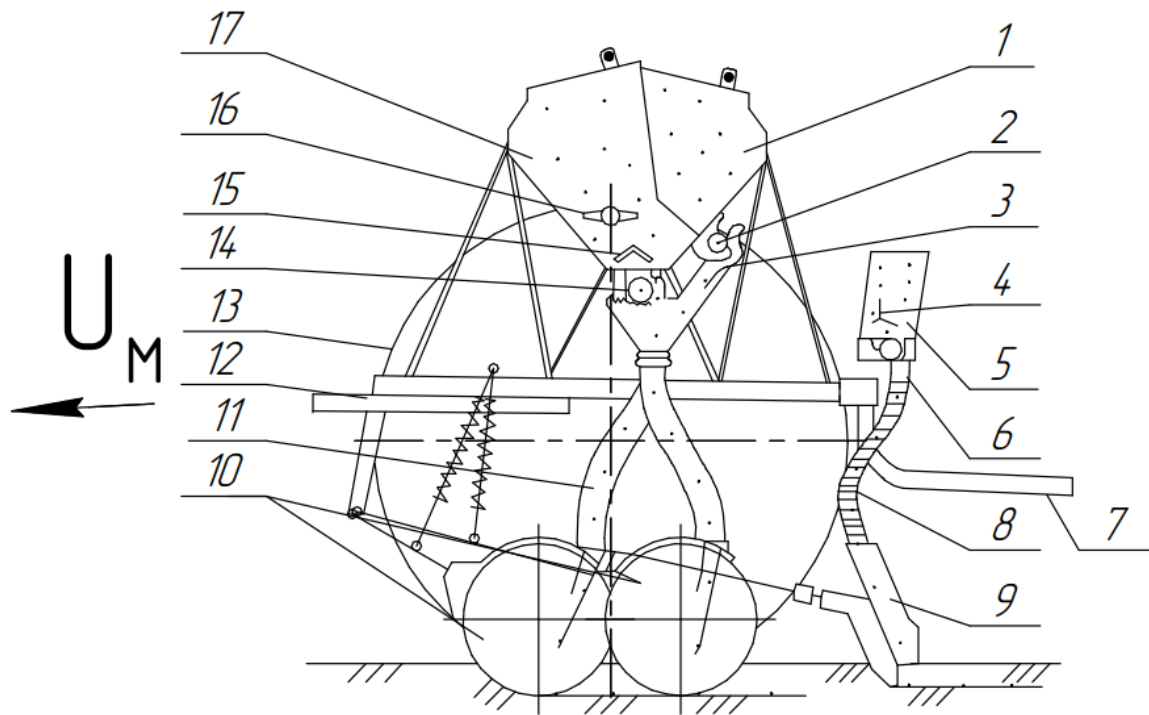


Рис. 5.1. Схема зернотукотрав'яної сівалки:

1 – тукове відділення; 2 – висівний апарат для туків; 3 – лійка;
4,16 – ворушилки; 5 – місткість для насіння трав; 6 – висівний апарат для насіння трав; 7 – підніжна дошка; 8,11 – насіннєпроводи; 9 – сошник наральниковий; 10 – сошники дискові; 12 – рама; 13 – опорно-приводне колесо; 14 – висіваючий апарат; 15 – нагнітач; 17 – зерновий бункер

Сільськогосподарські машини класифікуються за кількома ознаками, залежно від складності конструкції, функціонального призначення, об'єкта обробки та способу агрегування.

За складністю будови:

- Прості машини (або знаряддя) – мають нескладну конструкцію та невелику кількість функціональних вузлів. До них належать: плуг, борона, граблі, волокуша тощо.

- Складні машини – об'єднують кілька систем і механізмів для виконання багатоступеневого технологічного процесу. Прикладами є: зернозбиральні, бурякозбиральні, кукурудзозбиральні комбайни.

За функціональним призначенням:

- ґрунтообробні машини;
- посівні агрегати;
- машини для догляду за рослинами;
- збиральна техніка;
- а також транспортні, дозувальні, машини післязбиральної обробки тощо.

За характером взаємодії з об'єктом обробки:

- Мобільні машини – переміщуються разом з об'єктом обробки (наприклад, тракторні агрегати, комбайни).

- Стаціонарні машини – функціонують на постійному місці (наприклад, зерноочисні установки, сушарки).

За способом агрегування з енергетичними засобами:

- самохідні – мають власну силову установку;
- причіпні – агрегуються з трактором і не мають власного приводу;
- напівпричіпні та напівначіпні – частково спираються на трактор, частково – на власні колеса;
- начіпні – кріпляться на гідравлічну систему трактора;
- монтовані — встановлюються безпосередньо на агрегат як складова частина (рис. 5.2).

Самохідна сільськогосподарська машина. Має власний рушій, що включає двигун та трансмісію до привідних коліс її ходової системи, який

органічно вписаний у власну конструкцію машини. Наприклад, зернозбиральний комбайн «Дон-1500», бурякозбиральний комбайн КС-6 та ін.

Причіпна сільськогосподарська машина. Маса такої машини у транспортному положенні сприймається її ходовою системою. При переведенні машини з робочого положення до транспортного шарнірне приєднання до енергетичного засобу не змінює свого положення за висотою. Наприклад, плантажний плуг ППУ-50А; зернотукова пресова сівалка СЗП-3,6 та ін.

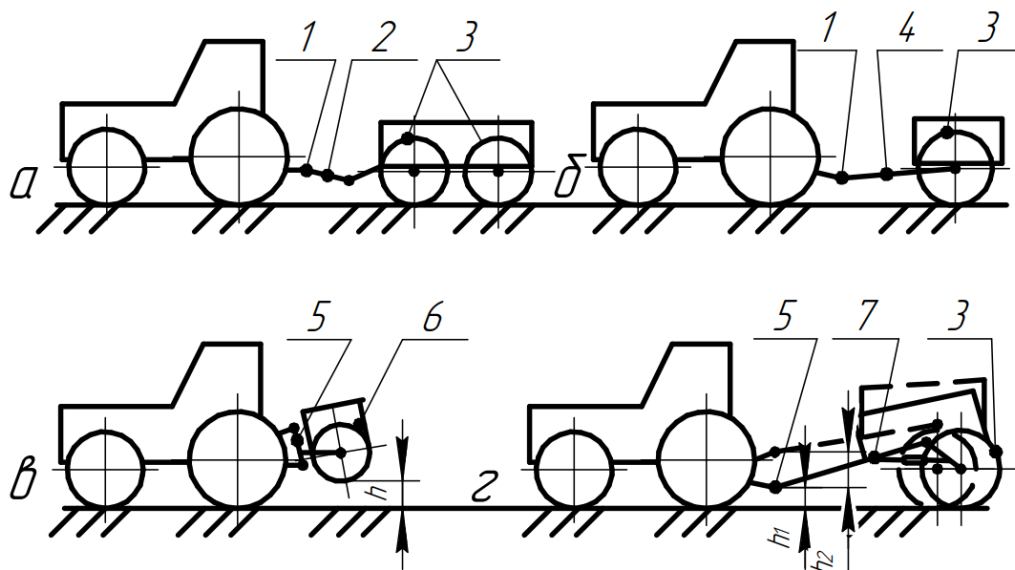


Рис.5.2. Схеми сільськогосподарських машин:

а – причіпна; б – напівпричіпна; в – навчіпна; г – напівнавчіпна;

1 – причіпна сережка трактора; 2 – причіп; 3 – колеса машини; 4 – сниця;

5 – навісна система; 6 – машина; 7 – рама машини

Напівпричіпна сільськогосподарська машина. Маса такої машини в робочому та транспортному положеннях частково сприймається енергетичним засобом та здебільшого власними колесами. При переведенні машини з робочого положення до транспортного шарнірне приєднання до енергетичного засобу не змінює свого положення за висотою. Наприклад, сівалка зернотукова СЗ-3,6; валкова жниварка ЖВН-6; розкидач мінеральних добрив МВД-1000 та ін.

Начіпна сільськогосподарська машина. Закріплюється на триточкову навісну систему. Маса цієї машини в транспортному положенні сприймається повністю енергетичним засобом. Наприклад, начіпний плуг ПЛН-5-35; польова фреза КФГ-3,6; сівалка УПС-8 та ін.

Напівначіпна сільськогосподарська машина. Маса такої машини в транспортному положенні частково сприймається енергетичним засобом та здебільшого власними колесами. При переведенні машини з робочого положення в транспортне шарнірна точка приєднання до енергетичного засобу примусово переміщується в нове положення по висоті. Наприклад, напівначіпний плуг ПЛН-6-35; напівначіпна шестирядна картоплесаджалка СКМ-6 та ін.

Монтована сільськогосподарська машина. Закріплюється на триточкову начіпну систему або інші точки енергетичного засобу з додатковим монтажем ряду складальних одиниць. Маса такої машини сприймається повністю енергетичним засобом. Наприклад, обприскувач ПОМ-630; універсальний копновоз КУН-10 та ін.

Сільськогосподарський агрегат – це з'єднані разом за допомогою передавального механізму зчіпка, сниця, причіп, навісна система сільськогосподарської машини та енергетичний засіб для виконання однієї або кількох сільськогосподарських операцій.

5.2.2. Сільськогосподарські машини спеціальні, універсальні, комбіновані

Спеціальні сільськогосподарські машини призначені для виконання лише однієї якоїсь цільової технологічної операції картоплесаджалка призначена для посадки тільки бульб картоплі; бавовняний комбайн – для збирання тільки волокон бавовни тощо

Універсальні сільськогосподарські машини призначені для виконання кількох різних технологічних операцій, що не збігаються за календарним терміном, з певним переобладнанням робочих органів або проведенням лише

необхідних їх регулювань. Головне економічне значення універсальної сільськогосподарської машини у тому, що дозволяє скоротити кількість машин, замінюючи кілька спеціальних чи інших машин, виконують обмежену кількість операцій.

Комбіновані сільськогосподарські машини призначені одночасного виконання кількох різних технологічних операцій. Одночасне виконання кількох послідовних операцій, якщо вони допустимі агротехнікою вирощування, дозволяє скоротити кількість проходів агрегату по полю, тобто. скоротити терміни роботи на полі, заощадити паливо-мастильні матеріали, зменшити екологічні впливи на ґрунт та ін.

Комплекс машин для виконання сільськогосподарського процесу – це повний набір сільськогосподарських машин, необхідних для забезпечення виконання машинним способом всіх видів робіт відповідного сільськогосподарського виробничого процесу, наприклад, набір сільськогосподарських машин для вирощування та збирання зернових культур або кукурудзи на зерно, цукрових буряків і т.д.

5.3. Система машин для комплексної механізації рослинництва.

Система машин – це науково обґрунтований комплекс взаємопов'язаних технічних засобів, до якого входять енергетичні агрегати (трактори, комбайни, автомобілі), спеціалізовані сільськогосподарські машини та технологічне обладнання, призначене для повного циклу виконання сільськогосподарських робіт протягом року.

Розглянемо коротко історію створення системи машин.

Історія формування систем машин у сільському господарстві України має глибоке наукове підґрунтя та багаторічний досвід.

Перша система машин, як офіційно затверджений науково-технічний документ, була розроблена на період 1957-1965 років. Вона охоплювала 816 найменувань технічних засобів, що охоплювали основні галузі

агровиробництва – рослинництво, тваринництво, меліорацію та лісове господарство.

Друга система, розрахована на 1966-1970 роки, значно розширила технічну базу й включала вже 1397 найменувань машин та обладнання, що забезпечували механізацію широкого спектра технологічних процесів.

Наймасштабнішою стала шоста система машин, розроблена на період 1986-1995 років з подовженням до 2000 року. Вона охоплювала близько 4000 найменувань машин і агрегатів, з яких понад 2000 одиниць було призначено для комплексної механізації процесів у рослинництві.

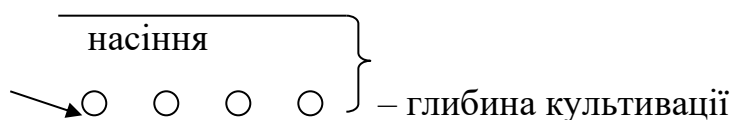
Ці системи стали основою для планування технічного переоснащення агропромислового комплексу, розробки стандартів, наукових програм і підготовки фахівців.

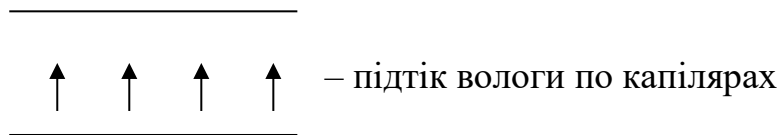
Система машин в рослинництві повинна задовольняти наступним вимогам:

1. Необхідно забезпечити повну та послідовну механізацію всіх операцій технологічного процесу вирощування сільськогосподарської культури – від первинного обробітку ґрунту до збирання врожаю й закладання продукції на зберігання. Наявність навіть однієї ручної ланки в ланцюгу призводить до зростання собівартості, підвищення втрат та зниження загальної якості кінцевого продукту.

2. Кожна машина в системі повинна бути технічно і технологічно узгоджена з іншими, зокрема з тією, яка виконує наступну операцію в агротехнологічному ланцюгу. Це означає, що якість роботи попередньої машини повинна забезпечувати ефективність і надійність наступної, не створюючи перешкод у вигляді перевантаження, надлишкової вологості, неоднорідності обробки тощо.

Приклад: глибина передпосівної культивуації і сівби повинні бути взаємоузгоджені, так як від цього залежить якість сівби.





3. Система машин повинна забезпечувати комплексну механізацію всього виробничого процесу сільськогосподарських культур, адаптовану до різноманітних природних, кліматичних, ґрунтових і господарських умов. Приклад: в залежності від природних умов існує 2 технології вирощування картоплі:

- вирощування на гребенях;
- вирощування на рівній поверхні.

4. Машини, що входять до складу системи, повинні забезпечувати високу якість виконання кожної технологічної операції. Крім того, конструкція та технічні характеристики цих машин мають постійно вдосконалюватися відповідно до розвитку агротехнічної науки, техніки та інновацій у землеробстві. Це гарантує відповідність сучасним вимогам ефективності, продуктивності та екологічності.

5. Усі машини в системі повинні бути взаємно узгоджені за ключовими технологічними параметрами, такими як ширина захвату, міжряддя, продуктивність, робоча швидкість тощо. Крім того, вони мають бути сумісними з енергетичними засобами, зокрема за тяговими характеристиками, параметрами валу відбору потужності (ВВП), гідравлічними та електричними підключеннями. Така сумісність забезпечує ефективне агрегування та стабільну роботу всієї системи.

Основні стратегічні напрями вдосконалення сільськогосподарських машин включають:

1. Розробка та впровадження енергоощадних, ґрунтозахисних і екологічно безпечних машин і технологій. Новітні аграрні машини повинні забезпечувати мінімальні витрати пального, знижене ущільнення ґрунту, зменшення викидів і втрат, а також бути сумісними з вимогами раціонального природокористування.

2. Створення комбінованих машин та агрегатів, здатних виконувати кілька операцій за один робочий прохід. Це особливо актуально для обробітку ґрунту, де поєднання культивуації, внесення добрив, ущільнення чи розпушування в одному агрегаті дозволяє знизити кількість проходів по полю, зберегти структуру ґрунту та зменшити витрати часу й пального.

3. Розробка агрегатно-уніфікованих груп машин та універсальних мобільних енергетичних засобів. Передбачається створення машин, що базуються на єдиній платформі, з можливістю швидкої заміни робочих органів або модулів. Такий підхід забезпечує гнучкість, економію на виробництві та обслуговуванні техніки.

4. Розробка малогабаритних засобів механізації для потреб фермерських і дрібних господарств. У зв'язку з розвитком малих форм господарювання виникає попит на компактну, недорогу, але ефективну техніку, яка може працювати на невеликих площах, у складних умовах або на присадибних ділянках.

Питання для самоконтролю:

1. В чому полягають особливості використання сільськогосподарської техніки?
2. В чому полягають особливості проектування сільськогосподарських машин?
3. Які тенденції ви знаєте у проектуванні сільськогосподарських машин?
4. Розкрийте поняття структури машини.
5. Способи агрегатування сільськогосподарських машин з енергозасобом та їх реалізація і особливості застосування.
6. Дайте визначення системи машин для комплексної механізації процесів у рослинництві.
7. Які загальні напрямки розвитку сільськогосподарських машин ви знаєте?

6. АГРОФІЗИКА ҐРУНТІВ. ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ НА РОБОЧІ ОРГАНИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

6.1. Короткі відомості про фізико-механічні властивості та параметри стану ґрунтів.

Процеси, що відбуваються в ґрунті під дією робочих органів ґрунтообробних машин, вивчає механіка ґрунтів, а саме її розділ «механіка руйнування» з визначенням зовнішніх та внутрішніх сил та кінематичних параметрів руху зруйнованих частин ґрунтового пласта. Термін «руйнування ґрунту» запроваджено академіком В.П. Горячкіним. Проте метою механічної обробки не так руйнація ґрунту як моноліту, а створення сприятливих умов вирощування врожаю, тобто, забезпечення відповідних значень параметрів стану ґрунту – структури, ступеня кришення та укладання ґрунтових елементів. Тому більш правильно говорити про процеси стружкоутворення у ґрунті під впливом робочих органів ґрунтообробних машин. В.П. Горячкін говорив, що й у загальній техніці зруйнований матеріал (метал, камінь, ґрунт) становить залишок, то землеробської механіки отримання необхідних властивостей стружки, тобто надання ґрунту незначних ґрунтових частин – мета роботи.

З інженерних позицій ґрунт, як і будь-яке інше фізичне тіло, має низку механічних та фізичних властивостей та параметрів, пов'язаних з її походженням, мінералогічним механічним та хімічним складом. Одне з властивостей – міцність, тобто, здатність чинити опір деформації та руйнуванню під дією зовнішніх сил. Знання цього своєрідного «ґрунтового сопромату» (за образним висловом П.У. Бахтіна) дозволяє більш правильно вибирати для кожного ґрунту та його конкретного стану відповідний тип ґрунтообробної машини, параметри та режими робочих органів.

У природному стані ґрунт має три основні частини або фази: тверду, рідку та газоподібну. Тверда фаза утворює скелет ґрунту, пори між твердими частинками заповнені водними та газо-повітряними розчинами. Усі механічні

та фізичні параметри ґрунту залежать від співвідношення цих трьох основних фаз. Крім того, у ґрунті є також численна «жива фаза» – мікрофлора та мікрофауна. Іноді ґрунт називають «живим тілом», тому що, його будова, агробіологічні та агрофізичні властивості багато в чому залежать від життєдіяльності «живої фази».

До фізичних параметрів стану ґрунтів відносяться: значення меж міцності при різних деформаціях, механічний склад, вологість, структура, вміст, щільність, об'ємна маса, питома поверхня, пористість (скважність) та інші. Віднесення перелічених параметрів до категорії «стан» дозволяє розглядати їх як величини змінні, схильні до змін та управління за допомогою ґрунтообробки, меліорації, внесення добрив тощо.

Механічний склад ґрунту визначається розмірною характеристикою або дисперсністю твердої фази. Дисперсність ґрунту істотно впливає на прояв її фізичної якості – можливості структуроутворення. Особливо значний вплив мають пилюваті частинки розміром 0,01...0,05 мм і мулисті фракції розміром менше 0,001 мм. Мулисті частинки мають коагуляційні властивості (згортання в пластівці), що сприяє утворенню структури ґрунту. Цьому також сприяють цементуючі властивості колоїдних фракцій розміром частинок менше 0,0001 мм.

Важливою характеристикою ступеня дисперсності твердих частинок є питома поверхня, тобто, сумарна площа частинок одиниці маси матеріалу [2]. З питомою поверхнею частинок пов'язане якісне і кількісне прояв однієї з найважливішої властивості ґрунту тобто, здатності забезпечувати енергомасообмін і відповідно перебіг фізичних, хімічних та біологічних процесів.

Питома поверхня зростає із зменшенням розміру частинок. Так, для піску (частки розміром 0,5...0,25 мм) сумарна питома поверхня дорівнює 1,38 м²/г, а глини – 966,7 м²/г, тобто, майже у 1000 разів більше. Тверда фаза становить від 40 до 60% загального обсягу ґрунтового шару. Рідка та газоподібна фази ґрунту постійно переміщаються по порах та капілярах між

твердими частинками. Таким чином, ґрунтовий пласт можна уявити, як «об'ємну тверду решітку (скелет), заповнену рідкими та газоподібними рухомими речовинами» [2].

Структура ґрунту. Зі збільшенням дисперсності твердої фази, а, отже, зі зростанням питомої поверхні частинок, під дією поверхневих, електрохімічних та цементацийних сил, зростає здатність первинних ґрунтових елементів до утворення грудок: мікроагрегатів (розміром менше 0,25 мм) та макроагрегатів (розміром більше 0,25 мм). Міцність мікро- та макроагрегатів досить висока. Тому зв'язок між структурними агрегатами можна зруйнувати лише в результаті хімічної чи фізичної обробки. Властивість ґрунту утворювати ґрунтові агрегати і є структуроутворюючою здатністю. Утворення структури відбувається під впливом різних факторів, наприклад, при зволоженні та висиханні, під дією кореневої системи рослин, під впливом діяльності тварин та черв'яків. Найсильнішим структуроутворюючим фактом вважається наявність у ґрунті гумусу.

Механічна обробка ґрунту при оптимальній вологості («стиглого ґрунту») забезпечує високий структуроутворюючий ефект. Структурні ґрунти мають вищі агробіологічні показники, краще забезпечують обмінні водний, повітряний та поживний режими, а також мають менший опір при обробці. Найбільш цінними вважаються агрегати розміром 2...10 мм, які утворюють грудочковато-зернисту структуру ґрунту.

Структурність ґрунту прийнято характеризувати співвідношенням

$$K = \frac{C}{B} \cdot 100, \% \quad (6.1)$$

де C – кількість макроагрегатів розміром від 0,25 до 7 мм;

B – сума агрегатів розміром від 0,25 до 10 мм.

Таким чином, механічні властивості та параметри стану ґрунту, як твердого тіла безпосередньо пов'язані з її структурою та силами зчеплення між ґрунтовими агрегатами. Структурні зв'язки, які у моноліті ґрунту, багато в

чому зумовлюють характер напружено-деформованого стану під впливом зовнішніх і внутрішніх сил. Отже, під структурою ґрунтового пласта потрібно розуміти дисперсну структуру дрібнозернистого твердого тіла з включенням до нього різноманітних дефектів. Фіксація ґрунтового профілю парафіном, розроблена М.Х. Пігулівським, підтвердила просторову будову коагуляційних структур ґрунту. На рис. 1 показано структуру глини зі збільшенням 10 тис. раз. На малюнку видно, що між відносно великими частинками мулу розташовані частинки глини 1 і пластівчастоподібні скупчення колоїдних частинок 2 і 3, що утворюють губчасту структуру.

