

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

УДК 631.3:631.51:502

ПОГОДЖЕНО
Декан механіко - технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

технічного сервісу та інженерного

(назва кафедри)

менеджменту імені М.П. Момотенка

(підпис) Вячеслав БРАТІШКО
(ПІБ)

(підпис) Іван РОГОВСЬКИЙ
(ПІБ)

«___» _____ 2024 р.

«___» _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему Удосконалення параметрів комплексу машин для обробітку ґрунту з
урахуванням умов зовнішнього середовища**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, професор

Вячеславович

(науковий ступінь та вчене звання)

Братішко Вячеслав

(підпис)

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доц. каф.

(науковий ступінь та вчене звання)

Дев'ятко Олена Сергіївна

(підпис)

(ПІБ)

Виконала

(підпис)

Андрощук Анна Олегівна

(ПІБ)

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. СТАН ПИТАННЯ В ТЕОРІЇ І ПРАКТИЦІ	9
1.1. Аналіз впливу обробітку ґрунту на ефективність вирощування сільськогосподарських культур.....	9
1.2. Характеристика стану сільськогосподарських підприємств та тенденції їх розвитку	12
1.3. Аналіз чинних методів та моделей визначення параметрів машинних комплексів сільськогосподарського виробництва	15
1.4. Висновки	25
2. НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМПЛЕКСУ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН.....	27
2.1. Системний підхід до обґрунтування параметрів комплексу ґрунтообробних машин	27
2.2. Концептуальна модель виробничої системи обробітку ґрунту	32
2.3. Аналіз чинників технологічного процесу механізованого обробітку ґрунту.....	37
2.4. Характерні причинно-наслідкові зв'язки між подіями потоку вимог на обробіток ґрунту.....	40
2.5. Обґрунтування методу узгодження характеристик виробничої програми із параметрами комплексу ґрунтообробних машин	53
2.6. Висновки	56
3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ВИРОБНИЧИХ І ЕКСПЕРИМЕНТІВ	57
3.1. Програма та загальна методика досліджень.....	57
3.2. Методика дослідження характеристик виробничої програми сільськогосподарського підприємства.....	58
3.3. Методика дослідження природно дозвolenої тривалості ґрунтообробного процесу.....	60
3.4. Методика дослідження впливу тривалості вегетації сільськогосподарських культур на природно дозвolenу тривалість	

літньо-осіннього обробітку ґрунту.....	64
3.5. Висновки	67
4. РЕЗУЛЬТАТИ ВИРОБНИЧИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ	69
4.1. Результати дослідження виробничої програми рільничих сіськогосподарських підприємств	69
4.2. Результати дослідження агрометеорологічних умов весняного та літньо-осінніх періодів ґрунтообробних робіт	74
4.3. Результати дослідження впливу агрометеорологічних умов на тривалість вегетації сіськогосподарських культур.....	85
4.4. Результати обґрунтування параметрів комплексу ґрунтообробних машин та визначення очікуваного економічного ефекту	91
4.5. Висновки	96
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	98
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	100

ВСТУП

Перехід до ринкової економіки та реформування аграрного сектору України зумовили реорганізацію колективних господарств. Розпаювання сільськогосподарських угідь зумовило утворення нових рільничих підприємств, котрі в Західному регіоні України характеризуються малими площами ріллі та деградацією парку техніки, зокрема, ґрунтообробної [1]. Використання такої техніки унеможлиблює виробництво якісної та конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції, внаслідок чого зменшились посівні площі та поглибилась фінансова неспроможність сільськогосподарських підприємств (СГП) до придбання нової техніки. За таких умов, виникла проблема поповнення СГП ґрунтообробною технікою.

Для підвищення ефективності галузі рослинництва державою формувались підприємства з технологічного сервісу (машинотехнологічні станції) для виконання головних механізованих робіт у СГП, стимулюється розвиток вітчизняного машинобудування для агропромислового комплексу (АПК) [2] тощо. Однак, машинотехнологічні станції (МТС), на жаль, виявились в багатьох випадках збитковими [3]. Це зумовлює потребу диференційованого підходу до вирішення проблеми поповнення парку ґрунтообробної техніки як СГП так і МТС.

Одним із етапів вирішення цього завдання є розроблення методів та моделей для обґрунтування параметрів ефективного комплексу ґрунтообробних машин (КГМ) СГП. Це досягається на осевої узгодження характеристик виробничої програми СГП із параметрами КГМ на підставі врахування сукупної дії агрокосмічних, агрометеорологічних, предметних (агрофонових і природно-рельєфних), технологічних, технічних та організаційних (стратегічних і тактичних) груп чинників ефективності процесу механізованого обробітку ґрунту.

Аналіз наукових праць переконує в тому, що чинні науково-методичні засади характеризуються значною ідеалізацією ґрунтообробного процесу,

зокрема, вони системно не враховують: 1) вплив характеристик виробничої програми СГП на потребу та обсяги ґрунтообробних робіт; 2) сезонні особливості потоку вимог на виконання технологічних операцій з обробітку ґрунту; 3) імовірнісний характер агрометеорологічного впливу на час початку, тривалість та завершення ґрунтообробних робіт впродовж весняного та літньо-осіннього періодів. Врахування цих особливостей процесу механізованого обробітку ґрунту є передумовою об'єктивного обґрунтування параметрів КГМ СГП.

Таким чином, робота присвячена розв'язанню завдання підвищення ефективності процесу механізованого обробітку ґрунту завдяки обґрунтуванню параметрів комплексу ґрунтообробних машин, що є актуальним як в науковому, так і в практичному відношеннях.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу основного та передпосівного обробітку ґрунту на основі обґрунтування та створення ефективних комплексів ґрунтообробних машин сільськогосподарських підприємств завдяки розробленню нових методів і моделей системного аналізу та синтезу чинників цього процесу.

Завдання дослідження:

- 1) проаналізувати можливість використання чинних методів і моделей для узгодження характеристик виробничої програми СГП із параметрами КГМ;
- 2) розкрити сутність виробничої системи обробітку ґрунту за традиційною технологією, розробити її концептуальну модель, проаналізувати зміст головних подій та явищ ґрунтообробного процесу;
- 3) розкрити часові причинно-наслідкові зв'язки у потоці вимог на виконання технологічних операцій з механізованого обробітку ґрунту та їх обслуговуванні для весняного та літньо-осіннього періодів, обґрунтувати правила обслуговування вимог одиничним КГМ і на цій підставі розробити модель ґрунтообробного процесу, алгоритм та її комп'ютерну програму;
- 4) розробити програму експериментальних досліджень, виконати виробничі експерименти та формалізувати їх результати. Перевірити

адекватність моделі ґрунтообробного процесу за традиційною технологією, виконати комп'ютерні експерименти та встановити залежність фізичних показників ефективності функціонування КГМ від характеристик виробничої програми.

Об'єкти дослідження – ґрунтообробні машинні агрегати для виконання основного та передпосівного обробітку ґрунту за традиційною технологією, виробничий процес механізованого обробітку ґрунту у весняний та літньо-осінній періоди.

Предмет дослідження – показники системної ефективності процесу механізованого обробітку ґрунту за традиційною технологією впродовж весняного та літньо-осіннього періодів, їх ймовірний характер та залежність від характеристик виробничої програми СГП й параметрів КГМ.

Методи дослідження. У роботі використано методи системного аналізу та синтезу головних чинників ефективності процесу механізованого обробітку ґрунту у весняний та літньо-осінній періоди, монографічних спостережень, статистичного імітаційного моделювання на ПК роботи КГМ впродовж відповідних сезонів, метод ітерацій, статистичного оцінення експериментальних даних, графоаналітичного аналізу.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ В ТЕОРІЇ І ПРАКТИЦІ

1.1. Аналіз впливу обробітку ґрунту на ефективність вирощування сільськогосподарських культур

Механізоване вирощування сільськогосподарських культур в сучасних СГП потребує значних затрат [2, 4, 5]. Значна їх частка припадає на нові сорти культур, нові технології, техніку тощо. На жаль, більшість із діючих СГП є низької платоспроможності, що разом із високою ризикованістю галузі, відсутністю відповідної державної підтримки сільськогосподарських товаровиробників тощо унеможлиблює їх розвиток.

Реформи аграрного сектора України зумовили утворення СГП із малими площами ріллі та низьким рівнем технічного забезпечення [6, 7], що за останні десять років призвело до їх деградації.

Розвиток рільничих СГП значною мірою зумовлений ефективністю механізованих процесів із вирощування сільськогосподарських культур. Для отримання високих врожаїв культурних рослин необхідно створити відповідні ґрунтові умови для їх вегетації. Тому, одним із визначальних процесів механізованого вирощування сільськогосподарських культур, який формує початкові умови їх росту та розвитку й безпосередньо впливає на врожайність культур є обробіток ґрунту.

Основною метою обробітку ґрунту є створення сприятливих умов для росту та розвитку культурних рослин та підвищення родючості ґрунту. Забезпечення цих умов здійснюють за рахунок [8]: 1) розпушення, аерації та кришіння переуцільненого ґрунту для надання йому необхідної пористості, вологості, а також активації мікробіологічних процесів; 2) перемішування шарів ґрунту для рівномірного розподілу у ньому добрив; 3) загортання в ґрунт рослинних залишків, органічних та мінеральних добрив тощо; 4) знищення бур'янів та очищення орного шару від їх насіння й вегетативних органів; 5)

боротьба з шкідниками та хворобами культурних рослин; 6) сприяння водопроникності ґрунтів, розпушення орного шару тощо; 7) боротьба з ерозією; 8) дія на ґрунтові режими та процеси для збереження і підвищення його родючості; 9) вирівнювання поверхні поля.

Вплив агрометеорологічних умов на ґрунтові процеси, орного шару (агрофону) поля, а також його ущільнення внаслідок роботи машинних агрегатів є причиною зміни структурності ґрунту та виникнення потреби виконання технологічних операцій із його обробітку. Зміст технологічних операцій процесу механізованого обробітку ґрунту для окремого поля СГП залежить від стану агрофону поля, типу ґрунту, вирощуваної рослини, вибраної технології тощо, а також вимог сільськогосподарської культури до посівного шару ґрунту.

За призначенням обробіток ґрунту поділяють на загальний та спеціальний (рис. 1.1). Загальний поділяють на основний та поверхневий. В свою чергу основні бувають з перевертанням скиби і з перевертанням окремих шарів, а поверхневі тільки з перевертанням і без перевертання верхнього шару ґрунту. Серед спеціальних розрізняють заходи з перевертанням ґрунту, без перевертання та з одночасним перевертанням і без перевертання окремих шарів. За глибиною обробітку ґрунту розрізняють поверхневий обробіток – до 8-10 см, мілкий – до 10-16 см, звичайний (середній) – до 16-24 см, глибокий – до 24-30 см і більше [8].

Вибір системи обробітку ґрунту залежить від багатьох чинників [9, 10], навіть для окремого СГП він зумовлений [8]: 1) біологічними особливостями культури; 2) станом поля (попередник, внесення добрив, засміченість ґрунту поля органічними рештками культур, бур'янів тощо); 3) особливостями ґрунту (щільністю, аерацією тощо); 4) клімат зони та агрометеорологічні умови в окремі роки; 5) організація території; 6) можливості підприємства (наявність знарядь і машин, робочої сили, тракторів тощо).

На даний час, як в нашій, так і зарубіжних країнах світу використовують нові технології обробітку ґрунту – ґрунтозахисні, альтернативні, системи

точного землеробства тощо [9, 11-14]. Вони потребують застосування нових технічних засобів та значних капіталовкладень для придбання, а тому їх використання на даний час носить локальний характер.

Можливість або неможливість роботи ґрунтообробної машини на полі зумовлена фізико-механічними властивостями ґрунту (зв'язність, липкість, пластичність, твердість тощо), які залежить від механічного складу ґрунту та ступеня його зволоження. Механічний склад ґрунту характеризує вміст та співвідношення в ньому частинок різного розміру, що розділяють за наступними фракціями: 1) фізична глина (діаметром $< 0,01$ мм); 2) фізичний пісок ($0,01 - 1$ мм); 3) ґрунтовий скелет (>1 мм) [8, 15]. Для ґрунтів із більшим вмістом фізичної глини характерною є вища в'язкість, за якої енерговитрати на ґрунтообробні роботи є більшими. І навпаки, чим ґрунтові частинки є більші тим менше їх прилипання та відповідно нижчі витрати енергії на обробіток.