З урахуванням просторової будови ґрунтового пласта та складових його елементів, необхідно розглядати вплив механічної обробки стан ґрунту на різних рівнях. А саме: на макрорівні – для шару, що обробляється в цілому, коли утворюються макроагрегати; на мезорівні – для окремих макроагрегатів та доби; на мікрорівні – для окремих гранулометричних фракцій та міжагрегатних зв'язків на межі розділу мікроагрегатів твердої фази з рідкою та повітряною фазами.

Слід враховувати, що оструктурені ґрунти більш стійкі до механічного впливу та зберігають сприятливе додавання при багаторазових обробках, зволоженні та висушуванні. У структурному ґрунті створюється рівноважний стан капілярної та некапілярної пористості: між мікроагрегатами переважають некапілярні пори, усередині агрегатів – капілярні пори.

У безструктурних ґрунтах первинні тверді елементи розташовуються щільно, тому в ній переважають капілярні пори.

Ці особливості структурних і безструктурних ґрунтів дуже впливають на параметри їх механічної міцності.

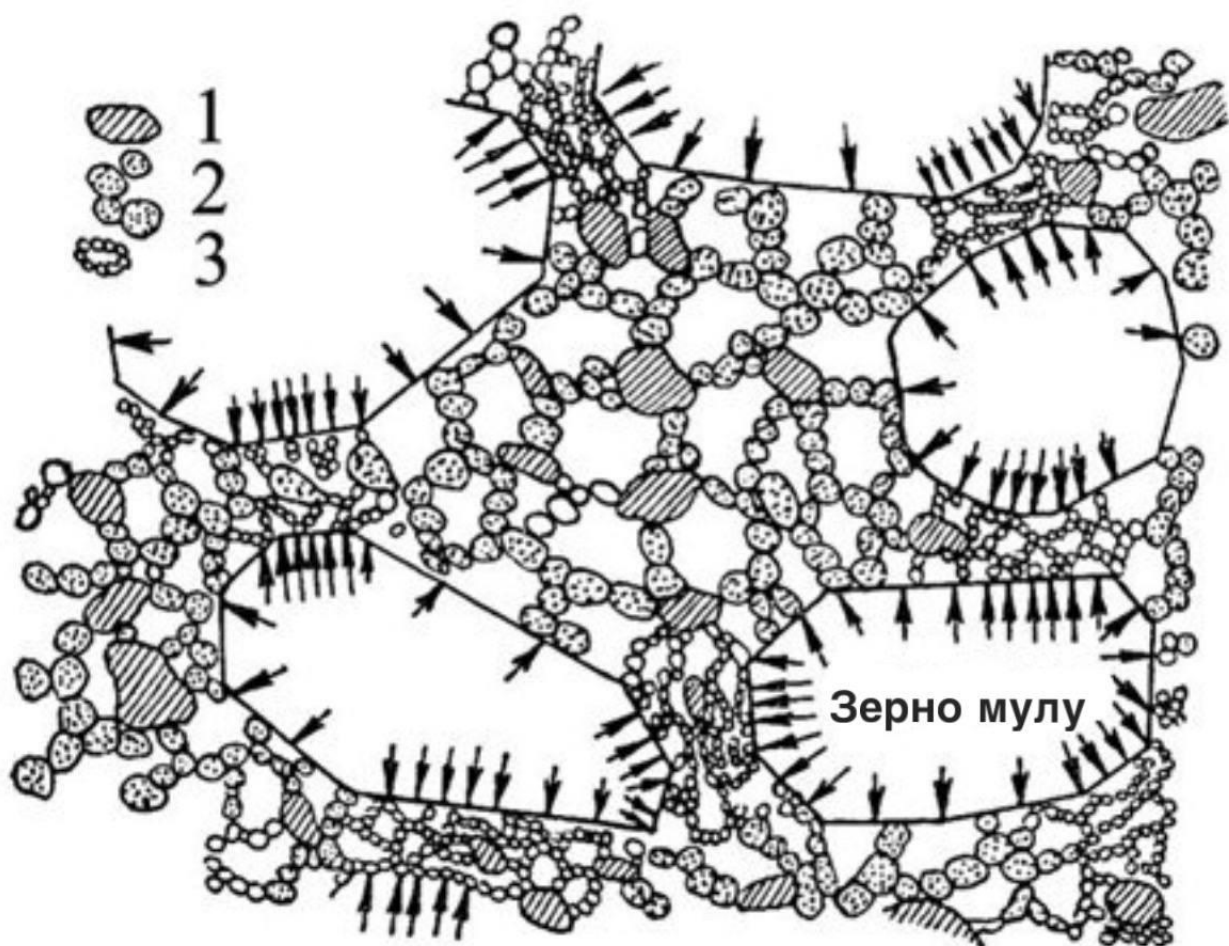


Рис. 6.1. Структура глини (за М. Рейнером):

1 – частки глини; 2, 3 – колоїдні частинки

6.2. Напружено-деформований стан та міцність ґрунтів

Наукова теорія механічної обробки ґрунту з урахуванням її реальних фізико-механічних властивостей досі ще не розроблена. Запропонований акад. В.П. Горячкіним фрагмент «Теорії руйнування ґрунту» [2] заснований на положеннях теорії суцільного середовища та теорії міцності Кулона-Мора. Однак у цій теорії не враховуються реальні властивості ґрунту, вона заснована на гіпотезі суцільного середовища.

Для розробки фізичної теорії деформації та руйнування ґрунтів необхідно критично розглянути накопичений теоретичний та експериментальний матеріал з механічної обробки ґрунтів різними робочими органами ґрунтообробних та землерийних машин, що враховує анізотропність

властивостей реальних ґрунтів. Особлива увага має бути приділена фізичним процесам, що відбуваються при взаємодії робочих органів із ґрунтом.

Попередньо розглянемо природу міцності ґрунтів. Зовнішні навантаження, статично прикладені до деякого обсягу ґрунту, передаються весь масив і створюють у ньому внутрішні зусилля, інтенсивність яких характеризується напругою. Якщо на майданчику ΔF середовища діє сила ΔP , то напруга в точці виразиться

$$\sigma = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F} \quad (6.2)$$

Прийнято, що деформація суцільного середовища не порушує уявлення про суцільність структури як пружного, і пластичного матеріалів. Тому у випадку під міцністю середовища розуміють здатність її зберігати суцільність при деформаціях. Межа міцності настає тоді, коли зв'язки між частинками матеріалу розриваються, частки відокремлюються одна від одної, суцільність тіла порушується. М.М. Гольдштейн визначає міцність як властивість матеріалу чинити опір крихкому руйнуванню чи настанню необмеженого деформування – течії.

6.3. Природа міцності та деформації ґрунтів.

Монолітний ґрунт складається з ґрунтових агрегатів, які мають різну форму та розміри та пов'язані між собою силами, що мають фізичну, хімічну, електричну та механічну природу. Тому міцність ґрунтів залежить від частинок, що їх складають, і зв'язків між ними. Велику роль у створенні міцності ґрунтів відіграє внутрішнє зчеплення. Н.А. Цитович розрізняє такі сили зчеплення дисперсних ґрунтів: молекулярні, цементаційні, структурно-колоїдні, водно-адсорбційні та механічні. Для більшості супіщано-суглинистих ґрунтів міцність зв'язків між частинками значно менша, ніж міцність самих частинок. Тому ґрунти руйнуються переважно у зв'язках між частинками. Механічне руйнування ґрунтів слід розглядати як подолання

зв'язків. Там, де такі зв'язки мають найменшу міцність, відбувається розрив чи порушення монолітності.

Складність природи руйнування ґрунтів є однією з головних причин використання для пояснення фізичних процесів при їх руйнуванні методів теорії пружності та пластичності. Розглянемо деякі закономірності поведінки ґрунтів при різних деформаціях.

6.4. Опір ґрунтів різним деформаціям.

Як показано вище, здатність ґрунтів чинити опір різним деформаціям обумовлена наявністю структурних зв'язків та зчепленням між частинками та структурними агрегатами. Міцність зв'язків між частинками в порівнянні з міцністю мінеральних частинок скелета мала, тому основним фактором, що впливає на міцність ґрунту, є міцність його структурних зв'язків. Отже, вивчення останніх важливе для встановлення природи міцності та характеру напружено-деформованого стану під дією зовнішніх та внутрішніх сил.

Природа структурних зв'язків складна та обумовлена комплексом факторів (кристалізацією колоїдів, міжмолекулярними та електрохімічними явищами, дією біоти ґрунту та ін.).

Механічне руйнування зв'язкових ґрунтів слід розглядати як результат подолання внутрішніх зв'язків між частинками. Зі збільшенням дисперсності ґрунтових частинок їхня питома поверхня збільшується, і значно зростають молекулярні сили поверхневої взаємодії. Необхідно відзначити, що властивості міцності полідисперсних ґрунтів значною мірою залежать від їх вологості, так як водні плівки, навколишні частинки і агрегати, значно послаблюють міжструктурні зв'язки.

Усі види деформацій, що випробовуються ґрунтами, можуть бути поділені на два основні види: об'ємні деформації стиснення – при цьому ґрунтові частинки укладаються більш щільно, деформації зсуву – при цьому ґрунтові частинки зміщуються відносно один одного, і деформації

розтягування-розширення – при цьому ґрунтові частинки укладаються менш щільно.

Відмінною особливістю ґрунтів, наприклад, від металів, є те, що ступінь і величина деформації їх залежать як від типу взаємодіючих робочих органів, так і від фізико-механічних властивостей оброблюваного середовища (дисперсності, механічного складу, структурності, вологості та ін. факторів). Під впливом тих самих робочих органів один і той же ґрунт у різних станах буде деформуватися по-різному. Тверді, сухі ґрунти будуть деформуватися і руйнуватися при значних навантаженнях. У таких ґрунтів інтервал між межею пружності σ_{II} та межею міцності σ_B (тимчасовий опір) має незначну величину. Тверді ґрунти раціонально руйнувати ударними навантаженнями. Ті ж ґрунти у вологому стані деформуються при невеликих зусиллях, але витримують сильні удари. В'язкі ґрунти мають великий інтервал між межею пружності та межею міцності.

В.П. Горячкін запропонував усі матеріали розділити на три категорії: крихкі, в'язкі та пластичні, відмінність властивостей яких наочно характеризуються кривими напруги у функції деформації (рис. 6.2). Як буде показано нижче – це дуже умовна характеристика пружності, в'язкості та пластичності матеріалів.

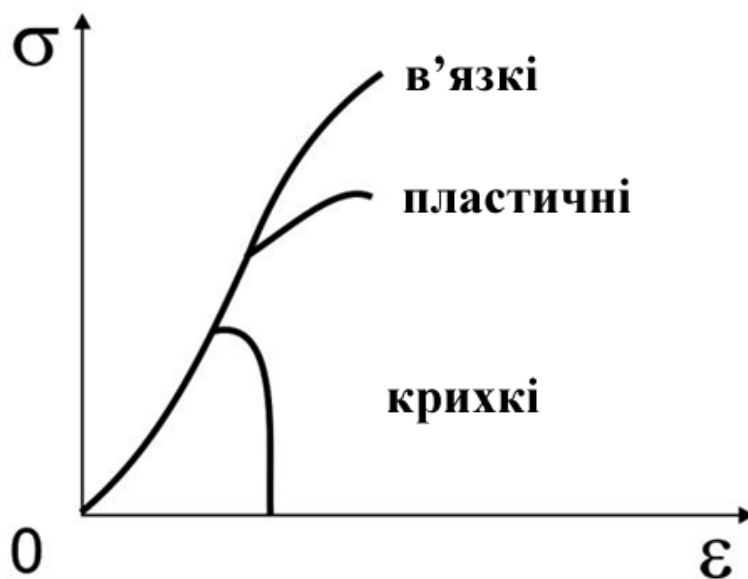


Рис. 6.2. Залежність напруги від деформації до різних станів матеріалу (за В.П. Горячкіним)

При вплив робочих органів ґрунт відчуває різні види деформації: стиск, розтягування, зсув, кручення, вигин і складніший деформований стан, що є комбінацією перелічених простих деформацій. За даними В.В. Царіцина основним видом деформації при руйнуванні гірських порід є деформація стискування. Інші види деформації, що виявляються при руйнуванні - розтяг, згин, зсув становлять від 2 до 10% від стискування.

Переважає значення деформація стиснення має і при різанні ґрунтів. В.П. Горячкін вказував, що сутність роботи клиноподібного робочого органу полягає не в різанні лезом, а в стиску частинок, яке поширюється на деяку відстань, після чого утворюється тріщина в горизонтальному напрямку, що отримала назву тріщини, що випереджає.

Для визначення міцнісних та деформаційних характеристик проводять випробування зразків ґрунтів та ґрунтів на спеціальних приладах, що імітують відповідні види деформації.

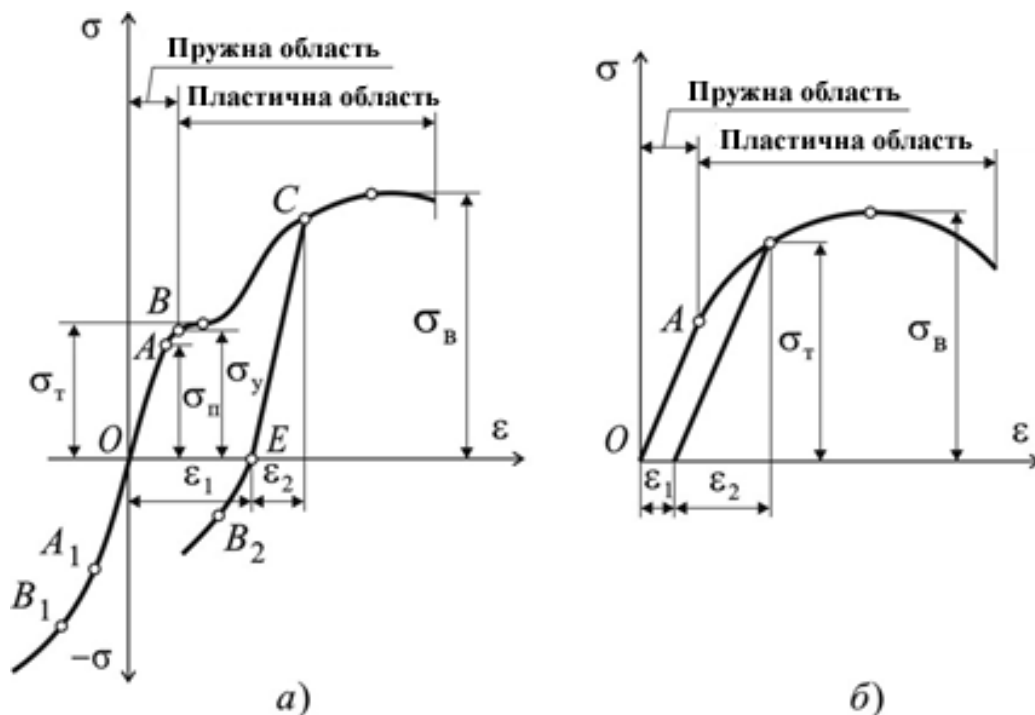


Рис. 6.3. Діаграми залежності напруги від деформації:

а – при розтягуванні; б – при стисканні

На рис. 6.3 наведено характерні діаграми розтягування та стиснення зразків глинистого ґрунту. На діаграмах можна назвати кілька характерних точок. Початковий ділянку OA обох діаграмах близький до прямої, тобто, напруга σ пропорційна до деформації ε і залежність $\sigma(\varepsilon)$ підпорядковується закону Гука.

$$\sigma_{II} = E \cdot \varepsilon \quad (6.3)$$

де σ_{II} – напруга, що відповідає межі пропорційності;

E – модуль пружності, Н/м².

Ця ділянка характерна тим, що в межах пропорційності при навантаженні та розвантаженні залежність $\sigma(\varepsilon)$ зображується однією прямою A_1OA . Деформація матеріалу в цих межах є пружною, тобто, оборотною. За подальшого збільшення навантаження залежність стає нелінійною: ділянка AB відповідає навантаженню, а ділянка A_1B_1 – розвантаженню. Однак при цьому пружні властивості матеріалу ще зберігаються, тому що при навантаженні та розвантаженні залежність $\sigma(\varepsilon)$ зображується однією кривою $OABOA_1B_1$.

Пружні оборотні властивості зберігаються до напруги σ_y – межі пружності. Для багатьох матеріалів межа пропорційності збігається з межею пружності, тобто, $\sigma_{II} = \sigma_y$. Для пластичних матеріалів, наприклад, глинистих ґрунтів, діаграма $\sigma(\varepsilon)$ після точки B може мати горизонтальну ділянку, що відповідає межі текучості σ_T , тобто, коли при постійному навантаженні деформація збільшується, кажуть, що матеріал «тече».

При подальшому збільшенні навантаження відбувається деяке збільшення напруги (точка C). Ділянку BC часто називають ділянкою зміцнення матеріалу (цей термін насамперед відноситься до м'яких металів).

Якщо в точці C зняти навантаження та довести напругу до нуля $\sigma = 0$, то виявиться, що деформація не дорівнюватиме нулю. У точці E загальна

деформація складатиметься з двох частин: залишкової ε_1 та пружної ε_2 . Поява залишкової деформації характерна лише для пластичних матеріалів.

При стисканні (рис. 3 б) ґрунт не має яскраво вираженого майданчика текучості, тому за межу пропорційності σ_{II} приймають умовну точку A де відхилення від лінійної залежності $\sigma(\varepsilon)$ не більше 1...3%. Гранична напруга, яку витримує матеріал, а потім руйнується, називається тимчасовим опором σ_B .

На діаграмі $\sigma F(\varepsilon)$ (рис. 6.3, а) можна спостерігати так званий ефект Баушингера, який виражається у зниженні межі пружності при стисканні після попереднього розтягування межі пружності. Наглядний ефект Баушингера показаний на графіку рис. 6.4. З діаграми випливає, що якщо пластично деформований матеріал розвантажити, а потім навантажити в протилежному напрямку, то його механічна характеристика відобразиться новою діаграмою, причому $\sigma'_y < \sigma_y$.

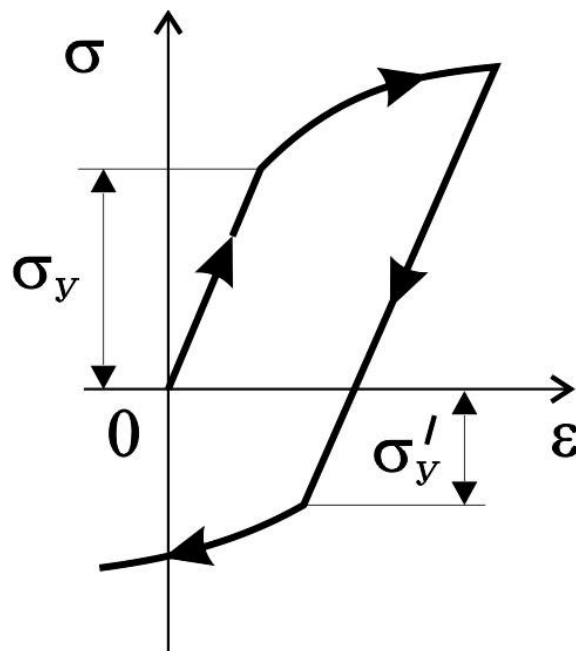


Рис. 6.4. Графік, що ілюструє ефект Баушінгера

Пластичне розтягування матеріалу викликає зменшення його межі пружності при безпосередньо наступному за ним стиску, і навпаки – пластичне стиснення викликає зменшення межі пружності при подальшому

розтягуванні. Часто ефектом Баушингера називають явище зниження межі текучості при повторному навантаженні, що не збігається з напрямком початкового навантаження. Цей ефект також спостерігається при повторному навантаженні у тому ж напрямку.

Використання ефекту Баушингера на практиці може дати значне зниження енергоємності при обробці ґрунту. Для цього необхідно застосовувати робочі органи різноспрямованої дії на шар ґрунту.

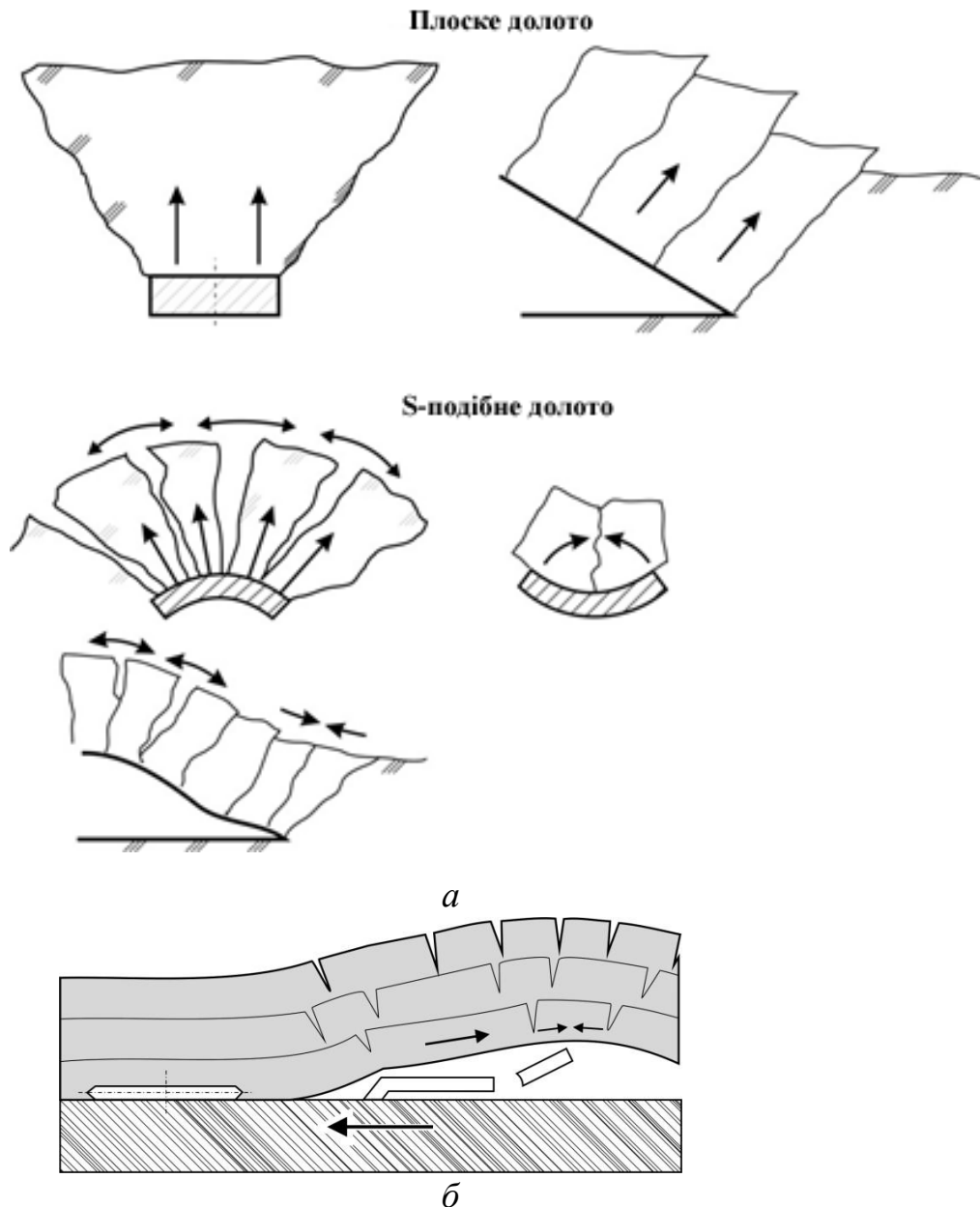


Рис. 6.5. Схема впливу на шар ґрунту:

а – плоского та S-подібного долота розпушувача;

б – похилої пластини робочого органу розпушувача «Paraplow»

Наприклад на рис. 6.5, а показані схеми дії на пласт ґрунту долота розпушувача: плоского та S-подібного долота з подвійною кривизною поверхні (з мінімальним кутом кришення на початку, максимальним – у середній частині та мінімальним кутом сходу пласта в кінці долота). Зі схеми випливає, що фігурне долото, порівняно з плоским, може забезпечити різноспрямовану дію на пласт і, таким чином, знизити енергоємність процесу.

Різноспрямований вплив на пласт ґрунту використовується також у конструкції робочого органу плуга-розпушувача «Paraplow» (рис. 6.5, б).

Числові дані щодо показників міцності ґрунту в науковій літературі наводяться досить скупо. Нижче у табл. 6.1 надано значення модуля пружності E , межі пропорційності σ_{II} та тимчасового опору σ_B отримані для середньосуглинистого ґрунту при різній вологості та твердості ґрунту.

Таблиця 6.1

Значення E , σ_{II} і σ_B для середньо суглинистого ґрунту
(за даними М.Д. Підскребка)

Твердість у шарі 0-20 см, МПа	Вологість у шарі 0-20 см, %	E , кПа	σ_{II} , кПа	σ_B , кПа
1,4	21,7	14,9	2,0	7,3
2,1	17,3	17,5	3,6	6,3

Межа міцності середнього суглинку при розтягуванні 5...6 кПа, при стисканні 65...108 кПа, при зсуві 10...12 кПа.

В.П. Горячкин з посиланням на Г. Гологурського дає такі значення критеріїв міцності ґрунтів: при розтягуванні 0,05... 0,1 кгс/см²; при стисканні 0,1...0,5 кгс/см²; при крученні 0,1...0,5 кгс/см² [2].

Детально вивчили опір ґрунту різним деформаціям Я.М. Жук та В.Ф. Рубін [2]. В їх працях описано методику підготовки зразків ґрунту та апаратуру для визначення опору ґрунту різним деформаціям. Як об'єкт лабораторних досліджень були використані зразки підорного горизонту потужного глинистого чорнозему. Підготовка зразків для лабораторних

досліджень проводилася при вологості ґрунту 20...25%, що відповідало їхній вологості в момент відбору в полі.

Тимчасовий опір розриву глинистого чорнозему за різної вологості наведено в табл. 6.2 [2].

Таблиця 6.2

Тимчасовий опір розриву зразків глинистого чорнозему

Вологість ґрунту, %	Для структурних зразків, гс/см ²		Для безструктурних зразків, гс/см ²	
	Середнє	Межі зміни	Середнє	Максимальне
5-8	-	-	3651	5191
6-9	806	693...941	3500	4860
9-10	1020	491...1666	1547	1708
10-13	1760	1215...2171	2781	2909
15-17	587	277...951	937	1369
17-19	194	121...274	750	1020
19-23	129	42...190	570	1290
23-26	82	64...124	358	715
27-30	87	37...163	558	558
30-33	78	22...139	199	219
34-37	49	40...59	-	-

З табл. 6.2 слід, що тимчасове опір розриву зі збільшенням вологості значно зменшується, особливо різко, починаючи з вологості 19...20%. Тимчасовий опір розриву безструктурних зразків за будь-якої вологості набагато вищий, ніж структурних зразків, що підтверджує вплив структури ґрунту на його міцність.

Тимчасовий опір зсуву та вигину структурних та безструктурних зразків ґрунту від вологості приведено в табл. 6.3 [2].

З даних табл. 6.3 випливає, що в лабораторних умовах опір зсуву та згину мало змінюється в межах вологості повітряно-сухого стану до вологості 10-13%, різко знижується при вологості 13-14% і продовжує зменшуватися при подальшому збільшенні вологості. Безструктурні зразки надають значно більший опір зсуву та згину, тобто. спостерігається така сама закономірність, як і під час розриву.

Якщо побудувати графічну залежність опору розриву, зсуву та згину від вологості ґрунту, можна помітити, що опір згину значно перевищує опір розриву і близько за абсолютною величиною до опору зсуву (рис. 6.6) [2].

Таблиця 6.3

Тимчасовий опір зсуву та згину (середні значення)

Вологість ґрунту, %	Тимчасовий опір зсуву, гс/см ²		Тимчасовий опір згину, гс/см ²	
	Структурні зразки	Безструктурні зразки	Структурні зразки	Безструктурні зразки
6-8	5279	9475	4695	12870
8-10	5200	8595	5370	-
10-12	4955	-	4770	13090
12-15	3712	6695	-	-
15-17	2651	2802	2583	-
18-19	1735	2260	-	-
19-22	960	1802	1968	3800
22-25	172-1183	2158	827	2010
Більше 25	499-5370	1262	-	-

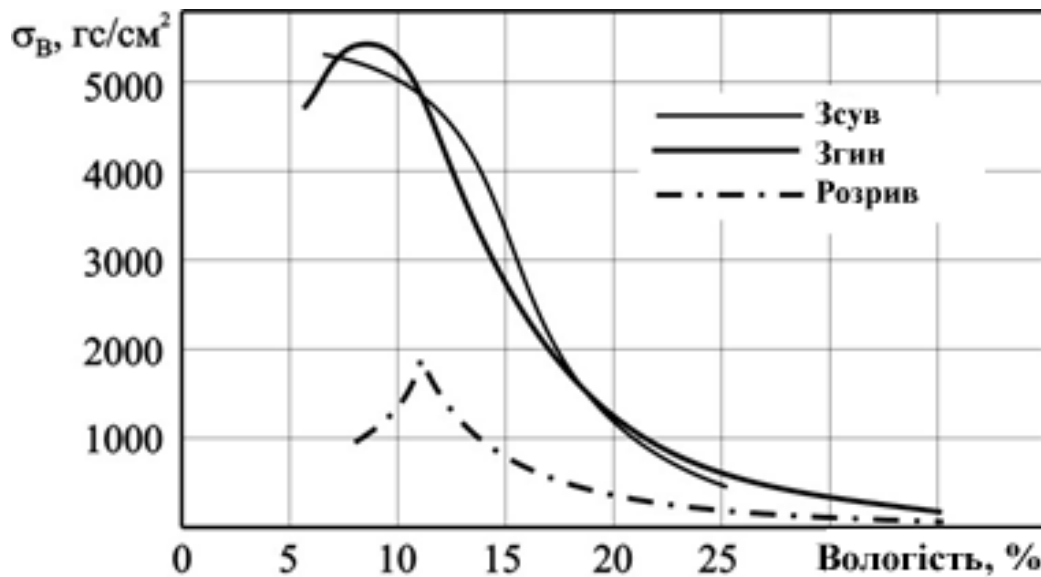


Рис. 6.6. Залежність тимчасового опору розриву, зсуву та згину від вологості ґрунту (лабораторні досліді)

Для перевірки результатів лабораторних дослідів було проведено польові досліді. Зразки формувалися з монолітів ґрунту під орного шару з

непорушеною структурою. У всіх зразків, перерізи, якими проходила деформація, знаходилися на глибині 25-30 см. Винятком були зразки, що зазнавали згину, перерізи руйнування яких знаходилися на глибині 40 см.

Підсумкові дані щодо абсолютної величини тимчасового опору ґрунту на стиск, розрив, згин та зсув наведені в табл. 6.4 [2].

Таблиця 6.4

Середні значення тимчасового опору розриву, стиску, зсуву та згину
глинистого чорнозему

Розрив		Стиск		Зсув		Згин	
Вологість ґрунту, %	σ_B , гс/см ²	Вологість ґрунту, %	σ_B , гс/см ²	Вологість ґрунту, %	σ_B , гс/см ²	Вологість ґрунту, %	σ_B , гс/см ²
21-23	61,8	12-16	1080	15-17	122,1	15-17	488
23-25	52,5	19-22	980	20-24	98,6	15-17	-
26-28	50,0	22-24	650	20-24	-	-	-

З даних табл. 6.4 випливає, що опір розриву, стиску та зсуву зменшується з підвищенням вологості ґрунту. Опір деформації стиску потребує найбільшого зусилля, а деформації розриву – найменшого. Опір деформації згину значно більше, ніж опір зсуву. Якщо прийняти опір розриву ґрунту за 1, то опір деформаціям стискування, зсуву та згину відповідно рівні 13, 2 і 10, тобто. тимчасове опір стиску майже в 13...20 разів більше, ніж тимчасове опір розриву, і в 2...3 рази більше опору зсуву [2].

Ступінь і величина напружено-деформованого стану ґрунту під впливом робочих органів, насамперед, залежить від його фізико-механічного стану: дисперсності, механічного та гранулометричного складу, вологості, а також структурності. Структурні ґрунти при всіх видах деформацій мають менший тимчасовий опір, ніж безструктурні.

З викладеного випливає, що найбільш раціональним при обробітку ґрунту є використання деформацій розтягування та зсуву.

Питання для самоконтролю:

1. Надати характеристику ґрунту з інженерної точки зору.
2. Від чого залежить та як визначається структурність ґрунту?
3. Природа міцності ґрунтів та фактори які на неї впливають.
4. Особливості поведінки ґрунтів при деформаціях стиснення та розтягу.
5. Особливості поведінки ґрунтів при деформаціях зсуву та згину
6. Ефект Баушінгера та використання його на практиці
7. Використання різних видів деформації при роботі ґрунтообробних знарядь.
8. Які основні фізико-механічні властивості ґрунтів впливають на роботу сільськогосподарських машин?
9. Як визначаються показники щільності, вологості та структури ґрунту?
10. Що таке напружено-деформований стан ґрунту і як він впливає на роботу робочих органів машин?
11. Які методи використовуються для оцінки міцності ґрунтів?
12. Які фактори визначають природу міцності ґрунтів?

7. ДІЯ ОПОРНО-ХОДОВИХ СИСТЕМ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ НА ҐРУНТ

7.1. Стан ґрунтів в Україні

Чорноземи – це особливе багатство України, яке необхідно раціонально використовувати. Однак, за останні 30-40 років через неправильне використання земель середній вміст гумусу в ґрунті як основної складової родючості чорноземів знизився, а за останнє десятиріччя темпи зниження вмісту гумусу, на жаль, значно зросли. Втрата гумусу чорноземами понад 100 років тому вже спостерігалася і турбувала таких вчених як В.В Докучаєв, П.А. Костичев та інші. Нині – це загальна проблема для багатьох сучасних вчених-ґрунтознавців. За останні десятиріччя майже повсюди запас гумусу в чорноземі зменшився на 20-30 %, а на ґрунтах які підлягають ерозії запаси гумусу зменшились на 30-50 %.

Це було спричинено такими факторами:

1. У чорноземи не вносились в достатній кількості органічні та мінеральні добрива;

2. Ігнорувалося те, що рільництво є формою керування й розширення біологічного кругообігу вуглецю та азоту, і органічні залишки повинні повертатись у цей кругообіг.

На жаль, лише у небагатьох господарствах ведеться боротьба з ерозією та вживаються заходи щодо збагачення ґрунтів органічними речовинами за рахунок:

- використання ґрунтозахисного рільництва: насамперед, звести до мінімуму використання *полицевого обробітку*, зменшити переуцільнення ґрунтів та ін;

- застосування правильних сівозмін з використанням багаторічних трав.

Унаслідок зменшення вмісту гумусу, спричиненого ерозійними процесами, зменшенням кількості кореневої маси трав'янистої рослинності та зникненням ґрунтової фауни (зокрема дощових черв'яків), відбулися суттєві

зміни у властивостях староорних чорноземів. Ці ґрунти зазнали ущільнення та погіршення агрофізичної структури. Зокрема, щільність орного й підорного шарів у літньо-осінній період істотно зросла і становить сьогодні переважно від 1,4 до 1,6 г/см³, а в окремих випадках досягає критичних значень – 1,8 г/см³. Такі показники свідчать про зниження водопроникності, погіршення повітрообміну та зменшення доступності елементів живлення для корневих систем рослин.

На багатьох орних землях спостерігається утворення важких брил, які погано піддаються подрібненню та розпушенню, що ускладнює якісне виконання агротехнічних операцій. Особливо негативний вплив мають важкі ґрунтообробні агрегати та інша техніка, проходи яких додатково ущільнюють ґрунт і руйнують його природну структуру. Цей процес має накопичувальний характер – ущільнення поступово поширюється вглиб, до горизонтів, недосяжних для знарядь загального призначення. Така деградація агрофізичних властивостей ґрунту призводить до зниження його водо- і повітропроникності, погіршення умов для розвитку кореневої системи та загального зменшення родючості.

Наукові дослідження ще на початку 1990-х років вказували на те, що переущільнення ґрунтів спричиняло зниження врожайності сільськогосподарських культур на 20-35%. Ці втрати зіставні з приростом урожайності, досягнутим за рахунок зрошення, і наближаються до ефекту від внесення мінеральних добрив, що підкреслює масштабність проблеми та її стратегічну важливість для аграрного виробництва.

Щодо енергетичних витрат на обробіток ґрунту, спостерігається парадоксальна і водночас тривожна тенденція. Чим сильніше ущільнений ґрунт, тим більше механічного опору він чинить робочим органам ґрунтообробних машин. Відповідно, зростає потреба у потужніших тракторах і агрегатах, здатних долати цей опір. Наприклад, років 40 тому поле після збирання цукрового буряка проводили оранку трактором з потужністю двигуна

45 к.с. і 5-ти корпусним плугом на глибину 28-30 см, а сьогодні – 5-ти корпусним плугом і трактором Т-150 з двигуном потужністю 160 к.с.

7.2. Допустимі тиски на ґрунт мобільних польових агрегатів.

Негативний вплив ходових систем на ґрунт.

У сільському господарстві ще недостатньо розроблено межі допустимих механічних навантажень на ґрунти, які створюються різними знаряддями обробітку. Необхідно вважати допустимий за величиною такий питомий тиск на ґрунт, за якого поверхня поля під ходовими частинами сільськогосподарської техніки ущільнюється, але не продавлюється з утворенням глибокої колії.

Родючість ґрунтів залежить не тільки від структури і щільності орного шару, а й від того, де розміщені корені рослин. Оптимальною щільністю, за даними дослідників, для суглинкових та глинистих ґрунтів і основної маси вирощуваних культур вважається щільність у межах 1,1-1,3 г/см³. Теоретично ця межа оптимальної щільності для важких за гранулометричним складом ґрунтів оснований на великій пористості ґрунту і близьких до оптимальних став відношень вмісту води і повітря в ґрунті при вологості, що дорівнює польовій, або найменшій вологоємності.

Сучасні технології вирощування та збирання польових культур потребують багаторазового проходу по полю тракторів, комбайнів, автомобілів та інших, сільськогосподарських машин. Тільки ходові частини тракторів у період допосівних і посівних робіт діють на 30-80 % поверхні поля, У деяких випадках залежно від погодних та інших умов окремі поля зазнають 3...9 разової дії ходових частин тракторів.

Інтенсивність дії ходових частин машин на ґрунт залежить від типу ходової системи, маси машини та її обладнання, кількості проходів по полю, відповідної характеристики ґрунту – гранулометричного складу, структури, щільності, вологості.

Слід зазначити, що найбільше ущільнюють вологий ґрунт та руйнують його структуру автомобілі і важкі збиральні агрегати.

Згідно з даними Інституту ґрунтознавства ім. В. В. Докучаєва, заплавний дерново-глейовий ґрунт у слідах проходу автомобілів ущільнювався на глибину до 50 см. Крім того, в тому самому шарі ґрунту (0-50 см) зафіксовано руйнування його структури, яка не поновлювалася протягом трьох років. Щільність ґрунту в орному горизонті досягала 1,47-1,53 т/см³ і протягом трьох років залишалася близько 1,5 г/см³, тобто була вищою порівняно з контрольною (1,3 г/см³) навіть після багаторазового його обробітку. Чимало науково-дослідних установ наголошують, що за високої вологості ґрунту (0,9-1 нижньої межі вологоємності) ущільнювальна дія ходових систем машин поширюється на глибину від 20 до 45 см при одноразовому проході, а трактора К-700 – до 60 см. Руйнування структури ґрунту та утворення брил після проходу трактора фіксували до глибини 40 см.

Після багаторазових проходів трактора по одному й тому самому сліду щільність ґрунту збільшується і через кілька проходів досягає граничного значення.

Дані В.В. Медведєва та інших дослідників доводять, що зміна середньої щільності чорнозему типового важкосуглинкового на глибині 0-10 см при багаторазових проходах тракторів Т-150К, Т-16М, МТЗ-80 відбувається за певною закономірністю (рис. 7.1) [4].

Під час проведення дослідів початкова (вихідна) щільність ґрунту була 1,15 г/см³, гранична – 1,4 г/см³.

Дослідами встановлено, що при переміщенні тракторів по фізично спілому дерново-підзолистому суглинковому ґрунту ущільнювальна дія ходових систем поширюється на глибину 30-40 см і при багаторазовій дії нагромаджується деформація ущільнення як в орному, так і в підорному шарах. Ущільнення відбувається не тільки по вертикалі, а й по горизонталі від

центра сліду ущільнення на відстані 35-70 см залежно від типу ходової частини агрегату.

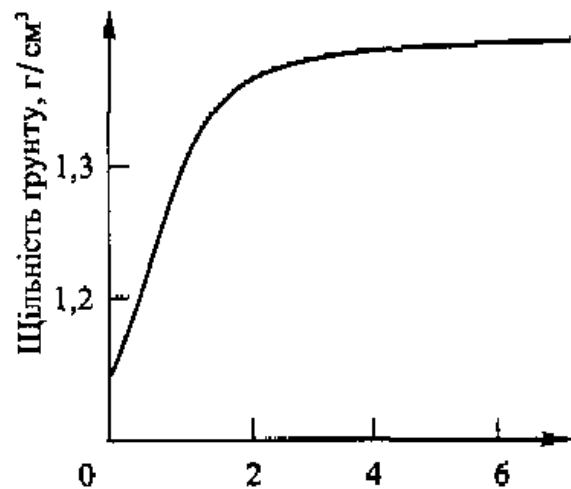


Рис.7.1. Залежність ущільнення чорнозему від числа проходів трактора Т-16М

Закономірність, наведену на рис. 7.1, можна виразити формулою

$$y_n = y_{max} - (y_{max} - y_o) e^{-\lambda n} \quad (7.1)$$

де y_o – щільність ґрунту до першого проходження трактора;

y_n – щільність ґрунту після n-го проходження трактора;

y_{max} – гранична щільність ґрунту, яка може утворитися після безкінечних проходів трактора;

e – основа натурального логарифма;

λ – коефіцієнт ущільнення, який залежить від типу і стану ґрунту та прикладеного тиску;

n – число проходів трактора.

Вчені довели, що на дерново-підзолистих ґрунтах від ходових систем тракторів щільність ґрунтів підвищується на 0,1-0,3 г/см³, що перевищує межі оптимального значення.

Дослідники (В. В. Медведєв ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського») стверджують, що щільність типового важко суглинкового

чорнозему при багаторазових проходах тракторів підвищується в шарі 0-60 см, а в шарі 0-10 см перевищує оптимальні значення (рис. 7. 1.).

Багато наукових досліджень доводять, що щільність ґрунту в орному шарі у слідах проходу тракторів збільшується у 2-10 разів.

Дослідами, проведеними на дерново-підзолистих суглинкових ґрунтах, встановлені межі тиску ходових систем на ґрунт, в яких не погіршується в допустимих межах їх стан та умови для проростання і розвитку зернових культур. За вологості ґрунту 25-30 % тиск не повинен перевищувати 0,075 МПа, 17-21 % – 0,125 МПа і за вологості ґрунту 8-12 % – 0,15 МПа [4].

Для України, як засвідчують В.В. Медведєв та інші дослідники, за основного обробітку чорнозему типового важкосуглинкового тиск не повинен перевищувати 0,08...0,1 МПа, а при сівбі в умовах зрошення – 0,04...0,06 МПа.

Дослідами І. С. Рабочева, П. У. Бахтіна та інших встановлено граничний тиск для проведення сільськогосподарських робіт, МПа: ранньовесняне боронування – 0,04; передпосівний обробіток і сівба – 0,05-0,06; на літніх та осінніх роботах за вологості не більше 0,6 % польової вологоємності – 0,1-0,15 [4].

При виконанні польових робіт гусеничними тракторами замість колісних тракторів 3- і 5-го класів забезпечується збільшення вирощуваних урожаїв за рахунок зменшення руйнівної сили ходових систем тракторів і збільшення родючості ґрунтів.

Дані досліджень показують, що збільшення або зменшення об'ємної маси ґрунту від оптимальної на 0,1-0,3 г/см³ приводить до зменшення урожаю на 20-40 %.

Багатократні проходи МТА по полю призводять до того, що площа, яка покривається колесами трактора, перевищує площу самого поля. Так, без урахування збирально-транспортних робіт при вирощуванні озимої пшениці площа, яку покривають колеса тракторів, сягає в середньому 22-26 тис. м² (2,2-2,6 га), для кукурудзи ця величина становить 1,8-3,0 га, цукрового буряка – 3,0-3,2 га.

Ущільнення ґрунтів в основному пов'язано із зміною їх пористої структури, в першу чергу, великих капілярних пор, які призначені для транспортування і перерозподілу великої кількості води, швидкого і глибокого проникнення в ґрунт повітря. Все це веде до зниження врожайності культур, які вирощуються.