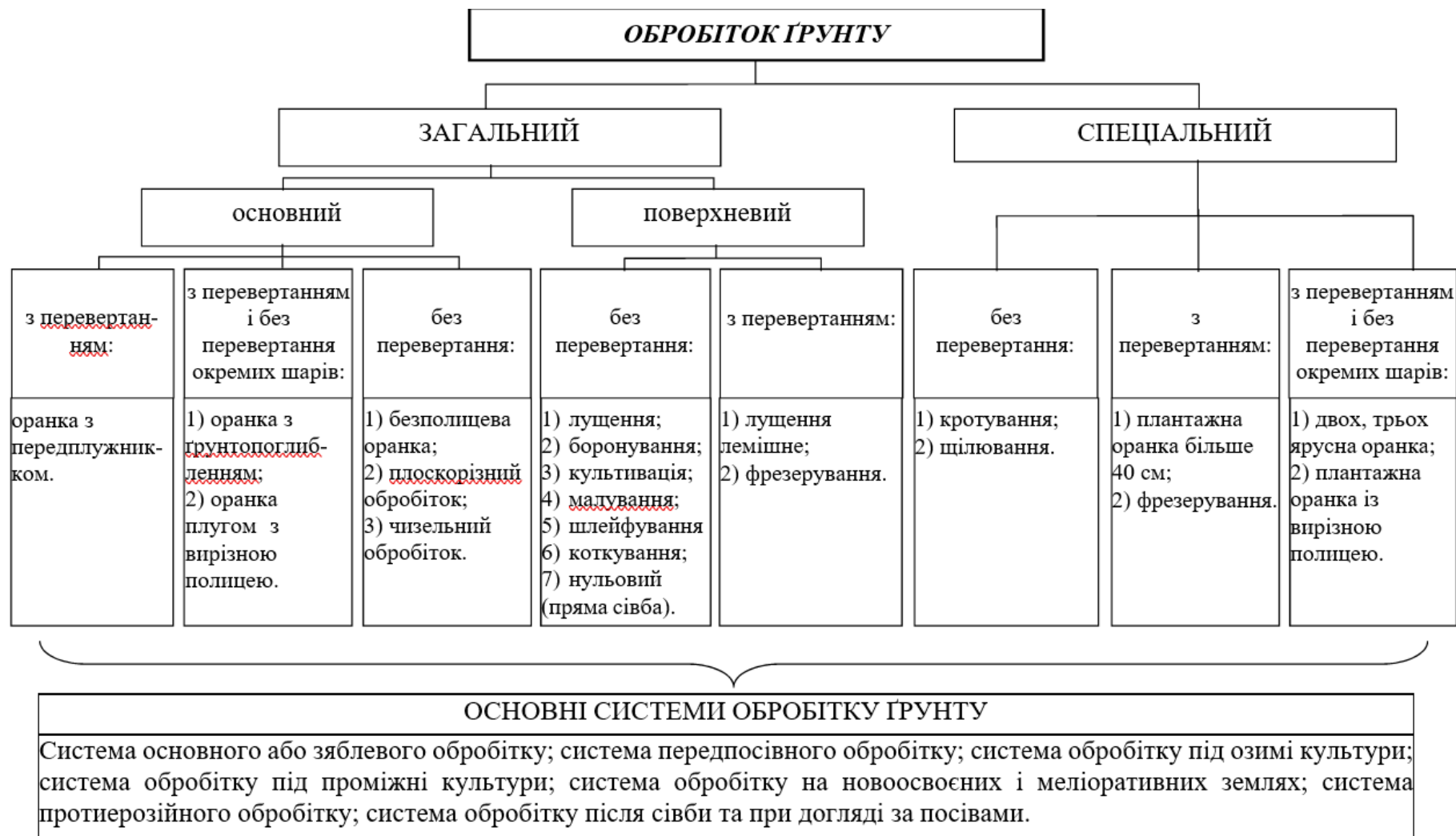


Рис. 1.1. Основні системи обробітку ґрунту

Таким чином, агрометеорологічні умови та фізико-механічні властивості ґрунту зумовлюють терміни виконання ґрунтообробних робіт як у весняний такі в літньо-осінній періоди календарного року.

Згідно з агротехнічними вимогами [8], обробіток ґрунту у весняний період розпочинають за умови його „фізичної стиглості”. Під фізичною стиглістю ґрунту розуміють такий ступінь його зволоження, за якого досягається найвища якість механізованого обробітку із найменшими зусиллями енергетичного засобу. Для різних типів ґрунтів цей інтервал вологості є неоднаковим – на чорноземах він становить 15-18% від абсолютно сухої маси ґрунту, на сірих лісових – 17-16% і на дерново-підзолистих середньо суглинкових – в 16-18% [16]. При меншій вологості ґрунт обробляти важко через велику його в’язкість, апри більшій – через високу пластичність. На підставі цього, виділяють декілька станів зволоження ґрунту, котрі впливають на якісні характеристики ґрунтообробного процесу (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Вплив вологості верхнього шару ґрунту на якісні характеристики
ґрунтообробного процесу

№ п/п	Стан зволоження верхнього шару ґрунту	Шифр, позначення	Консистенція ґрунту	Якісні характеристики ґрунтообробного процесу
1	Покритий снігом	0	-	Польові роботи неможливі
2	Надмірно зволожений	1	Текуча	Польові роботи неможливі, трактори й машини грузнуть у рідкому ґрунті.
3	Сильно зволожений	2	Липка	Польові роботи утруднені; потрібні великі тяглові зусилля; якість роботи низька; ґрунт прилипає до полиць, коліс тощо.
4	Добре зволожений	3	Мягкопластична	Обробіток ґрунту провадять з максимальною продуктивністю; якість роботи висока.
5	Слабо зволожений	4	Твердопластична	Обробіток потребує значних тяглових зусиль, але дає задовільні результати щодо якості.

6	Сухий	5	Тверда чи сипуча	Глинистий ґрунт при обробітку відколюється глибами по тріщинах; обробіток потребує значних тяглових зусиль, плуг не йде в ґрунт тощо. Під час оранки піщаного ґрунту пласт розсипається та не обертається.
7	Мерзлий	6	-	Польові роботи неможливі

На підставі таблиці 1.1 цілком прийнятною є аксіома, що обробіток верхнього шару ґрунту поля слід виконувати за добре зволоженого, слабо зволоженого та сухого його стану. За умови покритого снігом, надмірно зволоженого, сильно зволоженого та мерзлого стану обробіток ґрунту припиняють.

Дотримання агротехнічних вимог до якості та своєчасності обробітку ґрунту забезпечує відповідний стан агрофону поля до моменту початку сівби сільськогосподарських культур. Якість виконання робочого процесу на окремому полі (ступінь кришіння, обертання, вирівнювання ґрунту тощо) зумовлюється конструкційними параметрами робочих органів та дотриманням режиму роботи ґрунтообробної машини. Якісні характеристики процесу обробітку, що зумовлюються типом використовуваних знарядь, параметри яких обґрунтовуються заводом виробником й у даній роботі не розглядаються.

Своєчасність ґрунтообробного процесу зумовлюється обсягами робіт, параметрами КГМ, їх надійністю та організацією процесу. Запізнення із підготовкою ґрунту та сівбою сільськогосподарських культур впливає на початкові умови їх росту та розвитку і, як наслідок, зумовлює зниження продуктивності вегетаційного процесу та врожаю культурної рослини порівняно із сівбою в агротехнічно-оптимальні терміни [17].

Таким чином, ефективність виробництва сільськогосподарської продукції значною мірою залежить від забезпечення рільничого СПП технічними засобами, зокрема для обробітку ґрунту.

1.2. Характеристика стану сільськогосподарських підприємств та тенденції їх розвитку

Стан аграрного сектора України останніх років характеризується зниженням загальної площі сільськогосподарських угідь та площі ріллі (табл. 1.2). У порівнянні із 2015 роком зниження площі сільськогосподарських угідь складає – 2,35 %, а площі ріллі СГП – 1,27 %.

Щорічні державні видатки на розвиток АПК України певною мірою зумовили приріст виробленої продукції в СГП, що є важливою підставою стимулювання їх розвитку. Однак, без чіткої стратегії розвитку АПК ці видатки мають локальний характер, за якого виробництво конкурентоспроможної продукції як на внутрішньому, так і зовнішньому ринку є важко здійсненним.

Аналіз аграрного сектора України переконує у тому, що за останні роки збільшилася кількість рільничих підприємств. За окремими оцінками [1], посівна площа України відносно залишається незмінною впродовж уже шести-десятирічного періоду. Збільшення кількості СГП відбувається за рахунок їх перерозподілу та розукрупнення, утворення фермерських підприємств тощо(рис. 1.2).

Таблиця 1.2

Загальні характеристики господарств України [1]

Аналіз посівних площ головних сільськогосподарських культур в СГП України для періоду 1980-2018 років переконує у мінливості спеціалізації підприємств. Зокрема, за останні 10 років зменшилась площа вирощування кормових культур

Показник	Календарний рік			
	2020	2021	2022	2023
Площа сільськогосподарських угідь, млн. га	38,2	37,9	37,6	37,3
Площа ріллі, млн. га	31,4	31,3	31,2	31,0

Продукція сільського господарства (у порівнянних цінах 2000 р.), млрд. грн.	61,4	62,1	55,3	66,3
Видатки держави на сільське та лісове господарство, рибальство і мисливство	1094,8	1377,6	2805,9	2958,0

та цукрових буряків, натомість зросли обсяги посіву соняшнику (рис. 1.3, а). Наведена тенденція посівних площ СГП зумовлена деградацією галузі тваринництва, а також виробництвом культур, які користуються попитом на ринку сільськогосподарської продукції у державі.

За останні 15 років спостерігається тенденція зниження обсягів валового збору зернових культур та цукрових буряків, що пояснюється фінансово-матеріальним станом СГП (рис. 1.3, б). На відміну від цього, валовий збір соняшника зростає.

Також встановлено, що урожайність практично усіх аналізованих сільськогосподарських культур у період із 1990 до 2018 років знижується. Це пояснюється деградацією СГП та їх неспроможністю до придбання високопродуктивної та надійної техніки, високоякісних сортів культур, добрив, гербіцидів, тощо.

Однією із причин такої тенденції у рослинництві є незадовільний стан матеріально-технічного та ресурсного потенціалу СГП, що зумовлене недоліками державної стратегії реформування та техніко-технологічного переоснащення АПК України. Аналіз тенденції технічного забезпечення діючих СГП переконує у тому, що значно зменшилась кількість наявних тракторів і сільськогосподарських машин у підприємствах (рис. 1.4).

Рівень забезпеченості СГП відповідно до технологічної потреби тракторів становить близько 60 %, що призводить до значних втрат сільськогосподарської продукції [5]. Майже 90 % із наявних сільськогосподарських машин і знарядь в СГП відпрацювали по одному і більше нормативних строків експлуатації. Такий стан із забезпеченням СГП технікою є одним з головних факторів, що призводять останні роки до значних втрат врожаю, які за підрахунками науковців-аграріїв становлять понад 5 млн. т. на рік [2].

Кризова ситуація в АПК позначилась на підприємствах

сільськогосподарського машинобудування та спричинила значне скорочення випуску тракторів, машин і знарядь, обладнання для зберігання та переробки сільськогосподарської продукції [2]. Використовувані технології та обладнання машинобудівної галузі є морально застарілими. Фізичне спрацювання обладнання сягає 80-85 % [18]. Наявні виробничі потужності розраховані на великі обсяги виробництва, а попит на ринку держави суттєво зменшився. Внаслідок цього, застарілі технології й обладнання, а також низька якість конструкційних матеріалів не дозволяють виготовляти конкурентоспроможну техніку. Через це український ринок сільськогосподарської техніки інтенсивно освоюють західноєвропейські фірми. Для виходу із кризової ситуації, що склалась у АПК України та переходу до ринкових відносин в першу чергу необхідно розв'язати завдання щодо оновлення і розвитку матеріально-технічного та ресурсного потенціалу сільськогосподарських підприємств [2]. Для здійснення цього на рівні держави сформована відповідна законодавча база. Як зазначено у Законі України "Про стимулювання розвитку вітчизняного машинобудування для агропромислового комплексу", розвиток вітчизняного машинобудування для АПК разом з його складовими: створенням і виробництвом техніки та обладнання, її технічним обслуговуванням і ремонтом, а також формуванням інфраструктури ринку є пріоритетними напрямками розвитку національної економіки. У зв'язку з цим, видатки Державного бюджету України на розвиток вітчизняного машинобудування для АПК щорічно протягом 2015-2020 років повинні складати не менше 1 млрд. грн. Окрім того, Законом передбачено здійснення за рахунок бюджетних коштів часткової (до 70 %) компенсації облікової ставки Національного банку України за кредити банків, що надаються машинобудівним підприємствам, а також часткова (до 40 %) компенсація державою вартості техніки і обладнання, що постачається сільськогосподарським товаровиробникам і підприємствам харчової та переробної промисловості [2].

Проте в АПК України продовжує зберігатися складний стан з

реалізацією техніки і обладнання внаслідок недостатньої платоспроможності СГП і низької ефективності механізмів закупівлі техніки на умовах часткової компенсації вартості, фінансового лізингу і компенсації кредитних ставок комерційних банків [5].

Тому, одним із шляхів розвитку СГП є формування технологічно потрібного машинно-тракторного парку, зокрема КГМ. Очевидно, що обґрунтування параметрів КГМ необхідно здійснювати на підставі характеристик виробничої програми кожного окремого СГП. Для цього необхідно розробити нові методи та моделі узгодження характеристик виробничої програми та параметрів КГМ СГП, які б уможливили врахування впливу агрометеорологічних умов на стан ґрунту та можливість виконання ґрунтообробного процесу. Вирішенню цього завдання присвячена магістерська робота.

1.3. Аналіз чинних методів та моделей визначення параметрів машинних комплексів сільськогосподарського виробництва

Аналіз науково-методичних засад дослідження механізованих процесів рільництва, що започатковані такими відомими вченими країн СНД як В.П. Горячкін [19], Б.С. Свірщевський [20], Ю.К. Кіртбая [17], В.Д. Саклаков [21], Ф.С. Завалішин [22], А.А. Зангієв [23], Р.Ш. Хабатов [24], Л.В. Погорілий [25], Е.І. Липкович [26], Е.А. Фінн [27] та багато інших переконує в тому, що їх праці мають важливе значення для організації ґрунтообробного процесу. Зокрема, ними доведено, що параметри КГМ необхідно обґрунтовувати на підставі якісних та кількісних характеристик ґрунтообробного процесу.

Найпростіший аналітичний розв'язок задачі визначення необхідної кількості тракторів і сільськогосподарських машин для встановленого обсягу механізованих робіт під різні культури отриманий Б.С. Свірщевським, який базується на графіках машиновикористання. Розрахунок необхідної кількості машинних агрегатів для виконання кожної із технологічних операцій

виконують за формулою [20]

$$n \geq \frac{S}{W \cdot t \cdot D} \quad (1.1)$$

де S – обсяг робіт (площа); W – годинна продуктивність агрегату; t – тривалість роботи в добу, год.; D – допустима тривалість виконання операції, днів. Необхідну кількість тракторів визначають за графіком машиновикористання, для вирівнювання якого пропонується [28] корегувати послідовність окремих робіт відповідно до агрегатів, що використовуються на цих роботах.

Однак, такі методи розрахунків базуються на припущеннях, що значною мірою ідеалізують перебіг реального процесу. Зокрема, множина механізованих робіт розглядається як детермінована система із певною “допустимою” тривалістю виконання окремих операцій.

Більш досконалі методи передбачають визначення показників ефективності(витрат і втрат) функціонування машинно-тракторного парку та оптимізації складу техніки на підставі пошуку їх екстремуму. Теоретичні основи цих методів наведені в роботах з теорії складних систем [29]. Математичний апарат з оптимізації складних систем, що розроблений у працях [30-33], уможлиблює практичне обґрунтування складу техніки підприємства.

Щодо конкретних інженерних рекомендацій з оптимізації машинно-тракторного парку, то методичну базу складають роботи, виконані в рамках системотехніки [21].

Важливою методологічною передумовою обґрунтування математичних моделей експлуатаційних систем сільськогосподарських машин і використання цих моделей для вирішення практичних задач є висунуте О.А. Варна в праці [34] положення про доцільність розроблення універсальних моделей складних систем. Однак, розроблені методи та методики ґрунтуються на показниках ефективності функціонування машинно-тракторного парку, котрі встановлені для детермінованих систем, що не відображає стохастичні умови перебігу сезонних процесів у рільництві.

Загальна постановка задачі оптимізації агрегатів наведена Ю.К. Кіртбая [35]. Обґрунтування оптимального агрегату проводиться на підставі припущення, що швидкість руху агрегату може бути однозначно заданою або розрахованою, виходячи з технічних параметрів трактора та ширини сільськогосподарської машин. Зокрема, стверджується, що за розробленим методом можливе визначення оптимального складу агрегату для кожного із видів технологічних операцій та умов їх виконання.

У працях А.А. Зангієва поряд з економічними критеріями ефективності машинно-тракторних агрегатів враховуються вимоги до їх параметрів, що обґрунтовані на підставі законів механіки [23]. З урахуванням цих законів автором розроблена структурна схема багаторівневого рішення задач ресурсоощадного використання сільськогосподарських агрегатів.

Вищенаведені моделі є ефективним інструментом для виконання досліджень, але із одним припущенням, що системи, які розглядаються, є простими тазамкнутими. Використання детермінованих аналітичних методів є достатньо зручним інструментом, за умови якщо необхідно отримати орієнтовні результати із невисокою точністю, а тому їх використання є досить зручним для інженерних розрахунків. Для більш складних систем, де оптимізація машинних агрегатів є проміжним етапом дослідження, точність запропонованих методів є недостатньою.

Проблемі розв'язку задач з оптимізації парку машин рільничих підприємств присвячено значну кількість наукових праць. Окремі методичні питання щодо оптимізації плану використання наявного парку машин підприємства, що розглянуті у праці Н.К. Діденка [36], є важливою підставою для розробки алгоритмів для вирішення задач оперативного управління використанням машинно-тракторного парку.

Окремі науковці, для обґрунтування оптимального парку машин пропонують використовувати модель підприємства, яка складена як задача змішано цілочисельного програмування. За цією моделлю враховуються наявні ресурси підприємства, можливості вирощування різних культур

відповідно до розвитку різних галузей тощо. Цільовою функцією здійснюється пошук максимального значення чистого прибутку. На підставі такої моделі встановлюють потребу доукомплектування підприємства технікою; доцільні параметри машин; можливість збільшення чистого прибутку внаслідок найму чи звільнення робітників; запровадження інтенсивних технологій; впливу надійності техніки на чистий прибуток підприємства.

Така задача, як обґрунтування набору сільськогосподарських машин до трактора зводиться до того, що для певного типу тракторів у відповідних природно-кліматичних зонах потрібно визначити оптимальний набір машин з певними характеристиками та забезпечити умову ефективності виконання операцій. На підставі цього, в праці Н.Н. Мойсеева [37] були сформульовані поняття оптимального та мінімального наборів машин. Однак, запропоновані методи характеризуються значними недоліками: 1) вони не враховують імовірнісну сутність природно дозвільної тривалості обробки ґрунту ; 2) не враховують причинно-наслідкові зв'язки формування потоку вимог на використання машинних агрегатів; 3) не враховують мінливість сезонного навантаження на агрегат.

Задача оптимізації системи машин для комплексної механізації рослинництва розглядається як задача сукупної оптимізації типу та кількості машин галузі в розрізі природно-кліматичних зон. Її вирішення здійснюється на основі розширеної задачі вибору оптимального машинно-тракторного парку окремого підприємства [38-40].

Л.В. Канторовіч [41] пропонує використання евристичних методів оптимізації парку машин на базі типових СГП, а формування параметрів системи здійснювати на підставі експертних оцінок щодо ефективності нових технічних засобів та автоматизованих розрахунків для типових СГП, зон та галузі загалом. В.А. Кушніров та Е.А.Фінн запропонували додати до моделі системи машин підмоделі для прогнозування розвитку параметрів окремих машин.

Дещо інший підхід запропоновано в праці І.А. Лазарева [42], де

проектування системи машин здійснюється на підставі оптимізації процесу обслуговування вимог підприємства на виконання окремих технологічних операцій. Кожен такий процес розглядається як граф послідовних перетворень предмета праці, що уможливорює пошук оптимального варіанту процесу з мінімальним значенням сумарного показника його оцінки.

Більшість із розглянутих методів розроблено на основі значних ідеалізацій та дають змогу отримати лише наближені результати. Вони не враховують вплив сезонної мінливості агрометеорологічних умов на інтенсивність процесу механізованого обробітку ґрунту та потребу у виконання окремих технологічних операцій. Крім того, хоча вони й враховують дію більшої кількості чинників, але побудовані з врахуванням потреб планової економіки, що зумовлює недоліки їх використання для ринкових умов господарювання.

Значна кількість розроблених методів обґрунтування параметрів парку машин базуються на врахуванні біологічних особливостей розвитку сільськогосподарських культур та впливу термінів і тривалості механізованих робіт на їх врожайність.

Зокрема В.Д. Саклаков та В.П. Сергеев рекомендують визначати агротехнічно-оптимальні терміни виконання механізованих робіт у два етапи: 1 – обґрунтування початку робіт; 2 - техніко-економічне обґрунтування тривалості механізованих робіт.

Економічно-доцільна тривалість роботи машини на полі визначається за умови досягнення мінімуму сумарних витрат на одиницю виконуваної роботи:

$$P = U_1 + U_2 + P_y,$$

Де P – сумарні затрати на виконання роботи агрегатом та втрати підприємства через недобір врожаю, грн/га; U_1 - затрати на реновацію техніки, грн/га; U_2 - пропорційні технологічні затрати (паливо, зарплатня, ремонти, технічне обслуговування тощо), грн/га; P_y - втрати через недобір врожаю, грн/га.

Затрати на реновацію техніки визначають за відомою формулою

$$U_1 = \frac{C_6 \times \alpha \times \gamma}{100 \times D_p \times W_{дн}}$$

де C_6 - балансова вартість машини, грн.; α - відсоток відрхувань на реновацію, %; γ - коефіцієнт, що враховує частку даної роботи у загальному обсязі робіт, які виконує ця машина; D_p - тривалість виконання даної роботи, діб; $W_{дн}$ - добова продуктивність агрегату, га/добу.

Втрати підприємства через недобір врожаю визначають за наступною формулою:

$$P_y = K_{\Pi} \times U \times C_{\Pi} \times D_p,$$

Перетворенням нескладних виразів (1.2, 1.3, 1.4) автори вивели наступну залежність, яка уможливорює визначення економічно-доцільної тривалості роботи:

$$D_p^{opt} = \sqrt{\frac{C_6 \times \alpha \times \gamma}{100 \times K_{\Pi} \times U \times C_{\Pi} \times W_{дн}}}$$

Виконуючи схожі дослідження І.Г. Савин [110] запропонував визначати оптимальну тривалість виконання і-ї сільськогосподарської роботи за наступною формулою

$$R_k^{opt} = \left[\frac{K_i(A + K + Z_{нр} + Z_n)}{0,5 \times C \times Y \times W_c \times K_{1,2}(1 + D)} \right]^{0,5},$$

де K_i - частина річного часу для виконання і-ї роботи; A, K - амортизаційні відрхування і річні кредитні (лізингові) відрхування, грн/год; $Z_{нр}, Z_n$ - накладні витрати і податки, які входять у собівартість, грн/год; C - середня закупівельна ціна сільськогосподарської культури, грн/т; Y - потенційна врожайність при дотриманні термінів обробітку і збирання, т/га; $K_{1,2}$ - частина втрат врожаю за одну добу під час роботи до (K_1) і після (K_2) агротерміну; D - коефіцієнт, який враховує простої МТА.

Обсяги втрат біологічного врожаю сільськогосподарської культури значною мірою залежить від тривалості підготовки ґрунту до її сівби. Обґрунтуванням термінів початку підготовки ґрунту та сівби, а також їх

впливу на врожайність сільськогосподарських культур займалися багато науковців – Е.С. Уланова [43], С.А. Веріго [44], А.Н. Деревянко [45], Л.К. Пятовская [46] та багато інших вчених [47-49].