Ущільнення ґрунту можна визначити енергетичною оцінкою роботи деформації ґрунту, що пов'язана із силою опору коченню машин в агрегаті:

$$A_f = P_f \cdot L_s = \frac{10^4 \left(\eta_e \cdot f_{mp} \cdot G_{mp} + \sum f_{M_j} \cdot G_{M_j} \right)}{B_p} \quad (7.2)$$

де A_f – робота на утворення колії, МДж/га;

P_f – складова сили опору кочення, що викликає деформацію ґрунту, Н;

L_s – шлях пройдений агрегатом на 1 га, м/га;

η_e – коефіцієнт, який враховує внутрішні втрати в ходовій системі тракторів, (для колісних $\eta_{ек} = 0,98$, для гусеничних $\eta_{е\gamma} = 0,90 - 0,93$).

f_{mp}, f_{M_j} – відповідно коефіцієнт опору кочення трактора і j -тої машини в агрегаті (залежить від виду трактора, сільгоспмашини, агрофону і класу ґрунту; $f_{mp} = 0,10-0,25$; $f_M = 0,08-0,16$);

G_{mp}, G_{M_j} – експлуатаційна вага трактора і j -тої машини в агрегаті, Н;

B_p – робоча ширина захвату агрегату, м.

Наприклад, порівняння посівних МТА Т-150 + СП-11 + 3 СЗ-3,6 і МТЗ-82 + СЗ-3,6 за величиною роботи A_f свідчить про перевагу першого агрегату, для якого значення роботи деформації ґрунту приблизно в 1,5 рази менше ніж для другого МТА.

7.3. Опір зсуву (зрізу), внутрішнє тертя і зв'язність ґрунтів.

Для оцінки показників взаємодії ходових систем з ґрунтом використовують закономірності її стискання і зсуву. Перша характеризує

процес утворення сліду (колії), а друга – формування рушійної сили (зчеплення).

Зсув – це зміщення однієї частини ґрунту відносно іншої від дії бокового (тангенціального) тиску. Опір зсуву зв’язного ґрунту зумовлюється силами зчеплення та силами взаємного внутрішнього тертя між часточками ґрунту. Зчеплення та внутрішнє тертя залежать від гранулометричного та структурного складу ґрунту, вмісту гумусу, елементів живлення, солей, колоїдів тощо. З підвищенням щільності ґрунту зчеплення та внутрішнє тертя його збільшуються, а з підвищенням вологості вони зменшуються. Крім того, з поліпшенням структури ґрунту та збільшенням у його складі великопіщаної фракції тертя зростає, а зчеплення зменшується.

Опір зсуву має велике теоретичне і практичне значення, оскільки основна частина енергії при оранці (понад 50 %) витрачається на деформацію ґрунту на зсув (зріз).

П. У. Бахтін та інші дослідники доводять, що розміри сил опору ґрунту на зсув змінюються зі зміною вологості, щільності та нормальної сили від 0,01 до 0,5 МПа. У солонцюватих злитих ґрунтах опір зсуву досягає 1,3 МПа [4].

Зсув характеризується відношенням зсувного зусилля T_{zc} до нормальної сили N .

$$\psi = \frac{T_{zc}}{N}, \quad (7.3)$$

Для ґрунтів незв’язних показник зсуву рівнозначний внутрішньому тертю f . Опір зсуву T_{zc} зв’язних ґрунтів характеризується рівнянням Кулона

$$T_{zc} = f \cdot N + C \quad (7.4)$$

де C – сила зчеплення ґрунту, Н.

Опір зсуву складається з двох частин: зусилля на подолання сил внутрішнього тертя ґрунту і зусилля на подолання сил зчеплення ґрунту.

Сучасні методи визначення зсуву ґрунтуються на двох принципах: одно- та двоплощинному зрізі ґрунтів у прямолінійно-поступальному або коловому русі зрізуваних площин.

У ґрунтах опір зсуву зумовлений внутрішнім тертям ґрунту в площині поділу зчеплення часточок та опором зрізу коренів рослин.

Внутрішнє тертя – це опір часточок ґрунту руху одна відносно одної. Воно має велике значення при розрахунках протиерозійних заходів, особливо вітрової ерозії та при обробітці ґрунтів. Чим вище внутрішнє тертя, тим більше перешкод для переміщення однієї часточки ґрунту відносно іншої.

Зчеплення, або зв'язність, ґрунтів зумовлюється тими самими факторами, що й опір зсуву. Від сили зчеплення залежить величина всіх видів деформації ґрунту, в тому числі зріз, питомий опір при обробітці ґрунтів, тиск, несуча здатність тощо.

За абсолютної вологості суглинкових ґрунтів $W_a = 20-25\%$ для стерні сила зчеплення C (площа $F = 1\text{ см}^2$) дорівнює $2-4\text{ Н}$, $f = 0,3-0,7$.

7.4. Шляхи зниження шкідливої дії ходових систем на ґрунт

Основні способи зменшення ущільнення ґрунтів:

1. Зменшення контактного тиску (рис. 7.2). Його можна досягти двома способами:

- збільшення площі опору (застосування подвійних шин);
- зменшення маси машин за рахунок застосування: нових конструкційних матеріалів, конструкцій робочих органів і т.д.

Одним з шляхів зменшення ущільнення ґрунту є зменшення тиску в шинах. Однак тут є певні обмеження.

Застосування гусениць замість коліс. Площа контакту рушіїв колісних тракторів і комбайнів складає від $0,1$ до $0,4\text{ м}^2$, а гусеничних – $0,4-1,2\text{ м}^2$.

Недолік традиційних гусениць:

- низький ККД;
- низька транспортна швидкість;
- низька довговічність.

Однак, були виготовлені гумово-металеві гусениці (Caterpillar, John Dear). Ціна гумових гусениць залишається достатньо високою. Довговічність в 2 рази більша ніж коліс – до 5000 мотогодин. ККД гумових гусениць

дорівнював колісним. Проте, питання широкого використання гумових гусениць залишається спірним.

2. Зменшення кількості проходів опорних елементів по поверхні поля (виращування цукрового буряка до 17 проходів).

3. Застосування комбінованих машин, які виконують декілька технологічних операцій за один прохід (Суміщення технологічних операцій);

4. Перерозподіл потужності двигуна трактора між ведучими колесами і активними робочими органами с.г. машин:

- культиватори;
- фрези ротаційні;
- активні плуги;
- причіпні збиральні машини.

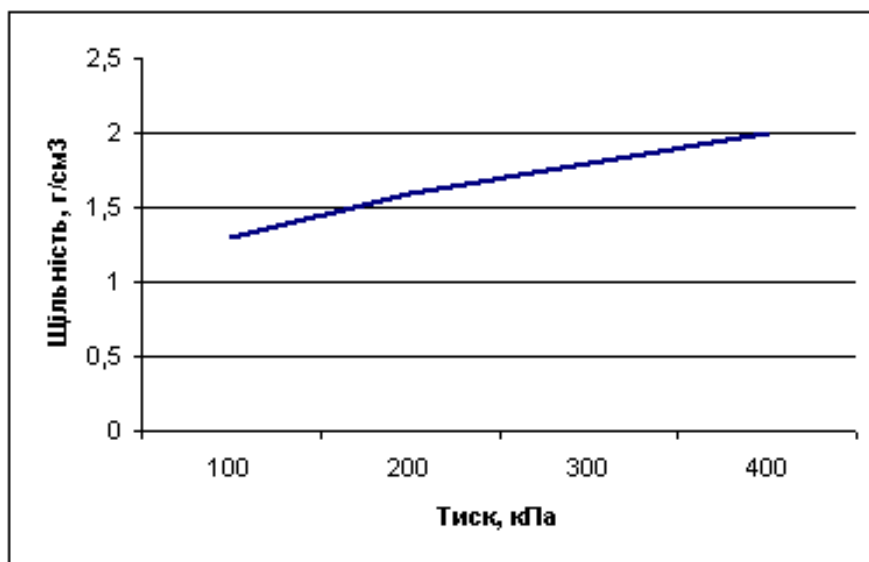


Рис. 7.2. Залежність щільності ґрунту
від тиску у шинах с.г. машин

5. Швидкість руху с.-г. машин і агрегатів. Номінальне ущільнення відбувається в діапазоні 2-5 км/год. При збільшенні швидкості руху (особливо важких машин) зростають пікові ущільнення за рахунок динамічних навантажень (нерівності поверхні поля).

6. Застосування авіації (при внесенні пестицидів).

7. Використання технологічних колій.

Питання для самоконтролю:

1. Стан ґрунтів в Україні та основні чинники зменшення їх родючості.
2. Як впливає щільність ґрунту на його родючість?
3. Як аналітично оцінюється ступінь ущільнення ґрунту рушіями МТА?
4. Яким чином можливо зменшити ущільнення ґрунтів рушіями МТА?
5. Сучасні і перспективні технічні рішення по запобіганню переущільнення ґрунтів
6. Які регіони України найбільше страждають від ущільнення ґрунтів?
7. Які заходи вживаються для покращення стану ґрунтів в Україні?
8. Які нормативи допустимого тиску ходових систем на ґрунт існують в Україні?
9. Як впливає перевищення допустимого тиску на фізико-механічні властивості ґрунту?
10. Які наслідки має ущільнення ґрунту для врожайності сільськогосподарських культур?
11. Що таке опір зсуву ґрунту і як він визначається?
12. Які конструктивні заходи дозволяють зменшити тиск ходових систем на ґрунт?
13. Як вибір типу рушія (гусеничний чи колісний) впливає на ступінь ущільнення ґрунту?
14. Які агротехнічні прийоми сприяють зменшенню негативного впливу ходових систем на ґрунт?

8. КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ТА МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЮ ТЕХНІКОЮ

8.1. Критерії оцінки ущільнюючого зусилля.

Загальноприйнятими критеріями ущільнюючого зусилля на ґрунт ходових систем сільськогосподарської техніки є:

- середній тиск – q_{cp} ;
- максимальний тиск – q_{max} ;
- показник впливу.

Середній тиск (q_{cp}) – найпоширеніший критерій, який був прийнятий для оцінки допустимого впливу ходових систем на ґрунт. Головне полягає в простоті його визначення.

Для гусеничних рушіїв середній тиск можна розраховувати як відношення сили тяжіння трактора до опорної поверхні. Для тракторів з колісними рушіями середній тиск прирівнюється до значення тиску повітря в шинах, хоча останнім часом його визначення ускладнилося з цілого ряду причин.

Фактичний максимальний тиск визначають за допомогою розрахунків з використанням експериментальних даних.

Основні вимоги до критеріїв:

- вони повинні легко розраховуватися;
- вони повинні забезпечувати наочне уявлення про властивості системи «Машина-Поле»;
- допускати просту оцінку даних експериментів;
- давати уявлення про допустимі значення тиску на ґрунт, при яких зберігається родючість ґрунтів.

Враховуючи ці вимоги встановлено, що показники q_{cp} , та q_{max} не відповідають цим вимогам. Між цими оцінними критеріями і їх впливом на врожайність немає чітко вираженого зв'язку. У зв'язку з викладеним був

запропонований і розроблений новий критерій – показник впливу, який характеризує процес взаємодії рушія з ґрунтом.

Для його визначення використовують декілька аналітичних залежностей. Одна з них пропонується для практичного використання:

$$U = \frac{\omega \cdot b \cdot q_{\max}}{1 + \lambda \cdot \lg n}, \text{ кН/м} \quad (8.1)$$

де: U – показник впливу, кН/м;

ω - коефіцієнт, залежний від розмірів і типу рушія

$\omega = 1,25$ – для колісного

$\omega = 2,15$ – для гусеничного

b – ширина рушія, м;

$q_{\max}$ – максимальний тиск рушія на ґрунт;

λ - коефіцієнт накопичення деформації ґрунту при повторних навантаженнях;

$\lambda = 0,41 \dots 1,5$

$\lg n$ – логарифм від кількості проходів техніки по полю.

На рис. 8.1 зображена залежність густини ґрунту в слідах трактора від показника впливу.

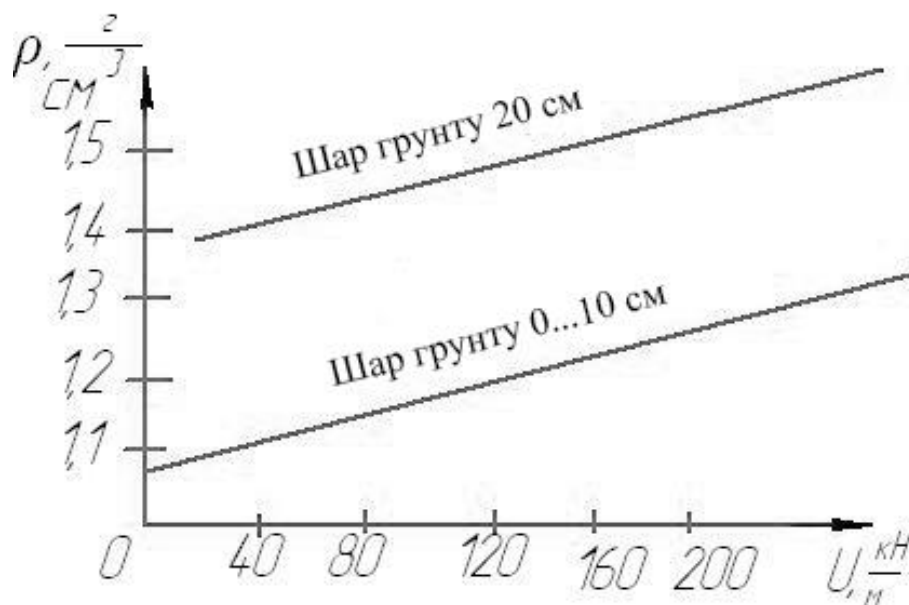


Рис. 8.1 Залежність густини ґрунту в слідах трактора від показника впливу

Як видно, ця залежність носить пропорційний характер для обох досліджуваних глибин.

У міру зростання показника впливу U знижується пористість ґрунту (рис.8.2) і збільшується питомий опір її (рис. 8.3).

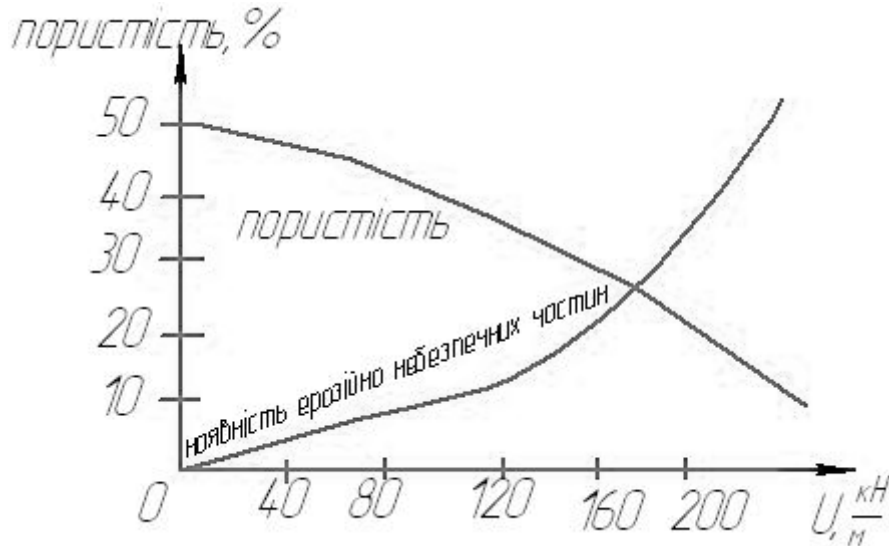


Рис. 8.2. Залежність властивостей ґрунту від показника впливу

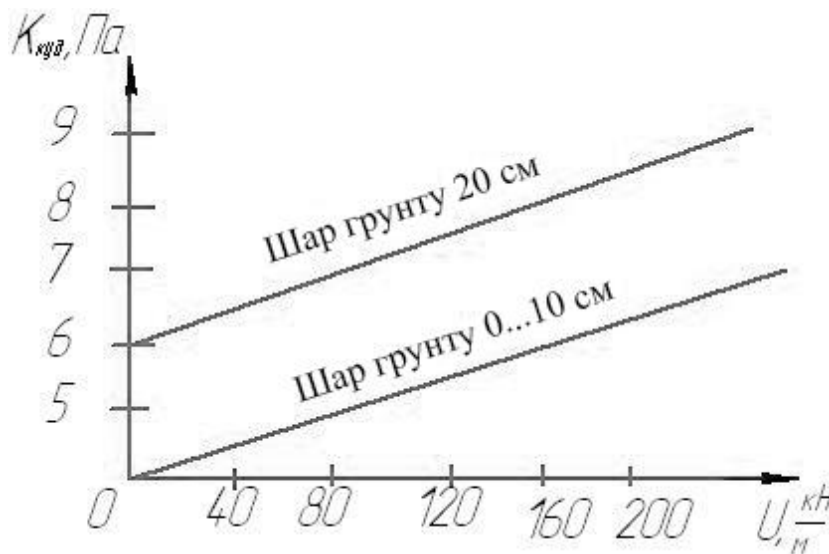


Рис. 8.3. Залежність опору ґрунту від показника впливу.

Як випливає з графіків (рис. 8.2 і рис. 8.3) із збільшенням показника впливу зменшується пористість ґрунту, що свідчить про погіршення водопроникності, пропорційно зростає кількість ерозійних небезпечних

частинок і збільшується питомий опір ґрунту з початкового 4...6 Па до 8...12 у зв'язку із зростанням показника впливу до 200 кН/м.

Проведені експериментальні дослідження по залежності врожайності від показника впливу дозволяє відзначити, що з його зростанням вихід продукції з одиниці переущільненого ґрунту доказово падає.

Приведені приклади дозволяють стверджувати, що показник впливу задовольняє вимоги до критеріїв оцінки ущільнення ґрунту ходовими системами сільськогосподарських машин.

Аналіз проведених залежностей показника впливу на фізико-механічні властивості ґрунту дозволяє зробити висновок у тому, що існують певні межі ущільнюючого зусилля і ущільнення ґрунту, нижче за яких не відбуватиметься зниження врожайності сільськогосподарських культур.

8.2. Допустимий рівень ущільнюючого зусилля на ґрунт.

Для визначення допустимого рівня показника впливу проводилися польові експериментальні дослідження на різних по фізико-математичному складу ґрунтах з подальшою обробкою одержаних даних методами математичної статистики. В результаті таких досліджень встановлено, що допустимий рівень показника впливу повинен знаходитися біля $U = 75$ кН/м. При цьому значенні ущільнення ґрунту не приводить до доказового зниження врожайності.

Одночасно з цим існують, за даними ряду інших досліджень, інші думки щодо допустимого значення показника впливу. За наслідками спостережень одних учених цей показник рекомендується приймати на рівні $U = 56$ кН/м для вологих ґрунтів і $U = 94$ кН/м – для ґрунтів нормальної вологості.

З урахуванням цих впливів значення цього показника можна розраховувати за формулою:

$$U = \frac{B_1}{2 \cdot B_a} \sum \left(U_j + [U] \left(1 - \frac{nB_1}{2B_a} \right) \right) \quad (8.2)$$

8.3. Методи визначення ущільнення ґрунтів ходовими системами с.-г. техніки.

Особливе значення при роботі с.-г. машин, як це показано вище, має ущільнення ґрунтів. Актуальність вивчення цього питання пояснюється використанням енергонасичених тракторів. При вивченні питань ущільнення ґрунтів користуються, головним чином, трьома методами.

Метод загального ущільнення полягає у тому, що дослідну ділянку ущільнюють рушіями машин, а потім визначають фізичні властивості ґрунту і врожайність культур.

Метод – «слід-по-сліду» використовують на машинно-випробувальних станціях. При цьому методі оцінюють: закладення насіння в ґрунт, глибину колії, необхідність додаткового розпушення.

Метод «загальної оцінки» полягає у визначенні густини ґрунту по ширині захвату агрегату і вплив її на врожайність. Приклад такої оцінки показаний на Рис. 8.4.

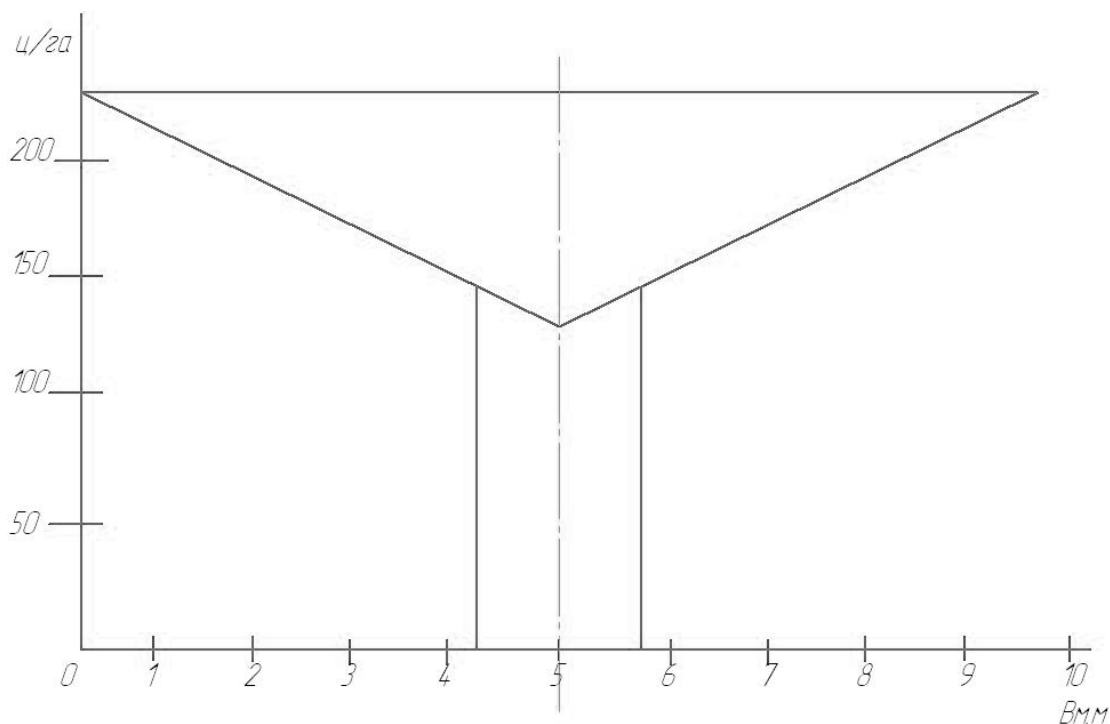


Рис. 8.4. Вплив ущільнення ґрунту на врожайність зеленої маси по ширині захвату агрегату Т-150 + 3 СЗ-3,6.

Ущільнення ґрунту можна визначити енергетичною оцінкою роботи деформації ґрунту, який зв'язаний з силою опору коченню машин в агрегаті:

$$H_f = P_t \cdot L_s = \frac{10^4 (\eta_6 f_{mp} \cdot G_{mp} + \sum f_{MI} \cdot G_{MI})}{B_p} \quad (8.3)$$

H_f - робота на створення колії, МДж/га;

P_t - складова сили опору кочення, що викликає деформацію ґрунту, Н

L_s - шлях, пройдений агрегатом на 1 га, м

η_6 - коефіцієнт, що враховує втрати в ходовій системі тракторів ($\eta_6=0,98$ – для колісних і $\eta_6=0,90...0,93$ для гусеничних)

f_{mp} f_{MI} - відповідно коефіцієнти опору коченню трактора і I -ої машини в агрегаті; $f_{mp}=0,10...0,25$; $f_{MI}=0,08...0,16$.