Такі вчені як Ю.К. Кіртбая [17], І.Л. Чабаненко [50], В.Д. Саклаков, М.П. Сергеев, А.Т. Табашніков [51], вважають, що поточна урожайність сільськогосподарської культури на полі описується рівнянням вигляду:

$$U_i = AD_i^2 + BD_i + U_o,$$

Розглянуті методи та моделі мають цілий ряд недоліків, які характерні детермінованим системам. Вони не враховують впливу агрометеорологічних умов, а також стохастичності термінів початку, тривалості та завершення ґрунтообробних робіт, площі полів, структури сільськогосподарських культур узагальній площі окремого підприємства, що суттєво впливає на результати розрахунків.

Потреба застосування системного аналізу для дослідження проблем машиновикористання вперше обґрунтована у наукових працях академіка Л.В. Погорілого. Для встановлення економічних та техніко-експлуатаційних показників ефективності Погорілий Л.В. пропонує застосовувати загальновідомі методи математичної статистики. Так, для скінченої множини виробничих умов X_{ij} , можна встановити середні значення характеристик роботи машинного агрегату та визначити загальні характеристики показників експлуатаційно- економічної ефективності, а саме їх математичне сподівання M_{ij} та дисперсію D_{ij} . Для виконання таких розрахунків узагальнюють ретроспективні дані, або здійснюють моделювання на ЕОМ [25].

Так, у своїх дослідженнях В.С. Крамаров, В.Р. Губка, А.П. Терехов використовують ЕОМ для розробки типових технологічних процесів та методики інженерних розрахунків, склад машинно-тракторного парку обґрунтовується за допомогою задачі лінійного програмування.

Застосування розроблених програм на ЕОМ для дослідження процесу механізованого обробітку ґрунту потребує значного їх удосконалення, оскільки вони не враховують: 1) імовірнісний вплив агрометеорологічних

умов на ґрунтообробний процес; 2) причинно-наслідкові зв'язки формування потоку вимог та його обслуговування КГМ в розрізі календарного періоду окремого сезону; 3) втрати врожаю культури через несвоєчасність підготовки ґрунту; 4) повну втрату врожаю культури через затягування процесу підготовки ґрунту до “крайніх” термінів її сівби; 5) вплив структури культур підприємства на сезонний обсяг ґрунтообробних робіт.

На підставі алгоритму, що розроблений В.С. Крамаровим, В.Р. Губкою, А.П. Тереховим [52], такими вченими як Е.А. Фінн, В.В. Шкурба, Л.Н. Комзакова складено програму для ЕОМ, яка уможлиблювала визначення оптимального плану механізованих робіт із застосуванням симплекс-методу [52, 27].

Використання цієї програми в УНДІМЕСГ уможливило встановлення потреби в техніці для сільськогосподарських підприємств УРСР. Однак, розроблений Е.А. Фінном, В.В. Шкурбою та Л.Н. Комзаковою послідовний метод, а потім разом із В.А. Купшіровим метод диференційованих прокатних оцінок машин, передбачав менші об'єми вихідної інформації для виконання масових машинних розрахунків.

Б. Булавський, Т. Максимова та ін. розглядають задачу за якої заданий обсяг робіт необхідно виконати в агротехнічні терміни із мінімальними витратами. В основі методу, покладено задачу мінімізації лінійної функції із багатьма змінними на які накладений ряд обмежень у виді лінійних нерівностей та рівнянь. Дещо інший підхід запропонував Є.І. Ліпковіч у якому механізовані процеси необхідно розглядати на підставі “оптимальних” сівозмін [26] та обґрунтування головних впливів на технологічні комплекси. Оптимальні сівозміни формуються на підставі аналізу зональних систем сільського господарства.

М.К. Діденком, В.Д. Гречкосієм та І.І. Мельником [53] розроблена математична модель, котра дає змогу оптимізувати комплекс машин в залежності від обсягів вирощування сільськогосподарських культур у підприємстві. В основі розробленого методу є встановлення такого обсягу

площі за якого приведені витрати та витрати праці на виконання механізованих операцій різко знижуються й набувають мінімальних та сталих значень. На підставі цього методу у роботі С.М. Бондаря [54], для комплексу машин обґрунтовуються обсяги з основного обробітку ґрунту в системі змодельованої сівозміни. Використання цього методу уможливорює комбіноване вирішення задачі обґрунтування складу комплексів машин і структури машинного парку в єдиному системному взаємозв'язку: технологія — машинні агрегати — комплекси машин — машинно-тракторний парк — машинно-технологічні станції, однак характеризується багатьма недоліками. До основних із них відносимо: 1) використання розроблених моделей дає змогу отримати лише межі раціональних обсягів із основного обробітку ґрунту для окремого комплексу машин; 2) розроблена система не враховує сучасні умови функціонування підприємств, зокрема вплив ринку держави на структуру посівних площ, а тому унеможливорює обґрунтування об'єктивних організаційно-технічних рекомендацій щодо складу комплексів машин та структури їх машинного парку; 3) не враховуються агрометеорологічні умови та, відповідно, стохастичність термінів виконання ґрунтообробних робіт на полі; 4) втрати врожаю сільськогосподарських культур через несвоєчасність виконання технологічних операцій також не враховуються.

Велика кількість вчених [55-60, 24, 61, 62] досліджуючи механізовані процеси рільництва, приходять до висновку про неадекватне їх відображення за допомогою детермінованих моделей та необхідність врахування дії імовірнісного характеру чинників процесу виконання технологічних операцій на полі. Оскільки адекватно описати складні технологічні процеси детермінованими моделями практично неможливо, тому дослідники широко використовують методи імітаційного моделювання [63, 64].

У праці Е.А. Фінна обґрунтовано потребу врахування імовірнісного характеру погодних умов, які впливають на календарні терміни виконання робіт при дослідженні систем типу "Парк машин". Для цього запропоновано використати імітаційну модель, "яка найбільш повно і максимально

наближено описує річний виробничий цикл сільськогосподарського підприємства". Побудова імітаційної моделі передбачає багатократну реалізацію виробничих циклів та технологічних процесів за рахунок використання генератора випадкових чисел. Це дає змогу отримати статистичні характеристики виробничого процесу та виконати оцінку парку машин.

Враховувати стохастичність головних чинників процесу також пропонує Б.Д. Цвик [65]. Зокрема, ним розглядається зміна швидкості агрегатів, що зумовлена рельєфом конкретного поля. Запропоновані підходи використані в імітаційній моделі збирально-транспортних операцій.

Р.Ш. Хабатов [24] до імовірнісних величин, які необхідно відображати на підставі статистичних характеристик, відносить довжину гонів, питомий опір тагустину ґрунту, урожайність сільськогосподарських культур, витрати часу на технічний огляд та технологічне обслуговування, питомі витрати палива тощо. Зокрема Р.Ш. Хабатов вважає, що техніко-економічна ефективність використання різних агрегатів є функцією випадкових та детермінованих величин. На підставі цього, ним розроблено економіко-математичну модель задачі прогнозування оптимального складу машинно-тракторного парку, яка описується наступною функцією

$$\begin{aligned}
 & \sum_{ijk} M_{c_{ijk}} x_{ijk} \cdot Y_k + \sum_S \max_k \sum_{ij} x_{ijk}^S \cdot d_S + \\
 & + \sum_S \max_k \left\{ \left[\max_k \sum_{ij} x_{ijk} \lambda_{ijk}^S - a_S \right]; 0 \right\} \cdot E_{\zeta_S} + \\
 & + \sum_{iyk} b_{iyk} \cdot \tau_{iyk} \cdot \zeta_{iy} \cdot Y_k - \sum_S (\zeta'_S \cdot x'_j) \rightarrow \min
 \end{aligned}
 \tag{1.10}$$

однак, використання запропонованої моделі унеможливорює розгляд механізованого процесу в розрізі календарного періоду окремого сезону; а також унеможливорює врахування імовірнісного впливу агрометеорологічних умов на початок, тривалість та завершення обробітку ґрунту; чергування

погожих та непогожих проміжків часу; стохастичності виникнення непогожого проміжку в розрізі календарної доби окремого сезону; сукупного впливу як детермінованих так і стохастичних чинників процесу на його ефективність; залежності показників ефективності процесу механізованого обробітку ґрунту від характеристик виробничої програми СГП та параметрів КГМ.

Запропонована методика [40] розв'язку задачі оптимізації для невеликих фермерських господарств передбачає перебір можливих варіантів складу парку машин. Спочатку моделюється кількість допустимих за погодними умовами днів виконання кожної операції в кожному календарному періоді. Потім за спеціальним алгоритмом підраховується термін завершення кожної операції, котрий залежить від погоди та розміру машин. Це дозволяє підрахувати для кожного варіанту парку машин можливі втрати і дати їм імовірнісну оцінку.

У роботі Є.І. Ціпа використано статистичне імітаційне моделювання механізованого процесу збирання ранніх зернових культур із врахуванням стохастичності часу досягання сільськогосподарських культур, виникнення погожих та непогожих проміжків, а також добової продуктивності комбайна. Технологічна ефективність використання комбайна обґрунтовується на підставі питомих сукупних витрат підприємства – питомих витрат через несвоєчасність збиральних робіт та питомих зведених витрат. Вартісну оцінку витрат підприємства через несвоєчасність робіт виконують на підставі фізичного показника – обсягів несвоєчасно зібраних площ [66, 67].

Науково-методичні основи, на яких базуються чинні методи й моделі дослідження механізованих процесів рільництва, на жаль, не враховують сукупної дії головних груп чинників ефективності ґрунтообробного процесу та особливі властивості виробничої системи обробітку ґрунту. Особливістю цієї системи є те, що обробіток ґрунту виконують впродовж весняного та літньо-осіннього періодів, який характеризується множиною подій та явищ процесу, їх причинно-наслідковими зв'язками, а також послідовним

взаємовпливом часткових процесів сезонного обробітку ґрунту; терміни початку, тривалості, та завершення ґрунтообробного процесу окремого сезону зумовлені дією різних чинників; перебіг механізованих робіт на полі залежить від стохастичної дії агрометеорологічних умов відповідного періоду; обсяг робіт кожного із періодів залежить від структури посівних площ СГП.

Врахування зазначених особливостей процесу механізованого обробітку ґрунту є підставою розроблення адекватних імітаційних моделей ґрунтообробного процесу та встановлення об'єктивних результатів дослідження і, на цій підставі, обґрунтування чітких рекомендацій рільничим СГП щодо параметрів КГМ.

Висновки з розділу

1. Виконання агротехнічних вимог до якості та своєчасності механізованої підготовки ґрунту під сівбу сільськогосподарських культур забезпечує сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для їх росту та розвитку. Характеристики виконання ґрунтообробного процесу на полях сільськогосподарського підприємства зумовлені параметрами наявного комплексу машин та фізико-механічними властивостями ґрунту, які залежать від його механічного складу та агрометеорологічних умов відповідного періоду.

2. Загальна кількість суб'єктів господарської діяльності в аграрному секторі України впродовж 2015-2020 років постійно зростає, що зумовлюється розукрупненням діючих рільничих підприємств. Впродовж 1990-2018 років діяльність сільськогосподарських підприємств характеризується нестабільними площами сільськогосподарських культур, а також обсягами валового їх збору, що зумовлене низьким рівнем їх матеріального забезпечення.

3. Деградація парку машин сільськогосподарських підприємств є однією із головних причин низької ефективності механізованого вирощування

сільськогосподарських культур у підприємствах України, а відтак – поглиблення занепаду їх фінансового стану.

4. Аналіз чинних методів та моделей дослідження механізованих процесів рільництва уможливив виділення окремих методичних аспектів щодо термінів початку та економічно-доцільної тривалості роботи машинних агрегатів, оптимального складу машинно-тракторного парку, потрібної кількості машин з розрахунку на певну площу ріллі підприємства, а також оптимізації технологічних комплексів рільничих підприємств. Ці методи хибують багатьма недоліками, які унеможливають об'єктивне обґрунтування параметрів комплексу ґрунтообробних машин відповідно до характеристик виробничої програми сільськогосподарського підприємства.

5. Головними недоліками чинних методів та моделей є те, що ними не враховується сукупна дія головних груп чинників ефективності процесу механізованого обробітку ґрунту, системні особливості виникнення головних подій та явищ процесу, їх причинно-наслідкові зв'язки впродовж весняного та літньо-осіннього періодів ґрунтообробних робіт, особливості формування потоку вимог на виконання сезонної множини технологічних операцій з обробітку ґрунту, імовірний характер термінів початку, тривалості та завершення підготовки ґрунту окремого періоду, вплив агрометеорологічних умов на перебіг процесу механізованого обробітку ґрунту.

РОЗДІЛ 2

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМПЛЕКСУ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

2.1. Системний підхід до обґрунтування параметрів комплексу ґрунтообробних машин

Комплекс машин для обробітку ґрунту складається із скінченої множини ґрунтообробних машин і зумовлений потребою виконання технологічних операцій з основного та передпосівного обробітку на полях СГП. В результаті виконання технологічних операцій із обробітку ґрунту отримують якісно новий агрофон поля, котрий забезпечує агротехнічні вимоги, що ставляться до ґрунту під сівбу сільськогосподарських культур.

Ґрунтообробна машина - це енергетичний засіб (трактор) та сільськогосподарська машина (ґрунтообробне знаряддя), котрі з'єднані між собою для виконання однієї, або декількох однакових технологічних операцій з механізованого обробітку ґрунту. Для виконання передбачених технологією ґрунтообробних операцій трактор з'єднується по чергово із різними ґрунтообробними знаряддями. Таким чином, трактор та технологічно потрібний набір ґрунтообробних знарядь для основного та передпосівного обробітку ґрунту сукупно формують одиничний КГМ.

Розгляд одиничного КГМ та набору полів СГП, що потребують виконання технологічних операцій з обробітку ґрунту як виробничої системи обробітку ґрунту (ВСОГ) уможлиблює означення особливостей її функціонування. Особливістю ВСОГ є те, що ґрунтообробний процес відбувається упродовж двох періодів – весняного та літньо-осіннього. За межами цих періодів трактори та окремі сільськогосподарські машини використовують на інших роботах – сівбі, механізованому догляді за посівами, хімічному захисті, транспортних процесах тощо, котрі в даній роботі не розглядаються.

З позицій системного підходу [69], дослідження ВСОГ базується на виявленні закономірностей функціонування даної системи, котрі зумовлені сукупною дією її складових. Таким чином, КГМ окремого СГП розглядається як складова ВСОГ, до складу якої також входять: 1) поля, на яких необхідно виконати обробіток ґрунту; 2) тракторист; 3) технологічно потрібний набір ґрунтообробних машин; 4) машинно-тракторний парк із обладнанням, майданчиками для технологічного налагодження машин тощо; 4) заправні пункти із заправниками та заправним обладнанням; 5) пункт технічного обслуговування із слюсарями-ремонтниками, обладнанням та запасними частинами.

За функціональним призначенням складові ВСОГ поділяються на виробничу структуру та обслуговуючу інфраструктуру. Параметри останньої інфраструктури у роботі не розглядаються (рис. 2.1).

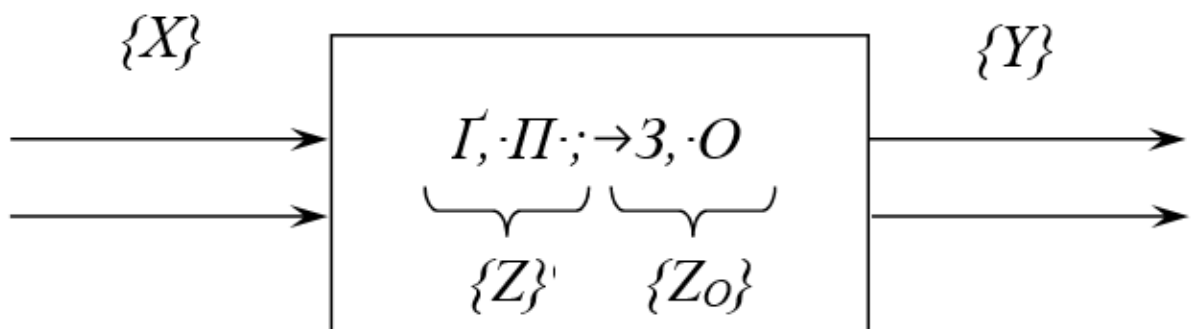


Рис. 2.1. Функціональні складові виробничої системи обробітку ґрунту: Γ, Π – поля, машини; $З, О$ – заправні пункти, засоби технічного обслуговування; $\{Z\}, \{Z_0\}$ – множини параметрів виробничої структури та обслуговуючої інфраструктури; $\{X\}, \{Y\}$ – множини вхідних впливів та характеристик системи.

До множини вхідних впливів $\{X\}$ ВСОГ відносяться агрометеорологічні умови окремого регіону, територіальне розташування полів, заправного пункту, пункту технічного обслуговування.

Параметри $\{Z\}$ ВСОГ характеризують структуру та принципи функціонування її складових (Γ, Π) під дією вхідних чинників $\{X\}$. В результаті

одержують відповідні характеристики $\{Y\}$ функціонування системи на різних рівнях взаємодії її складових у вигляді множин деталізованих, часткових та узагальнених результатів.

Для розв'язання завдань аналізу та синтезу [22] в досліджуваній системі виділяють множини $\{X\}, \{Z\}$ та $\{Y\}$. Аналіз ВСОГ дає змогу відшукати характеристики $\{Y\}$ від множини її зовнішніх впливів $\{X\}$, параметрів $\{Z\}$ та модельного часу T [70]:

$$Y = f(\{X\}, \{Z\}, T). \quad (2.1)$$

Зокрема, аналізуються залежності характеристик системи $\{Y\}$ від множини її параметрів $\{Z\}$ за умови, що зовнішні впливи є постійними (константами), а також характеристик $\{Y\}$ від множини зовнішніх впливів $\{X\}$ за умови, що параметри $\{Z\}$ є незмінними:

$$Y = f'(\{Z\}, T) \text{ за умови } \{X\} \rightarrow const;$$

$$Y = f''(\{X\}, T) \text{ за умови } \{Z\} \rightarrow const.$$

Задача синтезу полягає у визначенні оптимальних параметрів виробничої системи:

$$Z^{opt} = f''(\{X\}, Y, T) \text{ за умови } Y \rightarrow extr.$$

Системний підхід дає змогу виокремити у виробничій системі досліджувану складову, розглянути її у безпосередньому взаємозв'язку із іншими складовими, окреслити середовище, в якому відбувається функціонування та, на підставі цього, встановити множину інженерних задач для її розвитку, котрі сукупно формують проблему дослідження. Слід зазначити, що у даній роботі конкретизується та розв'язується лише одна задача – обґрунтування параметрів одиничного КГМ СГП за умови заданих характеристик обслуговуючої інфраструктури. Отже, розглянемо більш детально зміст системного підходу в даному дослідженні.

Зауважимо, що ефективність функціонування ВСОГ залежить від наступних чинників – технічних характеристик ґрунтообробних машин, з яких формується КГМ, агрофонових (вміст фізичної глини у ґрунті, структурність,

наявність рослинності на полі тощо) та природно-рельєфних характеристик полів, а також агрометеорологічних умов періоду виконання ґрунтообробного процесу. На підставі цього, виділимо підсистему „комплекс ґрунтообробних машин – виробнича програма” (КМВП) весняного та літньо-осіннього періодів.

Під виробничою програмою розуміють загальну площу ріллі, число культур, їх види та відсоток кожної культури у загальній площі СГП. На підставі цього формується річний обсяг механізованих робіт СГП.

До підсистеми КМВП слід віднести: 1) набір r -х ґрунтообробних машин, що забезпечують виконання усіх технологічних операцій з обробітку ґрунту; 2) множина їх технічних характеристик; 3) множина γ -х полів k -ї культури, що потребують використання r -ї машини; 4) множина агрофонових та природно-рельєфних характеристик γ -х полів. Формування параметрів цієї системи відбувається на основі синтезу її складових та дослідження характеристик виконання ґрунтообробного процесу.

Таким чином, параметри КГМ, що розглядаються в системі КМВП відображають множину технологічних операцій з обробітку ґрунту і є змінними відповідно до характеристик виробничої програми та технології обробітку ґрунту. Система КМВП, фактично, і є тією елементарною системою, над якою здійснюється дослідження на підставі зміни програми ґрунтообробних робіт окремого періоду (рис. 2.2).

Набір γ -х полів, на яких необхідно виконати певну технологічну операцію впродовж весняного чи літньо-осіннього періоду, формує сезонну виробничу програму $\{P_{\gamma k}\}$ обробітку ґрунту окремої машини. Слід звернути увагу на те, що параметри системи КМВП весняного $\{Z_{вп}\}$ та літньо-осіннього $\{Z_{оп}\}$ періодів є різними. Ця різниця зумовлена структурою посівних площ (наявністю ранніх та озимих культур) та технологією обробітку ґрунту. Тому, множини функціональних характеристик системи $\{Y_{вп}\}$ та $\{Y_{оп}\}$ для відповідного періоду ґрунтообробного процесу є різними. На підставі цього, очевидно, слід диференційовано підходити в дослідженні

особливостей взаємодії складових системи КМВП весняного та літньо-осіннього періодів.

Характерною особливістю ВСОГ є те, що між весняним та літньо-осіннім сезонами існує послідовний взаємовплив – характеристики весняного ґрунтообробного процесу $\{Y^{bn}\}$ впливають на вхідні умови літньо-осіннього обробітку $\{X^{on}\}$. Цей вплив відображається зміщенням термінів досягання культур та початку літньо-осіннього обробітку за умови затягування підготовки ґрунту у весняний період і навпаки. Характеристики літньо-осіннього періоду $\{Y^{on}\}$ зумовлюють вихідні умови весняного обробітку ґрунту $\{X^{bn}\}$. Це відображається якісним станом агрофону поля, на підставі якого формують потребу у виконанні тих чи інших технологічних операцій ґрунтообробного процесу.

Для дослідження характеристик системи – $\{Y^{bn}\}$ та $\{Y^{on}\}$ теоретично окреслимо головні деталі даної задачі. Перш за все охарактеризуємо вхідні впливи системи КМВП для кожного із сезонів. Їх дія зумовлюється агрометеорологічними, агрофоновими та природно-рельєфними умовами. Вплив зазначених чинників на показники функціонування системи відбувається через її складові. Зокрема, агрометеорологічні умови окремого періоду зумовлюють нормальну, або ж підвищену вологість ґрунтообробного шару поля, що визначає можливість або ж неможливість виконання технологічних операцій з механізованого обробітку ґрунту. Стан агрофону поля (ущільненість, наявність рослинних рештків, бур'янів тощо) об'єктивно формує потребу виконання тих чи інших технологічних операцій. Природно-рельєфні характеристики полів впливають на продуктивність ґрунтообробних машин внаслідок витрат часу на розвороти, об'їзди перешкод тощо. Значні віддалі переїзді до заправної чи ремонтної ділянки, довготривалість процесу обслуговування ґрунтообробної машини складовими обслуговчо-заправної інфраструктури, або ж простій агрегату через відсутність паливо-мастильних матеріалів, запасних частин тощо, зумовлюють витрати робочого часу, що впливає на характеристики функціонування системи.

Технічна характеристика ґрунтообробної машини, що входить до складу КГМ відображає початкові параметри системи КМВП, які можуть бути керованими за рахунок зміни трактора чи сільськогосподарської машини однієї марки на іншу.

Мінливість вхідних впливів ($\pm\Delta X_{\text{вп}}$ та $\pm\Delta X_{\text{оп}}$) весняного та літньо-осіннього сезонів ґрунтообробного процесу зумовлює потребу розгляду множини характеристик системи в межах кожного із сезонів та оцінення їх статистичних показників: математичного сподівання; середньоквадратичного відхилення та коефіцієнта варіації [71,72].

Приріст площі ріллі СГП ($\pm\Delta S_p$) за незмінної структури культур та вхідних впливів відповідних k систем $\{X_{\text{вп}}\}$ та $\{X_{\text{оп}}\}$ уможливорює встановлення параметрів КМВП, за яких її характеристики $\{Y_{\text{вп}}\}$ та $\{Y_{\text{оп}}\}$ сягають свого екстремуму. Відображаються ці характеристики (показники ефективності) такими фізичними показниками: 1) обсягом несвоєчасно оброблених площ k -ї культури (Z_n); 2) обсягом несвоєчасно оброблених площ усіх культур (Z_n); 3) обсягом непідготовлених площ k -ї культури (S_n); 4) обсягом непідготовлених площ усіх культур (S_n); 5) обсягом фактично оброблених площ g -ю машиною ($\square \phi$); 7)

Розкриття причинно-наслідкових зв'язків між вхідними чинниками $\{X\}$, параметрами $\{Z\}$ та характеристиками $\{Y\}$ системи можливе на основі формалізації їх кількісних показників. Формалізація агрометеорологічних умов полягає у математичному описі термінів початку та завершення ґрунтообробних робіт, тривалості погожих й непогожих проміжків часу. Зазначені показники, з огляду на їх імовірну сутність, описуються відповідним законом розподілу із своїми статистичними характеристиками. Ймовірний характер кожного із зазначених чинників є підставою для використання стохастичних моделей для їх дослідження.