G_{mp} ,- експлуатаційна сила тяжіння трактора і I -ої машини в агрегаті, Н

B_p - робоча ширина захоплення агрегату, м.

В процесі руху агрегату по ріллі ходові системи стискають ґрунт і зрізають його. Стиснення характеризує процес створення колії, зрушення – формування руйнівної сили.

Зріз – це зсув однієї частинки ґрунту щодо іншої від дії бічного тиску. Опір зрізу зв'язного ґрунту обумовлений силами зчеплення і силами внутрішнього тертя між частинками ґрунту. Зчеплення і внутрішнє тертя залежать від гранулометричного і структурного складу ґрунту, вмісту гумусу, елементів живлення, солей і т.д. З підвищенням густини ґрунту зчеплення і внутрішнє тертя його збільшується, а з підвищенням вогкості воно зменшується.

Зріз характеризується відношенням зрізаючого зусилля T_{cp} до нормальної сили N

$$\psi = \frac{T_{cp}}{N} \quad (8.4)$$

Для ґрунтів незв'язних показник зрізу рівнозначний внутрішньому тертю f . Опір зрізу T_{cp} зв'язних ґрунтів характеризується рівнянням Кулона

$$T_{cp} = f \cdot N + C \quad (8.5)$$

де C – сила зчеплення ґрунту, N

Внутрішнє тертя – це опір частинок ґрунту рухатися одна щодо іншої. Воно має велике значення при розрахунках протиерозійних методів, особливо вітрової ерозії і при обробці ґрунтів. Чим вище внутрішнє тертя, тим більший опір взаємного переміщення частинок.

Питання для самоконтролю:

1. Які критерії ущільнення ходовими системами МТА використовуються в наш час?
2. Які вимоги ставляться до критеріїв оцінки ущільнення ґрунту ходовими системами МТА?
3. Показник впливу ходових систем МТА та його визначення.
4. Як залежать властивості ґрунту від показника впливу.
5. Яке значення має допустимий показник впливу в залежності від типу ґрунту та його вологості?
6. Які методи визначення ущільнення ґрунтів ходовими системами с.-г. техніки відомі на сьогодні?
7. Що таке ущільнення ґрунту та які його основні причини у сільськогосподарському виробництві?
8. У чому полягає різниця між статичними і динамічними методами визначення ущільнення?
9. Як впливають ущільнені шари ґрунту на кореневу систему рослин?
10. Чому ущільнення ґрунту вважається однією з екологічних проблем сучасного землеробства?

9. УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ КОЛІСНИМИ ТА ГУСЕНИЧНИМИ РУШІЯМИ

9.1. Вплив параметрів колісних та гусеничних рушіїв на ущільнення ґрунту.

9.1.1. Вплив параметрів колісних рушіїв на ущільнення ґрунту.

На ущільнення ґрунту впливають такі параметри: тиск повітря в шинах; маса машини, яка передається на колеса; навантаження на трактор, розміри і форма протектора шин рушіїв. Основними критеріями, за допомогою яких оцінюють процес взаємодії рушія з ґрунтом, є середній та максимальний тиск $q_{ср}$, q_{max} та показник впливу U

Показник впливу визначають з формули:

$$U = \frac{\omega \cdot b \cdot q_{max}}{1 + \lambda \cdot \lg N} \quad (9.1)$$

Де U – показник впливу, кН/м;

$\omega = 1,25$ для колісного рушія;

b – ширина рушія, м;

q_{max} – максимальний тиск рушія на ґрунт;

λ - коефіцієнт накопичення деформації ґрунту при повторних навантаженнях;

$\lambda = 0,41 \dots 1,5$

N – кількість проходів техніки по полю.

Конфігурація опорної поверхні шини представлена на рис. 9.1.

Цілим рядом науково-дослідних установ встановлено, що максимальний тиск на опорні поверхні ґрунтозачепів і шини не однакові. Так, при оранці в умовах застосування орного агрегату трактор класу 14 і плуга ПЛН-3-35 тиск на поверхні ґрунтозачепів досягав величини 0,48...0,56 МПа, а на опорній поверхні шини – 0,04 МПа. При проведенні посіву із застосуванням того ж трактора тиск склав 0,09...0,11 МПа.

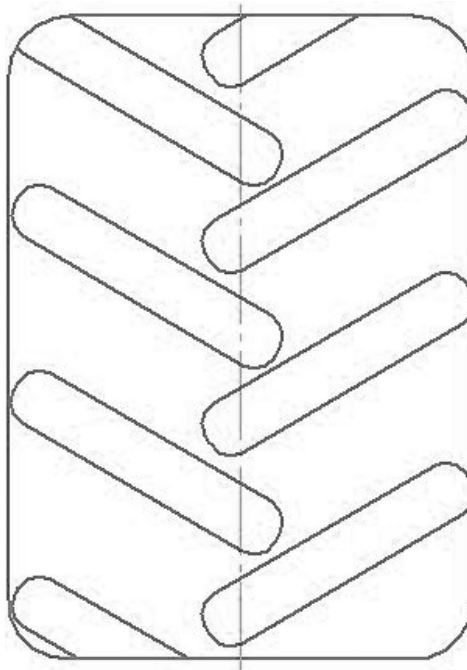


Рис. 9.1. Опорна поверхня шини

Аналогічні результати одержані при проведенні досліджень на сніжному покриві. Таким чином, при повному заглибленні ґрунтозацепів в ґрунт або в сніг тиск на опорних поверхнях ґрунтозацепів і шини вирівнюється. Використання замість серійних шин з ґрунтозацепами арочних шин (рис. 9.2) приводить не тільки до вирівнювання тиску, але навіть і до його зниження. Так, для трактора МТЗ-82 це зниження складає 1,5...2 рази.



Рис. 9.2. Арочна шина

Значний вплив на ущільнення ґрунтів чинить внутрішній тиск повітря в шинах. За даними НАТІ, проведені дослідження з різними тракторами показали, що зниження тиску повітря в шинах з 0,16 до 0,08 МПа привело до зменшення максимального тиску на ґрунт для передніх коліс на 33%, для задніх – на 35% (рис. 9.3)

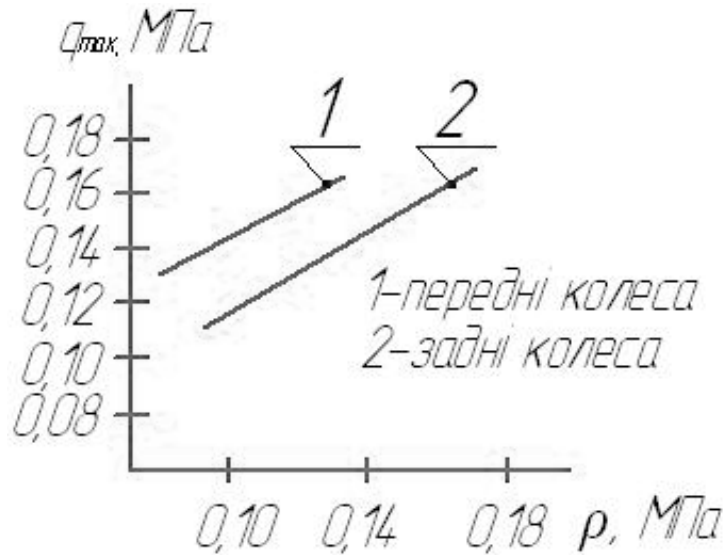


Рис. 9.3. Залежність q_{max} від тиску повітря в шинах p

Фізичне значення цього явища зводиться до того, що у міру зниження тиску повітря в шинах їх опорна поверхня під впливом маси тягової машини зростає.

На величину тиску рушіїв на ґрунт впливає навантаження на гаку трактора і розподіл маси трактора по осях.

Дослідженнями встановлено, що збільшення навантаження на гаку трактора від 0 до 30 кН впливає на ущільнення ґрунту по-різному для передніх і задніх коліс.

Через перерозподіл навантаження на колеса, тиск передніх коліс на ґрунт зменшується, а задніх – зростає (рис. 9.4).

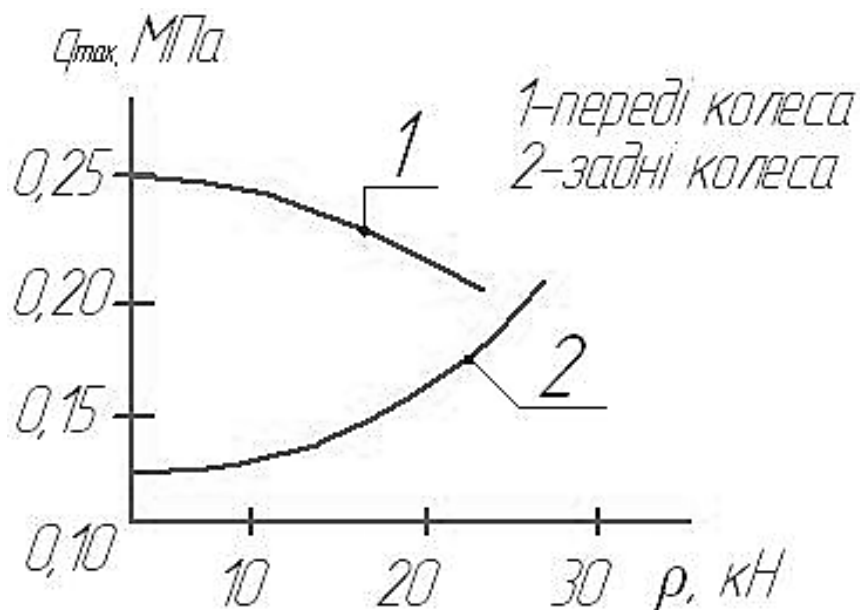


Рис. 9.4. Залежність тиску на ґрунт коліс трактора від сили тяги на гаку трактора.

На рис. 9.5 наведено залежність розподілу маси трактора між осями на тиск коліс на ґрунт.

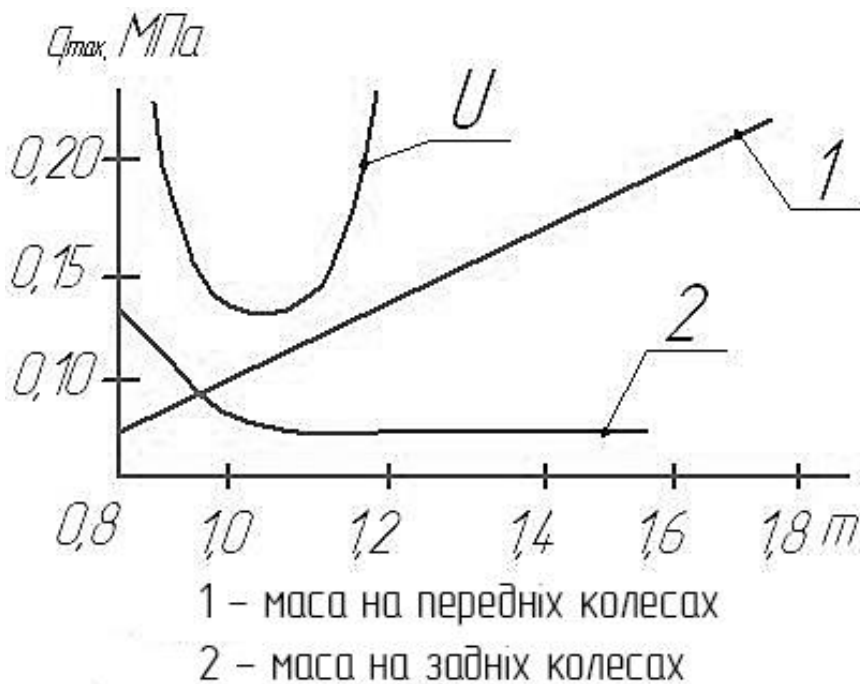


Рис. 9.5. Вплив ущільнення ґрунту розподілом маси по осях трактора Т-150К: 1 – маса на передніх колесах; 2 – маса на задніх колесах;

U – показник впливу $U=f(M)$

У сучасних тракторах відношення маси, що приходить на передній міст M_1 до маси M_2 , що приходить на задній міст,

$$m = \frac{M_1}{M_2} = 1,8 \quad (9.2)$$

при цьому $M_1 = 65\% G$, $M_2 = 35\% G$. Необхідно зменшити навантаження на передні колеса до 56...58%, що з урахуванням навантаження на гаку приведе до зменшення m до рівня 0,9...1,1 що є оптимальним значенням.

9.1.2. Вплив параметрів гусеничних рушіїв на ущільнення ґрунту.

Для оцінки ущільнюючого впливу техніки на ґрунт застосовується показник впливу

$$U = \frac{\omega \cdot b \cdot q_{\max}}{1 + \lambda \lg N} \quad (9.3)$$

де:

ω - коефіцієнт, залежний від розмірів рушія; $\omega = 2,15$

b – ширина рушія, м

$q_{\max}$ – максимальний тиск рушія на ґрунт

λ - коефіцієнт накопичення деформації в ґрунті при повторних навантаженнях; $\lambda = 0,41 \dots 1,5$

N – кількість проходів.

У наведеному рівнянні невідомим є $q_{\max}$; інші дані беруться по паспорту трактора.

Відомо, для гусеничного рушія тиск по довжині гусениці розподіляється нерівномірно. Ця нерівномірність залежить від типу підвіски, кількості опорних катків, відстані між ними, а також від сили тяги на гаку трактора. Нерівномірність тиску по довжині гусениці представлена на рис.9.6 епюрами розподілу тиску.

Як видно з приведених графіків, при установці жорсткої підвіски з парних катків в роботу включається вся опорна поверхня рушія. Балансирна підвіска як додаткове підресорювання опор забезпечує появу пікового тиску

на ґрунт. Не дивлячись на дещо більш рівномірний розподіл тиску на ґрунт при жорсткій підвісці котків рекомендувати їх в конструкцію тракторів не представляється можливим у зв'язку із значними вимушеними коливаннями, які приводять до швидкого виходу з ладу механізмів, агрегатів і трактора в цілому.

Епюра розподілу тиску на ґрунт по слідах рушіїв гусеничного трактора залежить від ступеня завантаження тягових можливостей трактора. Так, наприклад, збільшення навантаження на гаку гусеничного трактора класу 30 кН від 0 до 40 кН приводить до збільшення питомого максимального тиску на ґрунт q_{max} від 0,146 до 0,213 МПа.

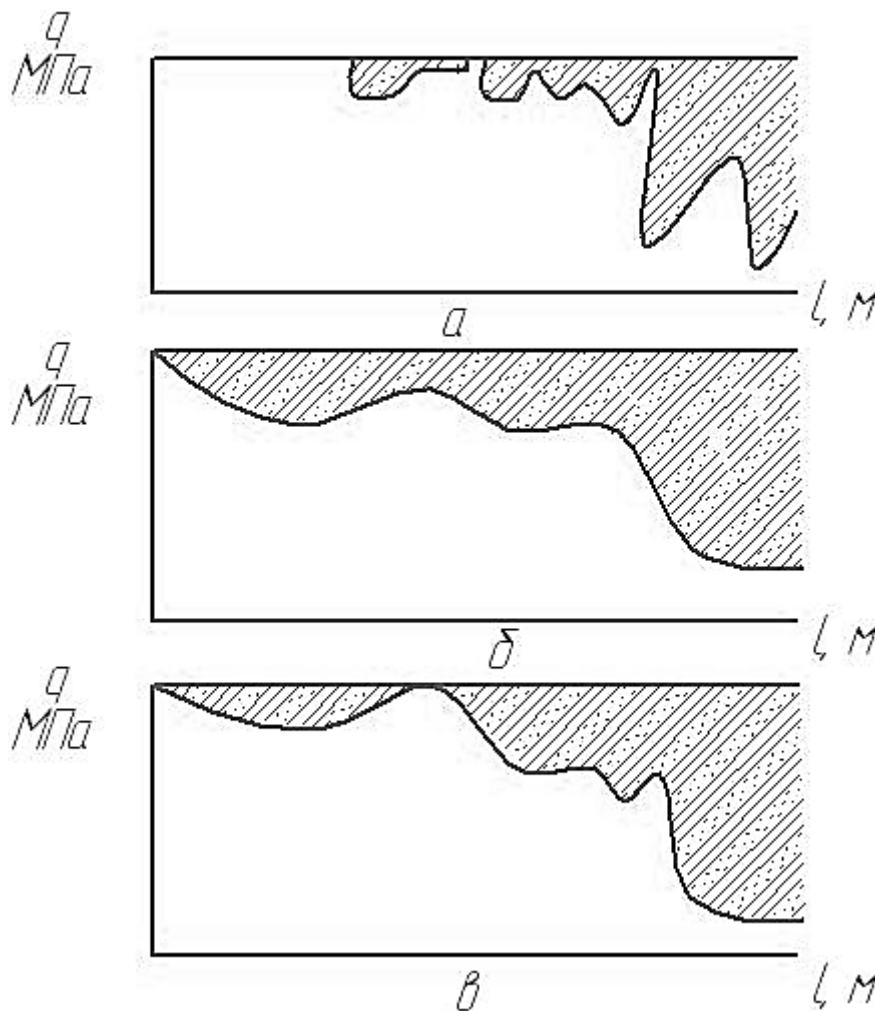


Рис.9.6 Епюри розподіли тиску на ґрунт

a – з балансирною підвіскою;

б – з жорсткою підвіскою;

в – з додатковим підресорюванням.

На величину q_{max} впливає також кількість котків опорних візків. Збільшення їх кількості приводить до зменшення q_{max} (рис. 9.7)

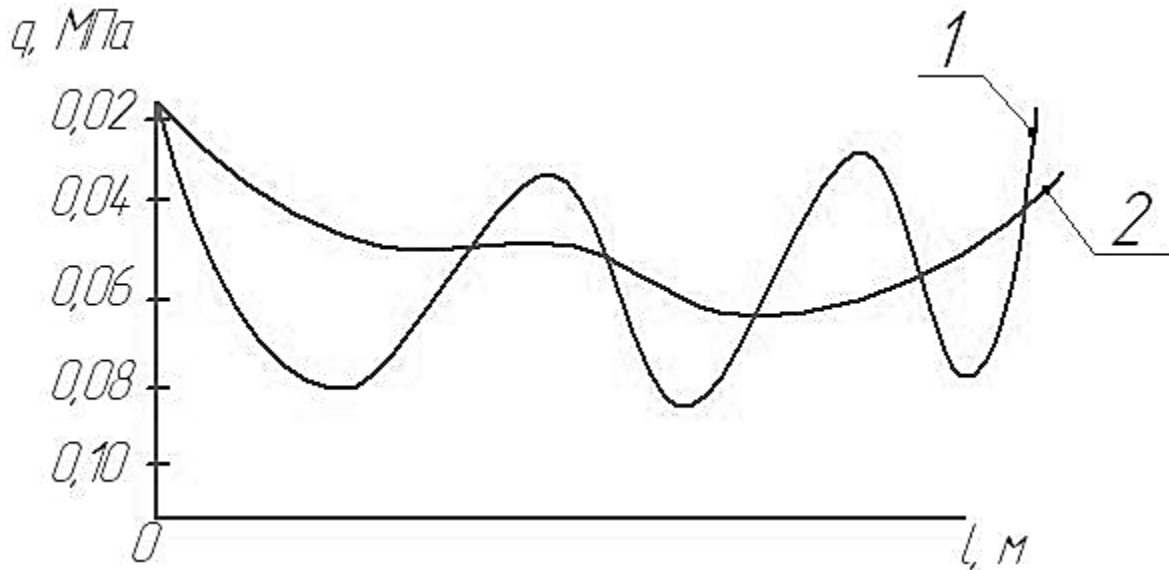


Рис.9.7. Епюри тиску рушіїв на ґрунт l , м залежно від числа опорних катків
1 – 4 катки; 2 – 8 катків.

9.2. Вплив швидкості руху рушіїв на ущільнення ґрунту.

9.2.1. Вплив швидкості руху колісних рушіїв на ущільнення ґрунту.

Питання впливу, швидкості руху на ущільнення ґрунту до теперішнього часу вивчено не повністю. Слід при цьому відзначити, що результати теоретичних і експериментальних досліджень мають достатньо повну схожість. Більшість дослідників дійшла висновку, що збільшення швидкості руху для колісного рушія приводить до зменшення максимального тиску на ґрунт. Одержані дані учені пояснюють тим, що збільшення швидкості руху зменшує тривалість взаємодії колеса з ґрунтом у зв'язку з чим ґрунт не встигає повністю деформуватися.

Деякий інший характер залежності тиску на ґрунт від швидкості руху має гусеничний рушій. Теоретична залежність $q_{max}=f(V_{max})$ для гусеничного рушія наведена на рис. 9.8.

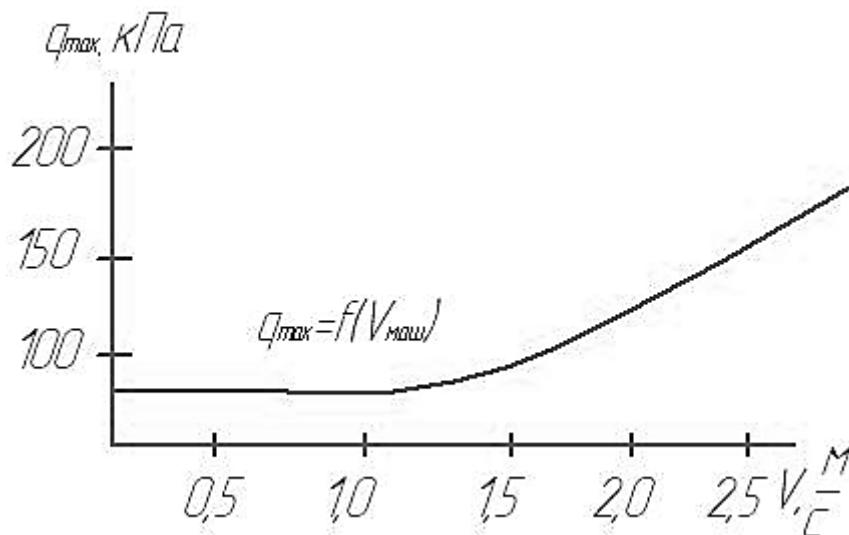


Рис.9.8. Вплив швидкості руху трактора на тиск на ґрунт для гусеничного рушія

Дослідження, проведені Ксеновичем І.П. доводять, що для колісного рушія в діапазоні швидкостей 1,0-4,0 м/с із збільшенням швидкості руху щільність ґрунту в слідах коліс практично не змінювалася. Для гусеничного рушія із збільшенням швидкості руху від 1,2 до 2,7 м/с відбувається збільшення щільності ґрунту в слідах, а потім зменшується. Цю закономірність необхідно враховувати на практиці.