До важливої особливості дослідження ВСОГ СГП слід віднести те, що від площі ріллі, структури посівних площ, а також технології обробітку ґрунту залежать параметри потоку вимог на виконання технологічних операцій з

обробітку ґрунту. Зміна зазначених показників зумовлює зміну параметрів потоку, а відтак – сезонної програми обробітку ґрунту. Окрім того, ґрунтообробний процес як весняного, так і літньо-осіннього періодів виконують із врахуванням агротехнічних вимог щодо стану посівного шару ґрунту, тривалості технологічних операцій із його підготовки тощо.

Параметри $\{Z\}$ системи ВСОГ розглядаються як детерміновані величини. Перебіг процесу механізованого обробітку ґрунту під дією стохастичних чинників, зумовлює отримання характеристик $\{Y^{en}\}$ та $\{Y^{on}\}$ системи КМВП в імовірнісному виразі.

Таким чином, розгляд ВСОГ на підставі системного підходу уможлиблює окреслення вхідних чинників, параметрів та характеристик системи, причинно-наслідкові зв'язки між якими можуть бути встановлені на підставі статистичного імітаційного моделювання.

2.2. Концептуальна модель виробничої системи обробітку ґрунту

Для розкриття характеристик КМВП на основі моделювання розробляється концептуальна модель, яка є першим етапом дослідження системи. Концептуальна модель ВСОГ є абстрактною, якою у словесній формі окреслюються складові й структура, головні події та явища, властивості її елементів та причинно-наслідкові зв'язки, що є важливими для досягнення мети моделювання [69]. Розробка концептуальної моделі виконується за наступними етапами визначення та орієнтування, стратифікація, деталізація, локалізація, виділення процесів, структуризація та управління, означення станів [70].

Першою процедурою означають мету моделювання, а також коло задач, які слід вирішити для цього. Метою моделювання системи ВСОГ є встановлення характеристик процесу механізованого обробітку ґрунту для виробничої програми СГП та одиничного КГМ. Характеристиками процесу є фізичні показники роботи одиничного КГМ, які відображають його

технологічну ефективність. Для встановлення характеристик виробничої програми СГП та технологічно потрібної множини ґрунтообробних машин, над якими виконується дослідження, здійснюють наступні кроки: 1) встановити площу ріллі СГП; 2) встановити кількість вирощуваних культур; 3) встановити види вирощуваних культур; 4) встановити структуру посівних площ; 5) обґрунтувати раціональну сівозміну; 6) обґрунтувати технологію обробітку ґрунту; 7) встановити множину ґрунтообробних операцій; 8) встановити технологічно потрібну множину ґрунтообробних машин та сформулювати одиничний КГМ.

Для вирішення задач дослідження необхідно виокремити множину чинників ефективності процесу, розробити методик дослідження, дослідити та формалізувати їх характеристики й причинно-наслідкові зв'язки, а також обґрунтувати метод їх відображення імітаційною моделлю.

На етапі стратифікації та деталізації системи визначаються із її складовими, які є важливими для досягнення мети дослідження – зміна параметрів яких зумовлює суттєві зміни показників ефективності функціонування системи. З огляду на мету моделювання, до таких складових відносяться сезонна множина полів СГП, що потребують виконання технологічних операцій з механізованого обробітку ґрунту, та параметри одиничного КГМ (рис. 2.3).

За незмінних вхідних впливів $\{X^{bn}\}$ та $\{X^{on}\}$ впродовж весняного та літньо-осіннього періодів та ефективного функціонування обслуговуючої інфраструктури зміна будь-якої із складових системи КМВП зумовлюватиме вплив на її функціональні характеристики $\{Y^{bn}\}$ та $\{Y^{on}\}$. На підставі цього, для досягнення поставлених завдань дослідження, встановлюють закономірність показників ефективності процесу обробітку ґрунту від параметрів системи КМВП.

Важливим етапом розробки концептуальної моделі виробничої системи є локалізація яка здійснюється з метою окреслення її зовнішнього середовища, а також з'ясування якісних та кількісних показників зовнішніх впливів на

систему. Зовнішнє середовище функціонування КГМ репрезентується агрометеорологічними, агрофоновими та природно-рельєфними умовами окремого регіону. Його дія відображається станом зволоження верхніх шарів ґрунту, що уможливорює або ж унеможливорює виконання ґрунтообробного процесу.

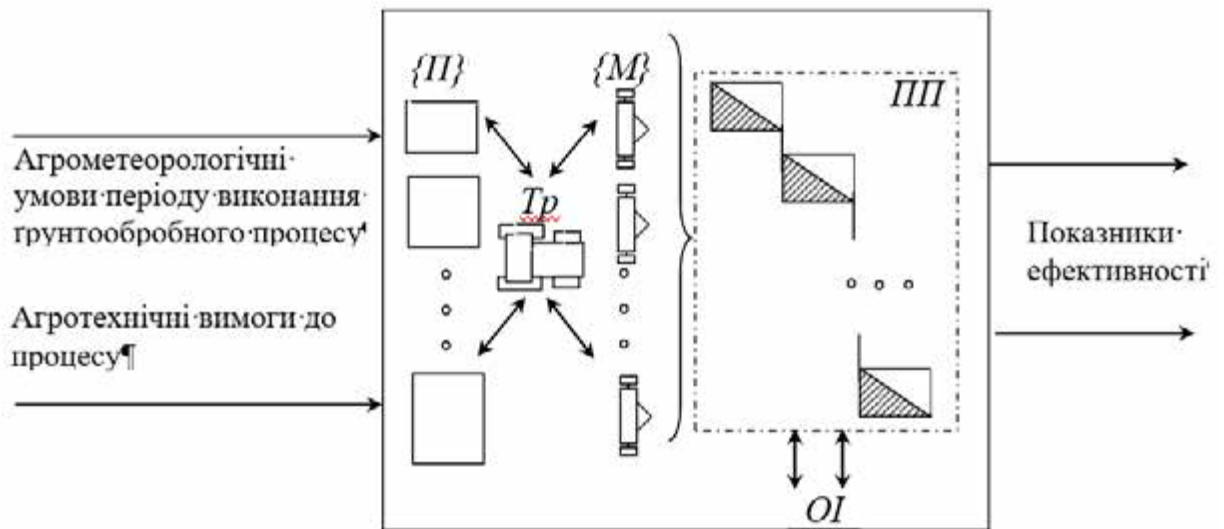


Рис. 2.3. Складові системи «комплекс ґрунтообробних машин – виробнича програма»: $\{P\}$ – множина полів; Tr – трактор; $\{M\}$ – множина ґрунтообробних знарядь; $ПП$ – процес обробки ґрунту; $ОІ$ – обслуговуюча інфраструктура.

Етап виділення процесів у системі є основою для моделювання ґрунтообробного процесу. Кожний елементарний процес системи КМВП, що відбувається впродовж певного періоду часу розглядається у безперервному взаємозв'язку із іншими процесами на підставі їх причинно-наслідкових зв'язків. Для одиничного КГМ елементарні процеси мають чітку послідовність у часі, до них відносять: 1) рух машини на поле; 2) робота на полі; 3) переїзди на інше поле; 4) переїзд для переоснащення трактора іншою ґрунтообробною машиною; 5) рух машинного агрегату у парк. Дослідження перебігу цих процесів відбувається на підставі імітаційної моделі.

Структурування та управління здійснюється з метою встановлення інформаційних зв'язків між складовими системи, на основі яких формуються

управлінські дії щодо зміни параметрів системи. До таких управлінських дій відносимо формування обсягів площі ріллі СГП, структури посівних площ, вибір раціональної сівозміни та технології обробітку ґрунту, а також зміну параметріводиничного КГМ.

Множина станів системи визначається відносно окремих її складових, а також відносно зовнішнього середовища. Система КМВП може перебувати у стані виконання своїх функцій (процесів, операцій тощо), знаходитись у стані очікування та не функціонувати. Процес механізованого обробітку ґрунту теоретично може тривати 24 год. на день, однак для виконання ґрунтообробного процесу у нічну частину доби виникає потреба дооснащення ґрунтообробних машин освітлювальним обладнанням. В наших дослідженнях допускаємо умову неможливості функціонування системи в нічну частину доби. Тоді, потенційна тривалість роботи КГМ обмежується світловою частиною доби відповідного періоду календарного року. Перебування системи у стані очікування зумовлене несприятливою дією агрометеорологічних умов, відсутністю вимог тощо. Припинення функціонування системи зумовлене виконанням ґрунтообробного процесу на усіх полях СГП, виходу техніки із ладу тощо.

В результаті виконання технологічних операцій відбувається зміна якісного стану предмету праці (агрофону поля), що здійснюється з метою забезпечення вимог сільськогосподарських культур до стану ґрунту на момент їх сівби. Виробничі умови ґрунтообробного процесу формуються на підставі сукупної дії чинників процесу, котра характеризується множиною специфічних подій та явищ процесу, які здебільшого є стохастичними. До особливостей функціонування ВСОГ відноситься й те, що головні події та явища носять циклічний характер, що сукупно відображає її внутрішню сутність (рис.2.4).

На підставі системного аналізу ВСОГ виокремлено наступні головні явища, що зумовлюють безпосередній вплив на фізичні характеристики ґрунтообробного процесу: 1) розвиток природних процесів в розрізі років

виробництва рослинної продукції характеризується повторюваністю та стохастичністю й зумовлений циклічним рухом Земної кулі відносно Сонця; 2) існує потреба весняного та літньо-осіннього обробітку ґрунту; 3) природно зумовлений час початку, тривалість і завершення окремого періоду ґрунтообробних робіт характеризується стохастичністю; 4) природно дозволена тривалість обробітку ґрунту весняного та літньо-осіннього періодів має різну фізичну сутність, а також характеризується особливим впливом на урожайність сільськогосподарських культур; 5) через несвоєчасність ґрунтообробного процесу знижується потенційна врожайність культур; 6) сільськогосподарські культури відрізняються між собою специфікою умов їх сівби та збирання, а також перебігом процесу вегетації; 7) виробнича програма СГП визначає потребу та обсяги ґрунтообробних робіт впродовж того чи іншого періоду; 8) часткові процеси механізованого обробітку ґрунту весняного та літньо-осіннього періодів характеризуються послідовним взаємовпливом; 9) агрометеорологічні умови впливають на характеристики потоку вимог весняного та літньо-осіннього періодів [73].

Таким чином, умовою об'єктивного визначення характеристик функціонування системи КМВП, є потреба врахування її особливих властивостей – характерних подій та явищ, що формують системні умови ґрунтообробного процесу. Їх відображення у моделі процесу повинне ґрунтуватись на принципах та концепції системотехніки, а також теорії моделювання [70].

Моделювання виконується за наступними укрупненими етапами: 1) формулювання мети моделювання; 2) розробка концептуальної моделі; 3) підготовка початкових даних; 4) розробка математичної моделі; 5) вибір методу моделювання; 6) вибір засобів моделювання; 7) розробка алгоритму та комп'ютерної програми статистичної імітаційної моделі; 8) перевірка адекватності і корегування моделі; 9) планування машинних експериментів; 10) моделювання на ПК; 11) аналізу результатів моделювання [70].

Метою моделювання системи ВСОГ є встановлення таких параметрів

системи, за яких досягається мінімальне значення питомих сукупних зведених витрат на обробіток ґрунту. З огляду на цю мету, виконуються передпроектні дослідження стосовно можливих варіантів виробничих програм СГП та параметрів технологічно потрібного КГМ, які можна віднести також до етапу підготовки початкових даних.