9.2.2. Вплив швидкості руху гусеничних рушіїв на ущільнення ґрунту.

Численними дослідженнями встановлено, що для гусеничних рушіїв швидкість їх руху здійснює значний вплив на ущільнення ґрунту.

Тиск рушіїв на ґрунт складається з двох складових

$$q_{\max} = q_0 + q_v = q_0 + \frac{4\rho V_s^2}{e^2} \left(\ln \frac{V_s}{V_g} + 1 \right)^2 \quad (9.4)$$

q_0 - статичний тиск на ґрунт, МПа;

q_v - динамічний тиск на ґрунт, МПа;

ρ - щільність ґрунту, т/м³;

V_v - швидкість вертикального заглиблення рушія в ґрунт, м/с;

V_s - швидкість розповсюдження деформації в ґрунті, м/с.

Рис. 9.9 дає наочне уявлення про збільшення питомого тиску на ґрунт рушіїв гусеничного трактора у зв'язку із збільшенням швидкості руху агрегату для трьох типів тракторів.

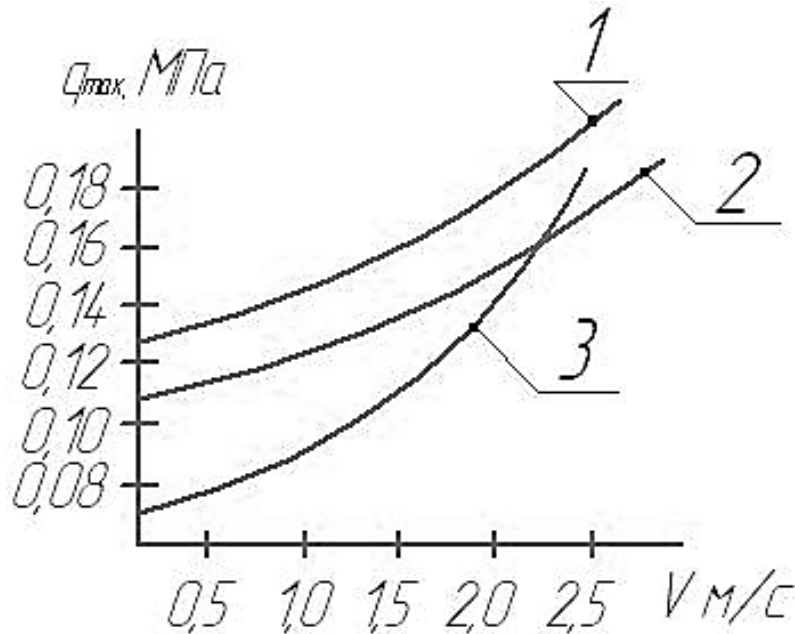


Рис. 9.9. Залежності $q_{max}=f(V, \text{м/с})$

1 – трактор Т-150; 2 – трактор ДТ-75М; 3 – трактор ДТ-75Б

Дослідженнями також встановлено, що із збільшенням швидкості руху агрегату збільшується глибина сліду рушіїв. Це пояснюється тим, що ґрунт прилипає до рушіїв, маса їх, особливо маса безпружинних частин, збільшується, це є причиною збільшення деформації ґрунту і, як наслідок, збільшення глибини колії по слідах трактора. Описаний ефект найчіткіше виявляється на вологому ґрунті, у зв'язку з чим не рекомендується використовувати трактор і проводити польові роботи при високій вологості ґрунту на високих швидкостях.

9.3. Методика розрахунку показника впливу на ґрунт рушія.

9.3.1. Методика розрахунку показника впливу на ґрунт колісного рушія.

Вихідними даними для розрахунку є:

- експлуатаційна маса трактора, m_e ;
- маса невідвіснених частин, m_n ;
- розміри шин (D та B);
- внутрішній тиск в шинах, P_w ;
- кількість рушіїв і схема їх розміщення.

Порядок розрахунку

1. Визначають максимальний тиск кожного рушія на ґрунт при $V=0$ м/с (статика).

$$q_{\max} = \frac{M_i}{B \cdot h} \quad (9.5)$$

M_i - маса трактора, що приходить на одне колесо, кН;

B і h – відповідно ширина і довжина контакту шини, м;

2. Для сільськогосподарських тракторів звичайно приймають $q_{\max v} = q_{\max 0}$. Тобто максимальний тиск в динаміці рівний максимальному тиску в статистиці

3. Розраховуємо показник впливу кожного колісного рушія на ґрунт в слідах

$$U = \omega \cdot b \cdot q_{\max v} \quad (9.6)$$

b – ширина сліду (колії), м.

4. Визначаємо показник впливу U залежно від ширини захвату машинно-тракторного агрегату

$$U = \frac{B_1}{2B_a} \sum_{i=1}^n U_i + [u] \left(1 - \frac{nB_1}{2B_a} \right); \quad (9.7)$$

B_1 – ширина зони впливу ущільнення ґрунту на врожайність сільськогосподарських культур;

B_a – ширина захвату МТА, м;

U_i – показник впливу в i -тому сліді;

$[u]$ – допустиме значення показника впливу, $[u]=75$ кН/м;

n – кількість слідів трактора, що залишаються на полі;

ω – коефіцієнт, залежний від розмірів і типу рушія.

Для колісного трактора $\omega = 1,25$.

9.3.2. Методика розрахунку показника впливу на ґрунт гусеничного рушія.

Початковими даними для аналітичних розрахунків максимального питомого тиску є:

- маса трактора;
- маса безпружинних частин трактора;
- геометричні параметри гусеничних рушіїв і їх ланок;
- кількість опорних катків;
- тип підвіски;
- положення центру мас;
- параметри ґрунту (модуль деформації, коефіцієнт Пуассона, щільність і коефіцієнт інтенсивності накопичених деформацій).

Найбільш поширена думка, що характер розподілу тиску на ґрунт носить пропорційний характер. При цьому враховують, що залежно від положення центру тиску (точка прикладання результуючих всіх діючих сил до опорної поверхні), епюра представлена може бути прямокутником, трапецією, трикутником (рис. 9.10)

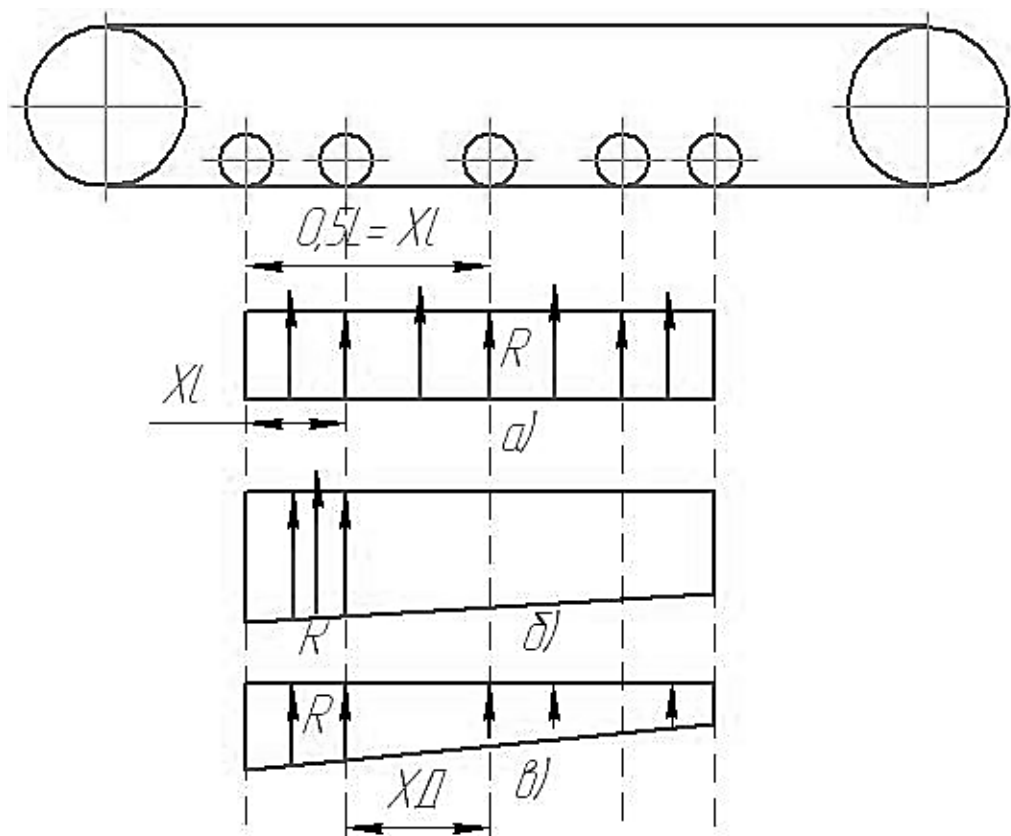


Рис.9.10 Епюри тиску рушіїв на ґрунт залежно від точки прикладання
рівнодіючої всіх сил:

$$\text{а) } X_D=0; \text{ б) } X_D = \frac{h}{6}; \text{ в) } X_D = \frac{h}{6}$$

При проведенні розрахунків приймають наступні припущення:

- кількість котків нескінченно велика;
- гусеничний рушій є балкою;
- жорсткість балки порівняно з жорсткістю ґрунту рівна нескінченності.

Тиск підраховують за формулою:

$$q_n = \frac{\frac{G_g}{b \cdot l}}{3 \frac{X_n}{n} - 1} \quad (9.8)$$

тут G_g – експлуатаційна сила тяжіння машини, кН;

b і l – відповідно ширина і довжина опорної поверхні гусеничних рушіїв,
м;

X_n – координати рівнодіючої всіх сил, м.

В окремих випадках для попередньої оцінки питомого тиску на ґрунт користуються залежністю

$$q_{\max} = \frac{G_9}{n \cdot b \cdot t} \quad (9.9)$$

де, n – кількість опорних катків;

t – крок гусениці, м

При точніших розрахунках застосовують складніше рівняння

$$q_{\max} = c \cdot h^\mu \quad (9.10)$$

c – несуча здатність ґрунту, визначена експериментальним шляхом, кН/м³

h – глибина сліду, що залишається на ґрунті, м

μ – коефіцієнт; ($0 < \mu < 1$)

При розрахунку показника впливу на ступінь ущільнення ґрунту дотримуються наступного порядку.

1) Визначають навантаження на опорні катки кожного рушія за формулою

$$Q_k = \frac{G}{N \cdot n} \quad (9.11)$$

де, G – сила тяжіння трактора, кН;

N – кількість рушіїв;

n – кількість опорних катків на кожному рушії.

2) Визначають максимальний питомий тиск рушія на ґрунт при швидкості руху $V=0$

$$q_{\max} = \varepsilon \cdot q_{cp} \quad (9.12)$$

ε – коефіцієнт нерівномірності розподілу тиску (визначається експериментально)

q_{cp} – середній питомий тиск рушіїв на ґрунт, МПа

$$q_{cp} = \frac{mg}{10^3 \cdot h \cdot b} \quad (9.13)$$

m – маса рушія, кг;

b – ширина гусениці, м;

h – довжина контакту гусениці з ґрунтом (дорівнює відстані між осями провідної зірочки і направляючого колеса), м

3) визначають $q_{\max}$ при заданій швидкості руху машини:

$$q_{\max v} = q_{\max} \cdot A$$
$$A = \frac{m_n}{m_3} + \left(1 - \frac{m_n}{m_3}\right) \alpha_T \quad (9.14)$$

α_T – динамічний коефіцієнт, що визначається експериментально

m_n – маса безпружинних частин трактора, кг;

m_3 – експлуатаційна маса трактора, кг.

4) Розраховують показник впливу на ґрунт кожного рушія

$$U = \omega \cdot B \cdot q_{\max} \quad (9.15)$$

B – ширина сліду рушія, м;

$\omega = 2,15$

9.4. Шляхи зниження негативної дії ходових систем на ґрунт.

Основними способами зменшення ущільнення ґрунтів колісними рушіями є:

- збільшення площі опори колісного рушія;
- зменшення маси машини;
- зменшення кількості проходів агрегатів по полю;
- застосування комбінованих агрегатів для поєднання операцій;
- перерозподіл потужності двигуна трактора між провідними колесами і активними робочими органами машини;
- оптимізація швидкості руху агрегатів;
- застосування авіації при використанні хімічних препаратів;
- використання технологічної колії при вирощуванні с.-г. культур.

Основними способами зменшення ущільнення ґрунтів гусеничними рушіями є:

1. Необхідно зменшувати масу трактора і особливо масу безпружинних частин. Як показують розрахунки, зниження маси безпружинних частин в 2 рази зменшує показник впливу на 15...30%.
2. Слід зменшувати швидкість руху трактора на вологих ґрунтах.
3. Віддавати перевагу рушіям з вузькими і довгими опорними поверхнями.
4. Положення центру маси при компоновці трактора підбирають так, щоб тиск рушіїв на ґрунт був однаковим.
5. Для гусеничних рушіїв необхідно зменшувати нерівномірність тиску на ґрунт з боку окремих опорних катків.

Питання для самоконтролю:

1. Від чого залежить та як визначається показник впливу на ґрунт для колісного рушія?
2. Як впливає тиск повітря у шині на ущільнення ґрунту?
3. Особливості визначення показника впливу на ґрунт для гусеничного рушія
4. Як впливає швидкість руху на ущільнення ґрунту для колісного рушія?
5. Як впливає швидкість руху на ущільнення ґрунту для гусеничного рушія?
6. Сутність методики розрахунку показника впливу на ґрунт для колісного рушія.
7. Сутність методики розрахунку показника впливу на ґрунт для гусеничного рушія.
8. Шляхи зниження негативної дії ходових систем на ґрунт для колісного рушія.
9. Шляхи зниження негативної дії ходових систем на ґрунт для гусеничного рушія.

10. ОСНОВИ СИСТЕМИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Протягом історичного розвитку сільського господарства людство постійно звертало увагу на те, що потенціал використання природних ресурсів характеризується значною нерівномірністю як географічне, так і у часі. Така неоднорідність агрокліматичних умов сприяла утворенню цілої низки систем виробництва продукції рослинництва і тваринництва для забезпечення найбільш ефективного використання наявних ресурсів. При цьому, неоднорідність умов ведення сільськогосподарського виробництва спостерігається на багатьох рівнях (регіональному, ландшафтному, місцевому, тощо). Саме застосування знань про змінний потенціал земельних ресурсів на місцевому рівні сприяв виникненню новітніх технологій у сучасному рослинництві, що отримали **назву точне землеробство (ТЗ)**.

Сьогодні існує багато визначень терміну „точне землеробство”. Спільним у цих визначеннях є те, що ТЗ це стратегія сільськогосподарського менеджменту спрямована на підвищення економічної ефективності і зменшення негативного екологічного впливу виробництва продукції рослинництва шляхом диференціювання методів і норм застосування технологічних матеріалів (насіння, хімікатів, тощо) відповідно до місцевизначених потреб і оптимізованих рекомендацій.

Головна мета системи точного землеробства (СТЗ) полягає в раціональному та оптимальному використанні технологічних матеріалів (ТМ) – таких як насіння, добрива, регулятори росту, засоби захисту рослин – у межах конкретних ділянок поля. Рішення приймаються з урахуванням: вимог вирощуваної культури; агрофізичного стану ґрунту; необхідності збереження довкілля.

Цей підхід дає змогу: значно скоротити витрати на ТМ; зменшити техногенне навантаження на агроєкосистему; підвищити ефективність виробництва без шкоди для навколишнього середовища.

Системи точного землеробства є надзвичайно актуальними і перспективними, оскільки дозволяють гнучко керувати ресурсами агробіоценозу у будь-якій формі господарювання – від великих агрохолдингів до фермерських господарств.

Досвід розвинутих країн свідчить, що традиційне екстенсивне (Направлений у сторону кількісного збільшення, а не у сторону покращення якості (інтенсивний)) використання землі у сільськогосподарському виробництві практично вичерпано. Ось чому триває активний пошук шляхів досягнення мети з впровадження нових промислових технологій ведення сільськогосподарських робіт та оптимального керування механізованими агротехнологічними операціями і процесом формування врожаю.

10.1. Історична довідка виникнення СТЗ

Однією з ключових особливостей сучасного землеробства в Україні є реструктуризація форм власності на землю та засобів агровиробництва. Цей процес супроводжується зростанням відповідальності землевласника не лише за економічні результати своєї діяльності, а й за стан ґрунтів і навколишнього природного середовища. Такий перехід вимагає впровадження новітніх систем ведення сільського господарства, які відповідають як ринковим, так і екологічним викликам. Зокрема, все більшої популярності набуває система точного землеробства (СТЗ) – високотехнологічна інтегрована система, що поєднує аналіз, планування та управління агротехнологіями на основі даних з поля. Досвід країн із високим рівнем розвитку сільського господарства – таких як США, Канада, Німеччина – підтверджує стійку тенденцію переходу до СТЗ, яка забезпечує: раціональне використання ресурсів; підвищення врожайності без шкоди для довкілля; ефективне управління на рівні окремих ділянок поля.

Головна ідея системи точного землеробства (СТЗ) полягає в тому, що з кожного сільськогосподарського поля щороку збирається два врожаї:

- біологічний урожай – у вигляді продукції (зерно, коренеплоди, овочі тощо);
- та інформаційний урожай – у вигляді даних про стан ґрунтів, рослин, врожайність, погодні умови, технологічні впливи.

Ці два типи врожаю взаємопов'язані просторово й часово, а їх комплексний аналіз дозволяє вдосконалювати агротехнології, зменшувати втрати і раціоналізувати використання ресурсів у наступних сезонах.

СТЗ, як концепція, сформувалася у США близько 20 років тому, після того як уряд надав цивільному сектору дозвіл на використання супутникової навігації, спочатку створеної для військових цілей. Йдеться про Глобальну Систему Позиціонування (GPS), що базується на мережі з 24 супутників, виготовлених компанією Rockwell International.

Саме доступ до точного визначення координат на полі відкрив шлях до нових підходів в агровиробництві, де кожна ділянка обробляється не за середньозваженими нормами, а індивідуально, відповідно до її потреб і потенціалу.

У системі точного землеробства (СТЗ) ключову роль відіграє навігаційне забезпечення, яке дозволяє аграріям точно орієнтуватися в межах поля. Користувач такої системи має можливість під'єднатися до супутника і отримати інформацію про географічні координати свого місцезнаходження (широту, довготу та висоту), швидкість переміщення мобільного агрегату, а також точний час. Проте використання класичної Глобальної Системи Позиціонування (GPS), яка базується на сигналах із супутників, не позбавлене обмежень. Через наявність спеціальних декласифікаційних викривлень, навмисно вбудованих з міркувань безпеки, точність позиціонування може знижуватися до ± 50 метрів. Такий рівень похибки є абсолютно неприйнятним для потреб точного землеробства, яке вимагає сантиметрової точності.

Для розв'язання цієї проблеми застосовується технологія диференціального позиціонування – ДГСП (диференційна GPS). Її суть полягає в тому, що на земній поверхні розміщуються стаціонарні базові станції з точно відомими координатами. Вони приймають сигнали з супутників, порівнюють отримані координати з реальним положенням і визначають похибку. Далі ці станції передають у ефір сигнал корекції, який приймає мобільний об'єкт – трактор, комбайн або інша машина. У результаті декласифікаційні викривлення усуваються, і система забезпечує високу точність позиціонування – до кількох сантиметрів.

Завдяки диференційній системі, сільськогосподарські агрегати можуть здійснювати точне водіння, диференційне внесення добрив, локалізований посів

та інші операції з мінімальними похибками. Це відкриває широкі можливості для зменшення витрат, підвищення продуктивності праці та збереження природних ресурсів. У результаті поєднання супутникових технологій та інтелектуальних систем керування СТЗ стає основою сучасного ефективного землеробства.

Наявність геопросторової інформації про стан поля є ключовою перевагою системи точного землеробства (СТЗ), оскільки вона дає змогу обґрунтовано знижувати витрати на виробництво сільськогосподарської продукції та збільшувати прибутковість господарювання. Використовуючи СТЗ, агровиробник отримує можливість візуалізувати різні параметри поля у вигляді картограм, а також аналізувати їх взаємозв'язки. Це дозволяє не лише оцінити поточний стан земельної ділянки, а й розробити короткострокову та довгострокову стратегію її ефективного використання.

Завдяки точному аналізу змін у ґрунтових та агробіологічних показниках, СТЗ дозволяє раціонально планувати внесення мінеральних та органічних добрив, пестицидів, насіння, що, у свою чергу, знижує перевитрати ресурсів і зменшує техногенне навантаження на довкілля. Крім того, оптимізуються витрати енергії та пального на всіх етапах виконання технологічних операцій, від підготовки ґрунту до збирання врожаю.

Таким чином, система точного землеробства не лише сприяє підвищенню ефективності вирощування сільськогосподарських культур, але й забезпечує системний підхід до управління виробництвом на рівні окремого поля, господарства чи регіону. Це є важливим кроком до формування сталого, високопродуктивного та економічно виправданого агровиробництва.

10.2. Стан СТЗ у світі та Україні

У розвинутих країнах світу (США, Німеччині, Англії) вже близько 20 років тривають роботи із створення складових частин СТЗ (засоби практичного моніторингу та управління механізованими енергоресурсозберігаючими технологіями і процесом вирощування врожаю з максимізацією виходу продукції). При цьому на базі сучасних інформаційних систем, дистанційних та польових методів вимірювань, знань про нерівномірність дії факторів землеробства на площі, включаючи

забезпечення рослин поживними речовинами, вдається підвищити врожайність сільськогосподарських культур на 20-30% за умов вчасного виконання заходів із захисту рослин, оптимізації усіх агротехнологічних операцій.

Провідними зарубіжними фірмами-виробниками елементів СТЗ є AMAZON, RDS Technology, HARDI INTERNATIONAL A/S (США), Golzov-GmbH, HOWARD Maschinenfabrik GmbH, Multer-Elektronik (ФРН).

Слід зазначити, що цілісна система техніко-інформаційних засобів, яка охоплює всі проблеми СТЗ, поки в стадії опрацювання. Існуючі системи вирішують окремі часткові завдання СТЗ. Тому придбати за кордоном навіть за великі кошти цілісну систему машин та відповідних засобів неможливо. Крім того, ці засоби мають враховувати кліматичні умови України, а також специфіку побудови її агрогосподарського комплексу.

В Україні роботи з СТЗ розпочалися кілька років тому. На жаль, вони практично не фінансуються і виконуються лише за власною ініціативою. Міністерство промислової політики почало роботи в цьому напрямі, розробляючи концепцію СТЗ України.