2.3. Аналіз чинників технологічного процесу механізованого обробітку ґрунту

Ефективність використання (E) окремого КГМ зумовлена сукупною дією множини чинників процесу механізованого обробітку ґрунту, які можна віднести до наступних їх груп: агрокосмічних (A_k), агрометеорологічних (A_m), предметних (природно-рельєфних (Pr) та агрофонових (A_f)), технологічних (T_l), технічних (T_n) та організаційних (стратегічних (O_c) й тактичних (O_m)):

(2.5)

$$E = f(A_k, A_m, Pr, A_f, T_l, T_n, O_c, O_m).$$

Агрокосмічний чинник – є одним із визначальних, що зумовлює циклічність природних та біологічних процесів в розрізі років вирощування рослин. Під агрокосмічним чинником розуміють циклічну мінливість висоти сонця над горизонтом, що зумовлює зміну довжини дня та ночі (рис. 2.5), зміну освітленості [48], динаміку температури повітря та ґрунту, зміна ймовірності замерзання ґрунту весною та в осінній період [32] тощо.

Період року в якому відбувається вегетація рослини та більша частина польових робіт лежить в межах часу початку (\square п) та часу завершення (\square з) фізичної стиглості ґрунту, які залежать від дії агрометеорологічних умов. Із зростанням висоти сонця над горизонтом видовжується період освітленості, що зумовлює більшу тривалість дня; зростає кут падіння сонячних променів на ґрунтову поверхню, що зумовлює його прогрівання та прогрівання прилеглого атмосферного шару, внаслідок чого відбувається зростання температури повітря. Під сукупною дією агрокосмічного та

агrometeorологічного чинників у весняний період відбувається танення снігу та випаровування ґрунтової вологи, що зумовлює початок фізичної стиглості ґрунту.

Слід зауважити, що агрокосмічний чинник значною мірою формує дію агrometeorологічних умов, однак рух атмосферних фронтів характеризуються стохастичність. Тому він розглядається як окрема та незалежна група чинників.

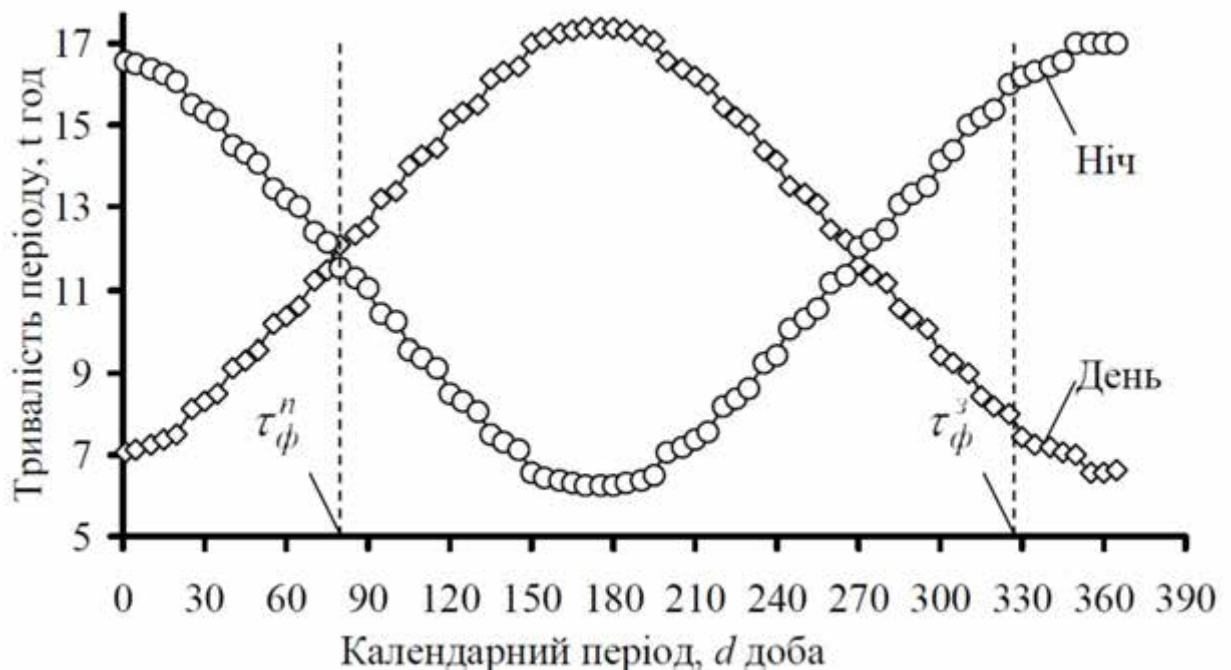


Рис. 2.5. Циклічна дія агрокосмічного чинника на протязі річного періоду польових робіт: – відповідно час початку та завершення фізичної стиглості ґрунту у весняний та літньо-осінній періоди.

Агrometeorологічний чинник – вплив атмосферного шару повітря на земну поверхню, що виражається вологістю повітря, вітром, хмарністю, опадами (злива, град, роса тощо), заморозками тощо. Агrometeorологічні умови уможливають, або ж унеможливають роботу ґрунтообробних агрегатів на полі. За умови фізичної стиглості ґрунту розпочинають обробіток. Випадання дощів, що зумовлюється дією агrometeorологічних умов, призводить до перезволоження ґрунту, і як наслідок, унеможливає подальше виконання технологічного процесу. Прогрівання повітря та ґрунту після

завершення опадів, вітер тощо призводять до випаровування його надмірної вологи, відновлення фізичної стиглості ґрунту та продовження обробітку.

Агрофоновий чинник – це наявний ґрунт та рослини (наземні та підземні їх частини), що знаходяться на полі в момент виконання технологічної операції обробітку ґрунту. Наявний ґрунт характеризується: типом, ступенем окультуреності (товщина орного шару, наявність поживних речовин тощо), агрофізичними властивостями (загальними та фізико-механічними) тощо [8]. Слід зауважити, що дія агрофонового чинника для різних типів ґрунту є різною, що зумовлене механічним складом ґрунту, наявністю рослинних решток, структурністю, вологістю тощо [8]. Вихідний стан агрофону зумовлений попередніми механізованими роботами на полі. Як уже зазначалося, в процесі виконання окремої технологічної операції отримують якісно новий стан агрофону, котрий є вихідним для наступної технологічної операції і т.д.

Природно-рельєфний базис – це саме поле, що має певну площу, конфігурацію та рельєф. Він характеризується ухилом поля і довжиною гону.

Потреба врахування даного чинника зумовлена залежністю характеристик ґрунтообробного процесу від його параметрів. Так, довжина гону, ухил поля, конфігурація, наявність ярів, перешкод тощо, впливає на тривалість виконання технологічної операції на окрему полі СГП та на продуктивність ґрунтообробної машини.

Природно-рельєфний та агрофоновий базиси є складовими предметного базису.

Технологічний чинник – це технології виконання процесу механізованого обробітку ґрунту. Технологія – науково обґрунтований підхід до перетворення предмета праці з одного якісного стану в інший. Технологія характеризується змістом, терміном та послідовністю виконання технологічних операцій ґрунтообробного процесу, а також ефектом від її застосування. Вибір технології обробітку ґрунту під окрему культуру

зумовлений попередником, типом ґрунту, наявністю технічних засобів в СГП для їх реалізації тощо.

Технічний чинник – це конкретна ґрунтообробна машина (машинний агрегат), що складається із трактора і ґрунтообробного знаряддя та характеризується: складом агрегату, шириною захвату, потужністю двигуна, надійністю, кількістю одночасно виконуваних операцій тощо. Характеристики виконання технологічних операцій окремою ґрунтообробною машиною в значній мірі залежать від предметного чинника (агрофону та природно-рельєфних умов), а також агрометеорологічних умов періоду ґрунтообробних робіт, що зумовлює їх імовірнісні показники.

Необхідно виділити та охарактеризувати суб'єктивну складову ґрунтообробного процесу, що входить в організаційну групу чинників: організаційно стратегічні та організаційно тактичні чинники.

Організаційно стратегічні – це суб'єктивно обґрунтовані заходи керівника, що ґрунтуються на його компетентності та фаховості щодо дій та стратегій розвитку СГП відповідно до зовнішніх та внутрішніх умов господарювання. До зовнішніх умов господарювання можна віднести групу чинників, котрі не мають безпосереднього впливу на процес механізованого обробітку ґрунту: соціальні, правові, фінансові, ринково-кон'юнктурні, інформаційні тощо. До внутрішніх слід віднести стан підприємства та можливість виконання фінансових операцій (кредити тощо), винайму техніки, зміни структури посівних площ тощо. Стан підприємства характеризується наявністю техніки, фінансовою спроможністю до підвищення рівня техніко-технологічного стану СГП, ресурсного забезпечення, можливість його розширення, кількістю і рівнем фахівців тощо.

Організаційно тактичні чинники – це суб'єктивно обґрунтовані дії тракториста впродовж виконання ґрунтообробного процесу відповідно до ситуацій, що виникають у процесі механізованого обробітку ґрунту. З позиції тракториста, який безпосередньо виконує технологічні операції обробітку, на полі організаційно-тактичні дії полягають у виборі способу руху, розвороту,

підвищенні чи зниженні швидкості тощо і впливають на продуктивність ґрунтообробного агрегату.

Організаційно-тактичні дії керівника, бригадира тощо полягають в управлінні ґрунтообробним процесом на усіх полях СГП: черговістю обслуговування потоку вимог на виконання технологічних операцій; застосуванням додаткових машин тощо.

Вказані чинники класифікуються за можливістю керування ними на: керовані, некеровані та частково керовані. До керованих чинників належать – технологічний, технічний та організаційний (стратегічний, тактичний). До некерованих – агрокосмічний та агрометеорологічний чинники.

Частково керованим є предметний базис (природно-рельєфний та агрофононий). Їх некерованість зумовлюється природним походженням ухилу поля, типу ґрунту, вологістю рослин, полеглістю тощо, а керованість – можливістю впливу людини на конфігурацію, площі полів тощо.

Формалізація сукупного впливу зазначених груп чинників на процес механізованого обробітку ґрунту дає змогу розробити адекватні методи і моделі їх синтезу, а також відобразити причинно-наслідкових зв'язків з метою дослідження характеристик ґрунтообробного процесу для заданої виробничої програми СГП та відповідних параметрів КГМ.

2.4. Характерні причинно-наслідкові зв'язки між подіями потоку вимог на обробіток ґрунту

Потік вимог на виконання технологічних операцій з механізованого обробітку ґрунту – впорядкована в часі і просторі множина полів, що потребують виконання ґрунтообробних операцій, у заданій агровиробничій системі. Зміст потоку вимог зумовлений сівозміною СГП, технологією обробітку ґрунту, наявністю технічних засобів для його обслуговування та розділяється на весняний й літньо-осінній.

Потік вимог на виконання технологічних операцій з обробітку ґрунту

відображає сукупну дію агрокосмічних, агрометеорологічних, агрофонових, природно-рельєфних, технологічних та організаційно стратегічних груп чинників [73]. Він зумовлюється подіями та явищами, котрі відбуваються в ґрунті – прогріванням, випаровуванням ґрунтової вологи, активацією мікробіологічних процесів тощо, а також вимогами сільськогосподарських культур до умов ґрунтового середовища їх росту та розвитку – температурою, вологістю, наявністю поживних речовин, структурністю ґрунту тощо.

Логічний аналіз процесу обробітку ґрунту дає змогу виокремити змінну та умовно постійну складові потоку вимог на виконання технологічних операцій з механізованого обробітку ґрунту. До змінних характеристик потоку відноситься:

1) момент виникнення та завершення потреби у виконанні певного виду ґрунтообробних операцій на окремому полі; 2) послідовне виникнення однакових вимог на виконання операцій r -ю ґрунтообробною машиною. Мінливість цих характеристик зумовлює сукупна дія природних чинників (агрокосмічних, агрометеорологічних та агрофонових).

Умовно постійна складова потоку вимог на виконання ґрунтообробних операцій є відображенням виробничої програми того чи іншого СГП та технології обробітку ґрунту (рис. 2.6). Цю складову характеризують такі показники: 1) сезонна кількість вимог у потоці; 2) сезонна кількість вимог на використання r -ї ґрунтообробної машини; 3) обсяг робіт кожної із вимог; 4) сезонний обсяг робіт r -ї ґрунтообробної машини; 5) сезонний обсяг ґрунтообробних робіт.

Відповідно до структури посівних площ СГП (частки озимих та ранніх культур), обсяги ґрунтообробних робіт того чи іншого періоду будуть відрізнятися між собою. Окрім того, потік вимог весняного та літньо-осіннього ґрунтообробного процесу характеризується різною фізичною сутністю умов їх формування, виникнення та завершення. Потреба використання ґрунтообробних машин впродовж весняного періоду зумовлюється вимогами сільськогосподарських культур до якісного стану

поверхневого шару ґрунту (структурності, вологості, температури тощо) на момент їх сівби. Обробіток розпочинають з першої можливості виходу техніки в поле [8].