Безумовно в Україні цей надзвичайно перспективний, важливий і необхідний напрям оптимізації землеробства в науково-виробничому відношенні перебуває на початковому етапі й має фрагментарний характер. Зокрема, вперше в країні дослідження в галузі СТЗ розпочалися на базі Національного аграрного університету 1997 року.

Слід підкреслити, що нині невирішеним залишається питання створення простих, дешевих і надійних у користуванні засобів визначення місцезнаходження машинно-тракторних агрегатів (МТА) та робототехнічного виконання агротехнологічних дій у полі, електронних карт-програм. На цій проблемі, на наш погляд, слід зосередити зусилля науково-дослідних установ та підприємств, які розробляють і виробляють відповідну апаратуру.

Щоб не відстати від розвинутих країн, конче потрібно створити в Україні функціонально завершену систему технічних та інформаційно-програмних засобів СТЗ. Такий шлях дасть змогу вийти на світовий рівень як із вирішення основних задач землеробства, так і з експорту техніки для СТЗ на зовнішній ринок.

10.3. Терміни точного землеробства

Аналіз сучасного стану наукової та виробничої діяльності в суспільстві свідчить про безперервний процес удосконалення знарядь праці, засобів виробництва і умов діяльності людини. Цей процес є невід’ємною частиною загальних законів розвитку як живої, так і неживої матерії, що виявляється у цілеспрямованих, незворотних змінах на краще – передусім у сфері техніки та технологій.

У контексті сільського господарства ці зміни набувають особливої актуальності, адже технологічний прогрес безпосередньо впливає на продуктивність, рентабельність і екологічну безпеку аграрного виробництва. Саме тому сучасне суспільство демонструє чітку тенденцію до переходу на так звані «високі технології» – інтегровані, автоматизовані, засновані на цифрових даних і точному керуванні процесами. Цей перехід відкриває нові горизонти для підвищення ефективності землеробства і є основою формування сільського господарства нового покоління, яке поєднує в собі науковий підхід, інноваційні рішення та відповідальне ставлення до природних ресурсів.

Механізація процесів виробництва продукції рослинництва також не стала винятком в цьому аспекті. Сучасні засоби космічної навігації для сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів, розвиток географічних інформаційних систем, нові конструкції сільськогосподарських машин й інші досягнення передової техніки й технологій дали можливість перейти розвиненим державам (США, Австралія, Канада та ін.) до впровадження нової прогресивної системи механізованого сільського господарства – **системи точного землеробства (СТЗ)**. Для багатьох фермерів країн вона стала філософією їх професійної діяльності та сходиною до нового, вищого рівня культури землеробства. Україна також робить свій крок у цьому напрямку, незважаючи на труднощі й нестачу коштів, інженери та спеціалісти в галузі механізації сільського господарства розпочали роботу з досліджень та застосування СТЗ.

Певною перешкодою для досліджень СТЗ є недостатня інформація з визначень та тлумачення термінів точного землеробства. Ситуація ускладнюється тим, що основні терміни СТЗ напрацьовані в міжнародній практиці і мають англomовне походження. Крім того, загальноприйнятими стали скорочення та аббревіатури типу

GPS, DGPS, VRT тощо, які ускладнюють розуміння спеціальної та популярної літератури з СТЗ. З метою впровадження, використання та однозначного тлумачення основних термінів СТЗ, нижче наводимо короткий словник точного землеробства (табл. 10.1). Його складено за матеріалами зарубіжних публікацій. Порядок подачі цих термінів певною мірою відповідає частоті їх вживання в літературних джерелах.

Таблиця 10.1

Терміни та визначення системи точного землеробства

Вітчизняний термін (Міжнародний термін)	Тлумачення терміну
1	2
Точне землеробство (Precision Farming, Precision Agriculture)	Практичне застосування норм (доз) внесення технологічних матеріалів відповідно до конкретних унікальних особливостей кожної елементарної ділянки поля
Місцевизначене землеробство (Site-Specific Farming)	Поняття дуже близьке до значення точного землеробства; підкреслює специфічну визначеність кожної елементарної ділянки поля в СТЗ
ГСП (Глобальна система позиціонування) (GPS (Global Positioning System))	Радіонавігаційна супутникова система для визначення місцезнаходження стаціонарних і мобільних об'єктів в трьох світових координатах: довготі, широті та висоті з точністю в межах кількох десятків метрів. ГСП допомагає знайти необхідну точку із заданою точністю. Термін «GPS» (ГСП) часто використовується неправильно і, зокрема, разом з тим щоб ідентифікувати з поняттям точне землеробство. GPS – лише один з елементів СТЗ
ДГСП (Диференційна глобальна система позиціонування) (DGPS (Differential Global Positioning System))	Відкоригована радіонавігаційна супутникова система для визначення місцезнаходження стаціонарних і мобільних об'єктів у світових координатах з точністю в межах кількох десятків сантиметрів
ГІС (Географічна інформаційна система) (GIS (Geographic information System))	Система комп'ютерних апаратних засобів, програмного забезпечення і заходів, розроблених для аналізу і просторового відображення місце визначених даних з певних характеристик полів для планування і керування сільським господарством
ЗНВ (технологія змінних норм внесення) (VRT (Variable rate technology)*) * - патентовані технології	Технологія, що реалізується за допомогою спеціального обладнання для зміни норм внесення технологічних матеріалів (добрива, насіння, пестицидів тощо) відповідно до особливостей елементарної ділянки поля

1	2
Базова карта (картограма) (Base Map)	Геовизначена картограма поля з необхідними даними, що використовується як основа для розміщення даних з місце визначених характеристик
Тематична карта (картограма) (Thematic map)	Геовизначена картограма, яка побудована за конкретними даними з місце визначених характеристик поля. Ці картограми містять у собі інформацію про урожай, тип ґрунту, внесення добрив, пестицидів тощо
Рівень (Layer)	Логічний розподіл загальної інформації картограми на тематичні рівні, наприклад, рельєф, урожайність, тип ґрунту, поживні речовини тощо
Об'єднання карт (картограм) (Map Merge)	Перетворення двох і більше картограм поля в одну, узгоджену в координатах
Пошарове розташування карт (картограм) (Map Stacking**) ** - патентовані технології	Розташування картограм однієї над іншою з метою розробки стратегії однопрохідного багатофункціонального внесення технологічних матеріалів із змінною нормою
База даних (Data base)	Логічна сукупність даних, що міститься в елементарних ділянках поля або осередках комірок сітки, якою “накривається” поле
Сітка (Grid)	Організація розміщення даних, що містяться в елементарних ділянках поля або осередках комірок сітки, якою «накривається» поле
Збір проб ґрунту (Soil Sampling)	Процес взяття проб ґрунту на елементарних ділянках поля або в осередках комірок сітки, якою “накривається” поле
Зображення картограм з сіткою (Grid Mapping)	Відображення структури даних, що міститься в елементарних ділянках поля або осередках комірок, як картограми з певних характеристик поля
Контроль урожаю (Yield Monitoring)	Визначення урожайності в кожній елементарній ділянці поля
Польова розвідка (Grop Scouting)	Вибірки наявного місце визначеності популяції шкідників і хвороб
Аерофотозйомка поля (Aerial photography)	Фотографування поверхні землі з літаків з метою визначення змін на полі
Широта та довгота (Lat/lon (Latitude and Longitude))	Широта та довгота визначають розміщення об'єкта на земній кулі. Широта – з півночі на південь, довгота – зі сходу до заходу. Точні позиції описані в градусах, хвилинах і секундах
Дистанційний контроль (Remote sensing)	Визначення характеристик об'єкта або ряду об'єктів без прямого контакту датчика з ними

Отже, застосування ТЗ в агропідприємствах дає можливість підвищити врожайність с.г. культур, заощадити технологічні матеріали, зменшити енерговитрати, зберегти родючість ґрунтів, поліпшити екологічний стан довкілля.

10.4. Базові елементи точного землеробства

Кінцевою метою будь-якого сільськогосподарського виробника є досягнення максимально можливого врожаю за умови збереження родючості ґрунту та екологічної стабільності навколишнього середовища. Врожай є результатом взаємодії численних факторів, серед яких ключову роль відіграють природні умови: освітлення, тепло, повітря, волога, а також фізичні властивості ґрунту – його щільність, твердість, структура, вміст поживних речовин. Поряд із цим, важливим чинником є вплив технологічних процесів: обробіток ґрунту, внесення добрив і пестицидів, сівба, догляд за посівами та збирання врожаю. Саме завдяки поєднанню природних ресурсів і грамотно організованих механізованих операцій вдається досягти високої продуктивності при мінімальному навантаженні на довкілля. Таким чином, ефективне землеробство базується на комплексному управлінні всіма складовими агропроцесу – від природних факторів до технологічних рішень.

У межах одного поля кількісні характеристики факторів, що впливають на ріст і розвиток рослин, мають просторову варіативність – вони змінюються залежно від конкретної точки на полі. В одних ділянках умови можуть бути сприятливішими, в інших – значно гіршими. Оскільки рослина не має здатності самостійно обирати для себе оптимальне місце для росту, перед агровиробником постає завдання створення штучно оптимізованих умов саме там, де вони потрібні. Для цього необхідно мати точну кількісну інформацію про фізико-механічні властивості ґрунту – такі як вологість, твердість, вміст поживних речовин – у кожній конкретній точці поля.

Існують різні методи визначення цих показників, більшість із яких передбачає відбір ґрунтових проб за заздалегідь заданою сіткою. Поле умовно «накривається» мережею точок, у яких проводиться відбір і лабораторний аналіз зразків. Проте такий підхід має суттєві обмеження. По-перше, він не забезпечує достатньої достовірності результатів для конкретної точки, оскільки

отримується лише усереднене значення в межах певної ділянки. По-друге, побудова повноцінної карти поля за такими даними – надзвичайно трудомісткий і фінансово затратний процес. Наприклад, лише визначення вмісту поживних речовин у одній точці поля може коштувати близько 60 гривень. У результаті, створення детальної карти ґрунтових характеристик на великій площі за допомогою традиційних методів стає практично неможливим. Саме тому постає потреба у впровадженні новітніх технологій збору та обробки агроінформації, які б забезпечували високу точність при мінімальних витратах.

Для комплексного розв’язання проблеми просторової нерівномірності природних умов у межах одного поля доцільно застосовувати місцевизначені технології вирощування сільськогосподарських культур. Ці технології передбачають вимірювання природних факторів у кожній точці поля, із наступним фіксуванням отриманих даних у цифровій формі – з географічною прив’язкою до конкретного місцезнаходження. Така інформація записується на електронні носії, після чого її можна обробляти, аналізувати і використовувати для прийняття рішень щодо зміни параметрів агротехнологій.

Цей підхід дозволяє індивідуально керувати агрофакторами – вологістю, нормами висіву, дозами добрив чи пестицидів – у межах окремих ділянок поля. У результаті для кожної культури створюються максимально сприятливі умови розвитку на всій площі, що дає змогу збільшити урожайність, підвищити ефективність використання ресурсів і мінімізувати витрати. Таким чином, місцевизначене землеробство є важливою складовою систем точного землеробства та інструментом формування високотехнологічного, раціонального й сталого агровиробництва.

Застосування місцевизначених технологій вирощування сільськогосподарських культур дозволяє не лише оперативно реагувати на стан поля в поточний момент, а й створює умови для накопичення даних у динаміці – з року в рік. Таким чином формується історична база геопросторової інформації, яка відображає зміни фізико-хімічних та агробіологічних характеристик ґрунту, реакцію культур на технологічні операції, вплив погодних умов тощо.

Це дає змогу встановлювати своєрідний «аграрний діагноз» для кожного поля або його ділянки, аналізувати тенденції, прогнозувати проблеми і приймати зважені, науково обґрунтовані рішення щодо оптимального використання землі. У перспективі це дозволяє не лише досягати стабільно високої врожайності, а й зберігати родючість ґрунтів та підвищувати ефективність агровиробництва в цілому.

Для забезпечення функціонування СТЗ застосовують Глобальну Систему Позиціонування (ГСП) та Географічну Інформаційну Систему (ГІС). Структурна схема СТЗ зображена на рисунку 1.

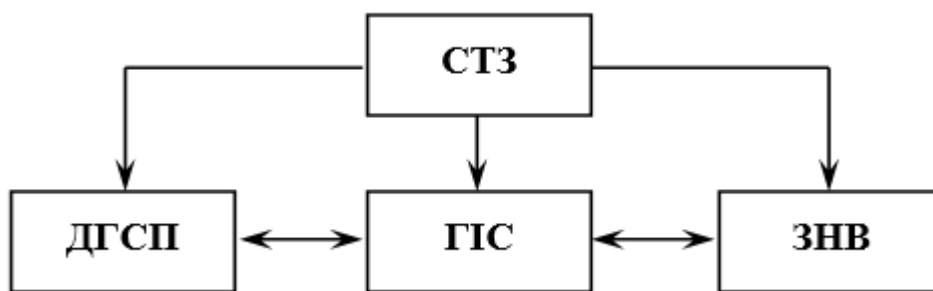


Рис.10.1 Структурна схема СТЗ

Традиційно управління врожаєм у сільському господарстві здійснюється за принципом «цілого поля». Це означає, що всі технологічні матеріали – насіння, добрива, пестициди, стимулятори росту тощо – вносяться однаковою нормою по всій площі поля, ніби накриваючи його «однорідною ковдрою». Такий підхід, хоча і є звичним, не враховує природної неоднорідності ґрунтових і агробіологічних умов, особливо на великих полях.

У реальних умовах тип ґрунту, рівень вмісту поживних речовин, мікроелементний склад, вологість та інші чинники можуть суттєво варіювати навіть у межах одного поля. Це призводить до неефективного використання дорогих технологічних ресурсів, особливо коли йдеться про застосування концентрованих добрив або стимуляторів росту. У результаті частина поля може отримувати надлишкову кількість матеріалів, тоді як інша – залишатися недостатньо забезпеченою, що знижує економічну ефективність і погіршує екологічний баланс.

Сучасне спеціалізоване обладнання, що використовується в системах точного землеробства, дозволяє змінювати норми внесення технологічних матеріалів у режимі реального часу, відповідно до умов конкретної ділянки поля. Це дає можливість локалізовано керувати ресурсами, підвищувати врожайність, знижувати витрати та мінімізувати вплив на навколишнє середовище. Таким чином, технології СТЗ формують принципово новий підхід до агровиробництва – точний, раціональний і сталий.

Точне землеробство – це не лише можливість застосовувати різні норми агрохімікатів на локальному рівні, але й вести точний моніторинг як на рівні конкретного поля, так і на рівні господарства, що дає змогу виробникові точніше й повніше розуміти та контролювати ситуацію в господарстві, вживати відповідних заходів для досягнення певної мети – отримання високого врожаю, максимізації фінансових прибутків у рамках певних обмежень, зумовлених екологічними потребами.

Загальний комплекс систем і технологій що сприяє створенню і впровадженню систем ТЗ змінюється в залежності від регіональних умов і базується на традиціях і тенденціях розвитку сільськогосподарського виробництва. Основними впливовими аргументами є агрокліматичні умови, екологічні і інші нормативні акти, рівень соціального розвитку суспільства, і наявність відповідної промислової інфраструктури. До основних компонентів системи точного землеробства (СТЗ) можна віднести:

- Глобальні системи позиціонування (ГСП).
- Географічні Інформаційні системи (ГІС).
- Технології змінних норм внесення (ЗНВ) технологічних матеріалів (ТМ).
- Засоби картографування врожаю.
- Системи дистанційного моніторингу.
- Засоби вимірювання параметрів рослин.
- Системи та методи визначення властивостей ґрунту.

10.5. Глобальні системи позиціонування (ГСП)

ГСП – це супутникова система (23 супутника), що дає змогу визначити місце розташування з точністю до 20 м, а за використання місцевого наземного передавача (диференційована глобальна система позиціонування - ДГСП) така система може фіксувати координати з точністю до 2 м.

Сьогодні в світі наявні кілька альтернативних супутникових систем позиціонування. Це: Global positioning system (GPS) (США); Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС) (Російська Федерація); або Навігаційна система «Galileo» (Європейський союз), які здатні надавати інформацію про тримірне положення антени приймача в будь-якій точці планети і в будь-який час. Положення антени визначається трьома параметрами: географічними широтою і довготою та висотою над еліпсоїдом. Ці параметри відносно легко використати для визначення положення антени, використовуючи лінійні одиниці виміру, швидкості і напрямку руху, тощо.

ГСП побудована на радіонавігаційній супутниковій системі, яка дає змогу визначити місцезнаходження машинно-тракторного агрегату в полі у світових координатах (широта, довгота, висота). ГСП налічує близько 23 – 24 супутники (21 робочий і 3 контрольні), які обертаються навколо Землі із швидкістю близько два оберти на добу по орбіті, розташованій на відстані близько 20,2 тис. км від поверхні землі. Точність визначення координат МТА залежить від принципу побудови системи позиціонування, а також від технологічного рівня обладнання. У цілому точність визначення координат об'єкта (рухомого або нерухомого) при запровадженні супутникових глобальних систем позиціонування може досягти декількох сантиметрів і обмежується в основному, фінансовими міркуваннями.

На рис. 10.2 схематично показано принцип роботи глобальної системи позиціонування, який полягає у тому, що МТА, на якому змонтований приймач сигналів глобальної системи позиціонування, повинен “бачити” не менше чотирьох супутників одночасно. Це є мінімальною необхідною умовою обчислення координат місця знаходження МТА в полі. Ці координати разом з інформацією про рівень факторів, що визначають умови проведення механізованої технологічної операції, дають повну інформацію про шляхи оптимізації роботи агрегату.

З огляду на військовий характер, радіосигнал, що надходить із супутників, має викривлення, і це призводить до зниження точності розрахунку координат.

Виправити ситуацію допомагають спеціальні наземні станції, які передають в ефірі так звані, «диференційні» поправки до сигналів супутників. Такі поправки називають диференційним сигналом, станції – станціями диференційного сигналу, а режим роботи обладнання в такому випадку називають диференційним.

Точність обчислень координат рухомого об'єкта у разі роботи в диференційному режимі значно покращується, що є важливим моментом у застосуванні супутникових систем позиціонування при виконанні механізованих технологічних процесів у сільському господарстві.

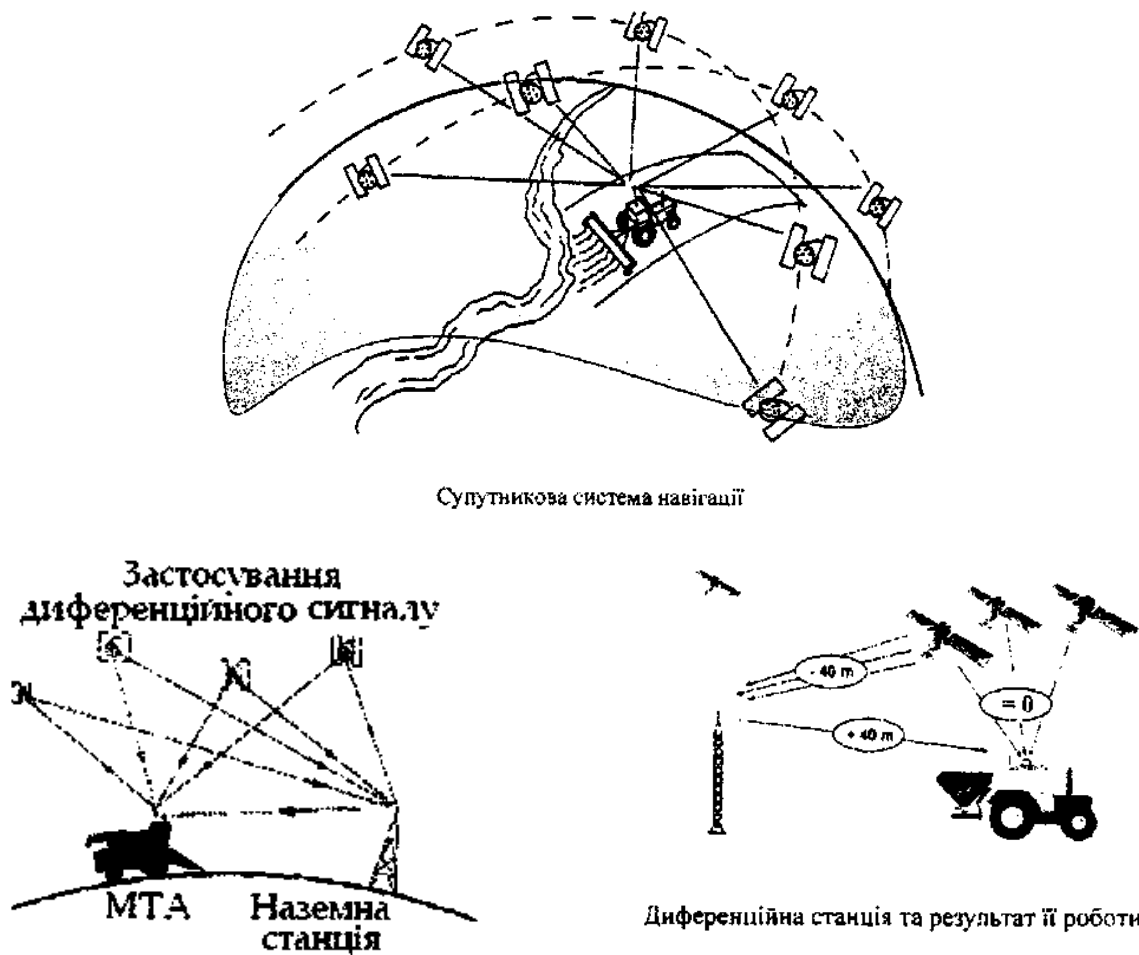


Рис. 10.2 Схема принципу роботи супутникової навігаційної системи

Сільське господарство стає одним з провідних цивільних користувачів ГСП. Однак, на відмінність від інших галузей (транспорт або туризм) точність визначення географічних координат суттєво впливає на спектр технологічних удосконалень, які можуть бути застосовані в умовах сільськогосподарського поля.

Зменшення похибки географічних координат відбувається за рахунок різних систем диференційного корегування або через комплексні фільтри закладені в програмне оснащення приймачів. На сьогоднішньому ринку в залежності від технічних можливостей вартість ГСП приймачів, що застосовуються в сільському господарстві, знаходиться в межах від 400 до 250 000 гривень. Відповідно, точність визначення географічних координат змінюється від кількох метрів до 1-2 сантиметрів

Серед технологічних удосконалень, можливим завдяки ГСП, найбільш поширеними є: накопичення інформації про стан поля, керування процесами внесення технологічних матеріалів, навігація і автономне керування сільськогосподарською технікою, а також загальна оптимізація систем менеджменту машинно-тракторного парку. Контроль якості отриманої продукції і вдосконалений реєстр земельних ресурсів, що спроможні завдяки СТЗ, також становлять теології перспективні у вітчизняному агропромисловому комплексі.

Серед запропонованих нововведень, системи керування сільськогосподарською технікою мають безсумнівний економічний потенціал. Наприклад, досить недорогі візирні системи (lighbar) дозволяють оператору ефективно дотримуватись встановленого напрямку руху без застосування класичних маркерів. Ці системи можуть бути використані за умов низької видимості, що збільшує можливий час використання техніки. Також, зменшення подвійних проходів і пропусків сприяє зростанню ефективності використання технологічних матеріалів.

Автономне керування машинно-тракторним агрегатом (МТА) під час проходження через поле потребує більш дорогого обладнання. Але слід зазначити, що ця технологія досить стрімко поширюється в умовах інтенсивного господарювання. Так „авто-навігаційні" системи дозволяють оператору зосереджуватись на технологічному процесі, що здійснюється, а не на контролі траєкторії руху МТА. Можливість отримувати високу якість виконання польових операцій від менш досвідчених операторів і суттєве зменшення стресових навантажень на механізатора є найбільш показовими перевагами автономного керування. Також слід відмітити можливості дециметрової або навіть сантиметрової

точності керування МТА, що сприяє точній стиковці міжрядь, застосуванню краплинних систем зрошування, або просто ефективному догляду за просапними культурами, що залишаються проблематичними при ручному керуванні.

Наряду з навігацією рухомих польових об'єктів, що базуються на технологіях ГСП, також використовуються рослинні датчики керування (механічні датчики дотику, цифрові відеокамери, ультразвукові датчики відстані або інші). Деякі системи також мають механізм керування положенням причіпного агрегату по відношенню до трактора, що дозволяє корегувати траєкторію сільськогосподарської машини при роботі на схилах і поворотах. Компенсація зміщення антени ГСП при роботі за умов складного рельєфу поля впроваджена практично у всіх системах автоматичного високоточного керування МТА.

Здатність ГСП визначати вертикальну координату наряду з географічним положенням являє собою ще один шлях їх використання в сільському господарстві. Досить популярні і високоточні цифрові моделі рельєфу (ЦМР) можуть бути створені при використанні комбінації ГСП і лазерних датчиків рівня (класичний метод) або просто високоточного приймача ГСП. Такі ЦМР створюються після запису вертикальних координат реєструючого візка при проїзді його по всій площі поля, і вважаються більш точними ніж ЦМР отримані за допомогою супутникових вимірів (також наявних для цивільних користувачів). Отримана тримірна модель поля може бути використана для побудови картограм схилу, аспектного відношення і інших геодезичних параметрів, що в свою чергу можуть допомогти при вирішенні меліораційних і гідроінженерних задач. Оптимізація менеджменту водними ресурсами і мінімізація ґрунтової ерозії є найбільшими перевагами використання ЦМР.

Стрімке поширення повністю автоматизованих систем (роботів) безперечно свідчить про наближення часу коли більшість польових операцій буде відбуватися без присутності оператора на борту МТА. Такі системи вже використовуються в садах при застосуванні хімічних методів захисту від шкідників та при інших умовах де відсутня загроза взаємодії МТА з непередбаченими об'єктами, людьми та тваринами і відбувається контакт людини з небажаними для її здоров'я речовинами. Приймачі ГСП є одним з ключових компонентів таких систем.

10.6. Географічні інформаційні системи (ГІС)

Наступним програмно-апаратним засобом, що пов'язаний з СТЗ є ГІС. Це комплекс обладнання, програмного забезпечення і методик для накопичення, опрацювання, зберігання і інтерпретації даних з географічною прив'язкою. Сьогодні існує дуже великий спектр програмного забезпечення від безкоштовних модулів до потужних пакетів вартістю 50 тис. гривень і більше. Комплексні пакети як правило мають більші аналітичні і геостатистичні можливості і дозволяють багатостороннє опрацювання даних як у растровому так і у векторному форматі (нерозривні поверхні або точки, лінії, і полігони). З іншого боку поступово поширюються пакети низького (фермерського) рівня. Основною задачею цих програмних продуктів є впровадження у практику напрацьованих і вдосконалених алгоритмів для фільтрування і аналізу (в більшості візуального) даних і для допомоги в організації інформаційних потоків. Відсутні або незначні засоби для кількісного аналізу багаторівневого масиву даних є недоліками програмного забезпечення низького рівня.

Для ілюстрації можемо розглянути задачі, що потребують два різних рівня ГІС (рис. 10.3).

Існує практика регулювання норм внесення добрив (особливо азотних) в залежності від місцевого потенціалу врожаю. З одного боку програмне забезпечення низького рівня надає можливість візуалізації картограми врожаю (зі значним рівнем похибки) і її трансформацією в картограму заданих змінних норм внесення технологічних матеріалів. З другого боку, більш надійні результати можна очікувати, якщо ціла низка фільтрованих картограм врожаю з одного поля поєднана з картограмами, що характеризують властивості ґрунту, або з повітряними чи космічними знімками при визначенні статистичне обґрунтованих (метод класифікації кластерів) зон диференційованого менеджменту. Звичайно, для вирішення такої задачі необхідне потужне програмне забезпечення.

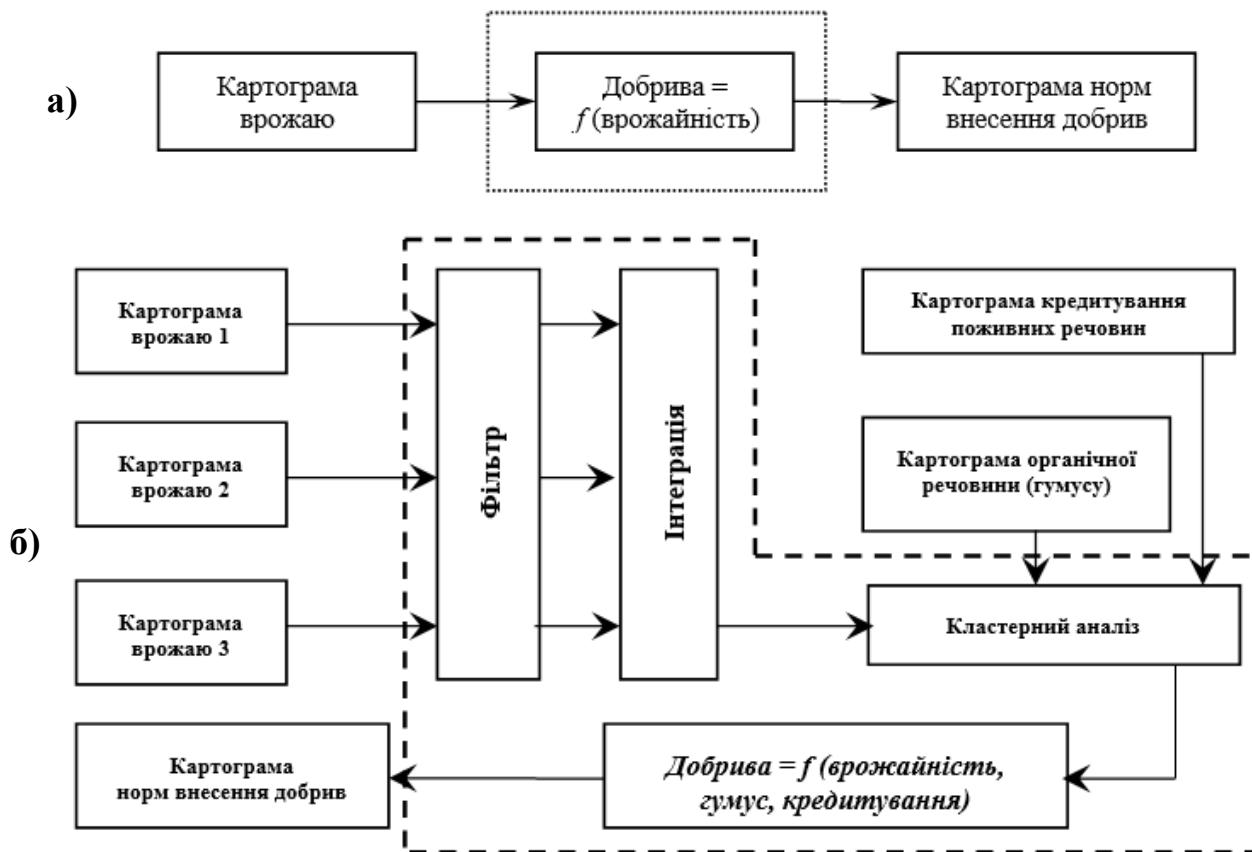


Рис. 10.3 – Приклад задачі, що вирішується за допомогою ГІС:

а) низького і б) високого рівня

Як і ГСП, застосування ГІС в рослинництві сприяє поширенню технологій, що не мають прямого зв'язку з ТЗ. До таких задач відносяться: розподіл роботи енергетичних засобів фермерського підприємства, керування фінансовими потоками, проведення польових експериментів, тощо. Досвід показує, що фермери, які долають свою комп'ютерну неосвіченість і починають застосовувати нові технології для менеджменту власними земельними і енергетичними ресурсами мають можливість виявити необґрунтовані фінансові втрати і розробити стратегію їх уникнення. Це може відбутись як з застосуванням технологій ТЗ, так і за допомогою традиційних технологій.

Інформаційні технології мають великий потенціал для забезпечення інформацією для прийняття рішень у системах ТЗ. Ці дані про розвиток культури та її взаємодії з навколишнім середовищем набувають величезних обсягів і постає питання перетворення їх у корисні поради, що можуть бути використані виробником у процесі прийняття рішень.

10.7. Технології змінних норм внесення (ЗН) технологічних матеріалів (ТМ)

З технічної точки зору, ЗНВ може бути досягнуто через варіювання швидкості руху МТА або диференційованою подачею технологічних матеріалів до робочих органів машин. Змінна швидкість руху не потребує додаткового обладнання але додає навантаження на оператора, що знижує якість роботи, яка виконується. Сьогодні вже існує ціла низка електронних систем контролю, що можуть бути встановлені на існуючих і нових машинах для внесення технологічних матеріалів. Диференційоване внесення технологічних матеріалів у системі точного землеробства досягається шляхом зміни параметрів роботи обладнання, зокрема: швидкості обертання або руху вивантажувального конвеєра, ступеня відкриття заслінок, тиску в системах розпилення, калібру розпилювачів, концентрації хімічних речовин, частоти імпульсного подавання тощо. Регулювання цих параметрів може здійснюватися як у ручному, так і в автоматичному режимі.

У разі автоматизованого керування, контролюючий пристрій самостійно встановлює норму внесення, орієнтуючись на дані попередньо складеної електронної картограми поля або на сигнали сенсорів, які в реальному часі фіксують параметри ґрунту чи стан рослинного покриву. Таким чином, система автоматично адаптує дозування до умов конкретної точки поля.

Оператор при цьому виконує традиційну технологічну операцію – наприклад, сівбу чи обприскування – однак не втручається у зміну норм внесення, оскільки ця функція передається автоматизованій системі, що забезпечує точність, ефективність та сталість технологічного процесу.

Доцільність застосування технологій ЗНВ залежить від рівня обґрунтованості керуючого алгоритму. Наприклад, досить легко переконатись в доцільності змінювати норми висіву насіння кукурудзи на полях зі змішаним зрошувальним режимом (різні норми висіву мають максимальний економічний ефект на зрошуваних і незрошуваних ділянках). З іншого боку змінювання норм внесення мінеральних добрив, що базуються на картограмах родючості ґрунту, отриманих шляхом збору і лабораторного аналізу відносно невеликої кількості зразків може привести до значних фінансових втрат, оскільки якість вхідної

інформації не дає достатньої уяви про дійсні економічно доцільні змінні норми внесення. Необхідно підкреслити, що саме визначення вхідних параметрів алгоритмів керування ЗНВ є однією з найбільш важливих областей досліджень для подальшого розвитку технологій ТЗ.

Додатково, до технологій ЗНВ можна віднести місцевизначену оранку або диференціювання глибини обробку ґрунту. Метою таких заходів є заощадження енергії і збереження існуючої структури родючого шару. Місцеві меліораційні заходи також становлять частковий випадок ЗНВ. В багатьох випадках саме недостаток або надлишок води сповільнюють ріст культурних рослин. Сьогодні, за умов частих посух, багато виробників і вчених розглядають можливість оптимізації технологій зрошування сільськогосподарських угідь. Змінні норми внесення води мають перспективу до більш ефективного використання наявних природних ресурсів.

Обладнання ЗНВ можна використовувати для проведення заходів, що не входять до традиційних областей застосування технологій ТЗ. Наприклад, високоточне обладнання можна використовувати для закладання дослідницьких ділянок при вивченні залежності врожаю від рівня поживних речовин. При цьому можлива більш складна геометрія ділянок з урахуванням ландшафту і інших впливових факторів. З іншого боку системи ЗНВ зі зворотнім зв'язком надають можливість реєструвати норми внесення хімічних речовин в реальному часі. Картографи внесення хімікатів часто використовують при аналізі впливу сільського господарства на навколишнє середовище. Це особливо важливо коли поле має безпосередній контакт з місцями підвищеного екологічного ризику (струмками, колодязями, тощо).

Технології змінних норм внесення (ЗНВ) добрив, пестицидів і насіння реалізуються безпосередньо під час руху агрегату по полю. Вони передбачають динамічне регулювання кількості технологічних матеріалів, що вносяться, у залежності від умов на кожній конкретній ділянці. Такі операції виконуються, як правило, відповідно до попередньо підготовленої карти технологічних внесень – плану, який базується на місцевизначеній інформації про ґрунтові та агробіологічні характеристики поля. Крім того, при складанні карт враховуються результати

моніторингу врожайності за попередні сезони. Це дозволяє агровиробнику диференційовано підходити до кожної ділянки, оптимізувати використання ресурсів і підвищити ефективність вирощування культур. У такий спосіб ЗНВ стає основою точного і науково обґрунтованого агровиробництва, яке поєднує реальні польові умови з цифровими технологіями управління.

У разі використання Глобальної системи позиціонування (ГСП) в агровиробництві з'являється можливість не лише визначати координати місцезнаходження машинно-тракторного агрегату (МТА) в полі, а й отримувати обчислені дані про його швидкість руху. Сучасні приймачі ГСП, що забезпечують субметрову точність позиціонування, здатні визначати швидкість з точністю до 0,15-0,2 м/с, що цілком достатньо для більшості польових операцій.

Однак практика застосування ГСП в сільському господарстві свідчить про певні технічні обмеження. Зокрема, втрата супутникового сигналу є поширеним явищем, спричиненим такими факторами, як несподівані атмосферні збурення, вплив відбитих сигналів, а також перебування техніки в зоні «радіотіні» – наприклад, поблизу ліній електропередач, лісосмуг або високих споруд. У таких випадках система може втрачати інформацію про швидкість, що призводить до порушення заданої норми висіву чи внесення добрив, особливо при використанні технологій зі змінною нормою.

З метою підвищення надійності визначення швидкості руху МТА, на практиці широко використовуються додаткові датчики, встановлені на ведучих або ведених колесах машини. Проте і цей метод має свої недоліки – зокрема, зміна радіусу кочення колеса в процесі роботи, ковзання або пробуксовування коліс, що знижує точність вимірювання.

Альтернативою можуть бути радарні сенсори швидкості, які вимірюють переміщення техніки відносно поверхні поля. Наприклад, сенсор RSS виробництва Raven Industries (США) працює в діапазоні від 0,22 до 31,1 м/с з похибкою близько 3%, однак його точність суттєво залежить від стану поля – кількості рослинних решток, вологості та текстури поверхні, що обмежує сферу його ефективного застосування.

Враховуючи всі ці чинники, найдоцільнішим рішенням на сьогодні вважається використання додаткового, так званого «п'ятого» (опорного) колеса, яке забезпечує більш стабільне і точне визначення швидкості руху агрегату незалежно від умов на полі. Такий підхід варто враховувати під час розробки спеціалізованого обладнання для сівалок та іншої польової техніки, яка працює за принципами точного землеробства.

Питання для самоконтролю:

1. В чому полягає сутність і задачі системи точного землеробства?
2. Який стан розвитку і практичного впровадження СТЗ в світі та в Україні?
3. Назвіть найбільш важливі терміни в СТЗ та дайте їх тлумачення.
4. Які базові елементи входять до СТЗ?
5. Що таке ГСП та особливості використання її в СТЗ.
6. Що таке ГІС та які задачі вирішуються з допомогою неї?
7. Яким чином реалізуються технології внесення змінних норм технологічних матеріалів?
8. Назвіть проблеми та шляхи їх вирішення, які виникають при реалізації СТЗ.
9. У яких країнах світу почав розвиватися напрям точного землеробства?
10. Як відбувається збір та обробка даних у СТЗ?
11. Яке значення має точність позиціонування для сільськогосподарських операцій?
12. Що таке GPS, GLONASS? Як вони застосовуються в СТЗ?

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бендера І. М., Рудь А. В., Козій Я. В., Войтюк Д. Г. та ін. Проектування сільськогосподарських машин. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2010. – 640 с.
2. Булигін С. Ю., Вітвіцький С. В. Агрофізика ґрунту. Підручник. К.: Видавництво, 2021. – 315 с.
3. Вибрані наукові праці академіка В. І. Вернадського. Т. 3 : Хімічна будова біосфери землі та її оточення / Нац. акад. наук України, Коміс. з наук. спадщини акад. В. І. Вернадського ; Ін-т загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського. К., 2012. – 506 с.
4. Водяник І. І. Дія ходових систем на ґрунт. (наукові основи). К.: Урожай, 1990. – 172 с.
5. Войтюк Д. Г., Аніскевич Л. В., Гаврилюк Г. Р., Волянський М. С. Терміни точного землеробства. Техніка АПК. 1999. - № 5. – с. 29-30.
6. Войтюк Д. Г., Вигера С. М., Аніскевич Л. В. Точне землеробство. Яке місце в ньому відводиться захисту рослин. Захист рослин. 2000. - № 8. – с. 25-26.
7. Войтюк Д. Г., Кравчук В. І., Кошовий А. А., Баранов Г. Л. Технічні проблеми «Точного землеробства» в Україні. Вісник аграрної науки. 2000. – № 9.
8. Ess, D., Morgan, M. T. The Precision-Farming Guide for Agriculturists. – Moline, Illinois: Deere & Company, 1997. – 117 p.
9. ДСТУ 4428:2005. Техніка сільськогосподарська мобільна. Методи визначення дії ходових систем на ґрунт.
10. Кобець А. С., Ільченко В. Ю., Бутенко В. Г. та ін. Дипломне проектування з машиновикористання у рослинництві: навч. посібник. – Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2007. – 288 с.
11. Кобець А. С., Іщенко Т. Д., Волик Б. А., Демідов О. А. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: навч. посіб. Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2009. 84 с.
12. Кобець А. С., Теслюк Г. В., Пугач А.М., Надикто В. Т., Улексін В. О. Бойко В. Б., Теслюк Ю. В., Золотовська О. В. Мостове землеробство. Елементи

теорії та результати досліджень: Монографія. Дніпро: ТОВ «Акцент ПП», 2022. – 340 с.

13. Ковтун Ю. І., Мазоренко Д. І., Пастухов В. І. та ін. Агрокваліметрія: навч. посіб. Харків: РВП «Оригінал», – 2000, 314 с.

14. Моргун Ф. Т. Плугом по... долях дітей. Полтава, 2003 р.

15. Нагірний Ю. П. Аналіз технологічних систем і обґрунтування рішень: практикум. Кам'янець-Подільський: О.В. Сисин; Абетка, 2013. 293 с.

16. Погорілець О. М., Погорілець М. О., Погорілець Ю. О. Зернозбиральний комбайн: сьогодні, вчора і завтра. Навч. посібник. НУБіП, 2012, – 72 с.

17. Рудь А. В., Бендера І. М., Войтюк Д. Г. та ін. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підручник у 2 т.: Т 2. К.: Агроосвіта, 2012. – 434 с.

18. Севостьянов І. В. Теорія технічних систем: підручник. Вінниця: ВНТУ, 2014. 181 с. URL: <http://surl.li/uqylx>.

19. Сисолін П. В. Методи проектування сільськогосподарських машин для полеводства. Навч. Посібник. К.: НМК ВО, 1993. – 152 с.

20. Скрипник В.І. Розробка, виробництво, конструктивні особливості нової сільськогосподарської техніки: навч. посіб. Київ.: Літера ЛТД, 2019. – 256 с.

21. Сорока К. О. Основи теорії систем і системного аналізу: навч. посіб. Харків : ХНАМГ, 2004. 291 с. URL: <http://surl.li/uqyma>

22. Faulkner, E. H. *Plowman's Folly*. – New York: Grosset & Dunlap, 1943. – 172 p.

23. Харарі Ю. Н. Людина розумна. Історія людства від минулого до майбутнього. Харків. 2016. – 543 с.

24. Царенко О. М., Войтюк Д. Г., Швайко В. М. та ін. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Підручник. К.: Мета, 2003. - 448 с.:

25. Ямков О., Хвоя М. Точне землеробство України: перший крок. Пропозиція. 2000. - № 4. – с. 96-97.

Навчальне видання

**Андрій Миколайович Пугач
Олександр Миколайович Кобець
Євген Іванович Лепеть**

СИСТЕМА «МАШИНА-ПОЛЕ»

Навчальний посібник

Публікується в авторській редакції

Підписано до друку 15.10.2025 р. Формат 60х84¹/₁₆.

Папір офсетний. Друк цифровий.

Обл.-вид. арк. 10,5. Ум.-друк. арк. 9,75.

Наклад 100 прим. Зам. № 39

Видавництво «Журфонд»

49001, Дніпро, вул. Старокозацька, 8. Свідоцтво
про внесення до Державного реєстру ДК № 684
від 21.11.2001 р.

Віддруковано ПП Вахмістров О. Є.

49000, м. Дніпро, вул. Писаржевського, 18

П88 Пугач А. М., Кобець О. М., Лепеть Є. І. Система «Машина-Поле»: навч. посіб. Дніпро: ДДАЕУ, Дніпро : Журфонд, 2025. – 166.с.

ISBN 978-617-8737-18-4

У навчальному посібнику «Система “Машина-Поле”» розглядаються основи формування, функціонування та розвитку біотехнічної системи, що поєднує технічні засоби та природне середовище в умовах сільськогосподарського виробництва.

Посібник містить комплексний аналіз методів механізованого обробітку ґрунту, догляду за рослинами, збирання врожаю, а також взаємодії ходових систем техніки з ґрунтом. Подано системний підхід до оцінювання агроекологічних наслідків застосування машин, наведено енергетичний баланс системи «Машина-Поле» та охарактеризовано основи точного землеробства як складової інноваційного агровиробництва.

Посібник укладено відповідно до програми навчальної дисципліни «Система “Машина-Поле”» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» ОПП «Агроінженерія».

УДК 631.3:631.95(075.8)