Календарний термін початку ґрунтообробного процесу у весняний період зумовлюється станом ґрунту, а саме часом початку (τ^n) його фізичної стиглості [8]. Аналіз агрокосмічних та агрометеорологічних умов весняного періоду та їх впливу на вологість ґрунту поля переконує в тому, що τ^n зумовлюється сукупною дією низки природних чинників. В неявній формі ця закономірність має вигляд:

$$\tau_{\phi}^n = f(I_{\theta}, Z_v, D, B_n, \Gamma_{np}, i, Ca\phi)$$

де I_{θ} - інтенсивність надходження тепла на поверхню поля (залежить від висоти сонця над горизонтом, орієнтація ухилу поля тощо); Z_v - обсяг вологи на полі (товщина та щільність снігу, наявність льоду чи води в ґрунті тощо); D - опади; B_n - вологість повітря; Γ_{np} - глибина промерзання ґрунту; i - ухил поля (наявність луговин, ярів тощо); $Ca\phi$ - стан агрофону (рілля, зайнятий пар тощо).

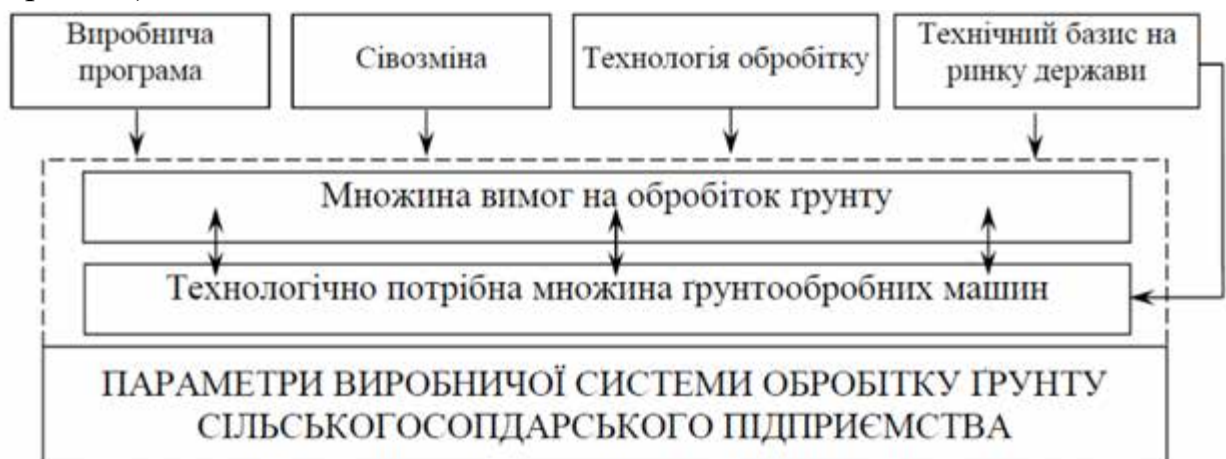


Рис. 2.6. Загальна схема формування параметрів ВСОГ СГП

Таким чином, агрокосмічні та агрометеорологічні чинники у весняний період зумовлюють інтенсивність прогрівання й підсихання ґрунту. Ці явища формують природно зумовлений проміжок між τ_{ϕ}^n та початком сівби сільськогосподарських культур. Оскільки в зоні Полісся максимум річного запасу продуктивної вологи ґрунту спостерігається у весняний період, то

момент початку сівби сільськогосподарських культур зумовлений температурою ґрунту. З огляду на це, усі сільськогосподарські культури поділяють за вимогами до температурних умов їх сівби на морозостійкі (жито, пшениця, ячмінь, овес, тощо), холодостійкі (картопля, буряки тощо) та теплолюбні (гречка, кукурудза тощо) [36,76]. Для морозостійких культур характерним є те, що їхні сходиможуть витримувати заморозки на поверхні ґрунту до $-3\dots-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, холодостійкі $-2\dots-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, теплолюбні $-1\dots-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Терміни початку сівби культур певного виду зумовлені наступними їх вимогами до ґрунтових умов: морозостійкі – з першої можливості виходу техніки в поле (за фізичної стиглості ґрунту), холодостійкі – за умови температури $+5\dots+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ на глибині 10 см, теплолюбні $+10\dots+14\text{ }^{\circ}\text{C}$ на глибині 10 см [47]. Настання зазначених температурних умов окремого поля впродовж календарного періоду весняного періоду зумовлює потребу виконання передпосівної підготовки ґрунту та сівби морозостійких (τ_c^m), холодостійких (τ_c^x) та теплолюбних (τ_c^m) культур.

Загальновідомо, що за умови “пізньої” весни значно скорочується проміжок часу на підготовку ґрунту. Таким чином, відповідно до особливостей розвитку природних процесів весняного періоду цілком обґрунтованим є зв’язок між τ_{ϕ}^n та тривалістю (Δt) прогрівання ґрунту:

$$\Delta t = f(\tau_{\phi}^n, \theta_k),$$

де θ_k – температура ґрунту, за якої починають сівбу культури, $^{\circ}\text{C}$.

Ця залежність відображає вплив агрометеорологічних умов на інтенсивність механізованих робіт окремого року.

Своєчасна підготовка ґрунту до початку сівби ($\tau_c^m, \tau_c^x, \tau_c^m$) культур впливає на їх врожайність, що є підставою визначення технологічної ефективності КГМ. Внаслідок стохастичності агрометеорологічних умов, своєчасність підготовки ґрунту за допомогою певного КГМ в розрізі років буде змінюватись. Це зумовлює стохастичність показників їх технологічної ефективності.

Кожен із зазначених випадків є унікальним, що зумовлює потребу адаптування змісту технологічних операцій з обробітку ґрунту до природно дозволеної тривалості їх виконання у весняний період.

Підготовку ґрунту завершують за умови виконання усіх вимог, а також в разі недоцільності їх продовження. Доцільність продовження обробітку ґрунту на окремому полі впродовж весняного періоду зумовлена особливостями росту і розвитку сільськогосподарських культур. Відомо, що підготовку ґрунту та сівбу культур необхідно виконати в агротехнічно-оптимальні терміни. У випадку, коли підготовка ґрунту з тих чи інших причин затягнулася до такого календарного терміну, за якого посіяна культура розвиватиметься у несприятливих для неї умовах (підвищеної температури ґрунту та повітря, низькій вологості ґрунту тощо), то продовжувати ґрунтообробний процес є економічно недоцільно оскільки врожай рослини не окупить витрат на її вирощування. На підставі цього, для кожної культури в певних природнокліматичних умовах об'єктивно існує "крайній" термін (т_{qm}, т_{qx}, т_{qt}) їх сівби, що є однією із передумов припинення обслуговування потоку вимог на обробіток ґрунту. За агрономічними рекомендаціями для умов Північного регіону України сівбу морозостійких культур необхідно завершити до 20 квітня, холодостійких – 1 травня, теплолюбних – 20 травня.

Як уже зазначалося, відповідно до виробничої програми СГП, сівозміни та технології обробітку ґрунту формується скінчена множина вимог, котра розрахована на підготовку ґрунту за середньостатистичних агрометеорологічних умов весняного періоду. Назвемо її базовою (табл. 2.2).

Кожна із вимог базової множини технологічних операцій характеризується терміновістю потреби її обслуговування, що дає можливість розташувати вимоги у певній послідовності виконання. Враховуючи агротехнічні вимоги до процесу механізованого обробітку ґрунту, показники – τ_p , τ_m , тривалість Δt та Δt , а також вартість врожаю сільськогосподарських культур формується черговість обслуговування вимог (ПВбв) базового потоку вимог весняного періоду:

$$ПВ_{\sigma}^B = \{\Omega_2^3; \Omega_3^1; \Omega_4^1; \Omega_3^2; \Omega_4^2; \Omega_3^3; \Omega_4^3\}$$

Таким чином, ВСОГ СГП формує множину вимог на виконання технологічних операцій та, відповідно, технологічно потрібну множину ґрунтообробних машин для їх виконання. Однак, на практиці відомі випадки, за яких доцільність та потреба виконання тих чи інших технологічних операцій з обробітку ґрунту не виникає. Тоді корегують зміст технологічних операцій ґрунтообробного процесу. Це зумовлене агрометеорологічними умовами та вихідним станом агрофону поля. Розглянемо ці випадки.

Таблиця 2.2.

Базова множина вимог на виконання технологічних операцій з механізованого обробітку ґрунту

№ п/п	Технологічні операції	Сільськогосподарські культури			
		Озимі зернові	Морозостійкі	Холодостійкі	Теплолюбні
		1	2	3	4
<i>Весняний період</i>					
1	Боронування (закриття вологи)	-	-	Ω_3^1	Ω_4^1
2	Культивация (знищення бур'янів)	-	-	Ω_3^2	Ω_4^2
3	Передпосівний обробіток (пошарова підготовка ґрунту)	-	Ω_2^3	Ω_3^3	Ω_4^3
<i>Літньо-осінній період</i>					
4	Лушення (дискове боронування)	Ω_1^4	Ω_2^4	-	-
5	Оранка	Ω_1^5	Ω_2^5	Ω_3^5	Ω_4^5
6	Культивация (знищення бур'янів)	-	Ω_2^6	Ω_3^6	Ω_4^6
7	Передпосівний обробіток (пошарова підготовка ґрунту)	Ω_1^7	-	-	-

Корегування передбачає заміну або ж невиконання окремих технологічних операцій. Підставою для врахування цієї особливості механізованого процесу є те, що за умови пізньої весни через високу інтенсивність механізованих робіт технологічну операцію боронування (закриття вологи) не виконують, операцію із знищення бур'янів поєднують із

передпосівним обробітком ґрунту тощо.

На підставі цього, зміст потоку вимог для весняного періоду буде змінним. Для ранньої весни потреба корегування змісту потоку вимог не виникатиме, оскільки природно дозволена тривалість обробітку ґрунту прямує до максимального її значення – $\Delta t_x, \Delta t_m \rightarrow \max$ (див. рис. 2.7,а). Тому, для одиничного КГМ доцільно розпочинати обробіток із передпосівної підготовки ґрунту під сівбу морозостійких культур. Наступними виконують операції із закриття вологи, знищення бур'янів та передпосівної підготовки ґрунту під холодостійкі та теплолюбні культури. В першу чергу виконують технологічні операції із передпосівної підготовки ґрунту морозостійких культур, що зумовлене тією обставиною, що для умов ранньої весни характерними є повільні темпи наростання температури повітря та ґрунту. Внаслідок цього незначне зміщення термінів боронування полів холодостійких та теплолюбних культур не спричиняє до значних втрат вологи ґрунту.

Виробничі ситуації, за яких корегують зміст потоку вимог для літньо-осіннього обробітку ґрунту, зумовлені характеристиками ґрунтообробного процесу попереднього весняного періоду. За умови невиконання обробітку ґрунту до τ_q^m, τ_q^x та τ_q^m сівбу рослин не виконують повністю втрачаючи при цьому запланований врожай та прибутки. У виробничих умовах, як правило, це поле займають побічними культурами. Це зумовлює недотримання структури сівозміни СГП, що є не коректним у дослідженні ефективності КГМ. Тому, можливістю зміни змісту технологічних операцій процесу механізованого обробітку ґрунту у літньо-осінній період ґрунтообробних робіт знехтуємо.

Відмінність подій та фізичних явищ, що зумовлюють початок, тривалість та завершення ґрунтообробного процесу у весняний та літньо-осінній періоди зумовлюють потребу диференційованого підходу до обґрунтування пріоритетів з обслуговування потоку вимог одиничним КГМ. Потреба сівби озимих культур в осінній період зумовлює першочерговість підготовки їх полів, після чого продовжують виконання технологічних операцій під ярі

культури. Серед множини вимог під ярі культури в першу чергу виконують усі технологічні операції із лушення, після їх завершення - оранку. Технологічну операцію із знищення бур'янів (культивація) розпочинають в останню чергу. Дотримання цих умов забезпечує достатнє вологонагромадження орного шару ґрунту впродовж осіннього та зимового періодів.

Таким чином, розроблена методика формування потоку вимог на виконання технологічних операцій з механізованого обробітку ґрунту впродовж весняного та літньо-осіннього періодів дає можливість врахувати таку особливу властивість ВСОГ як залежність характеристик потоку вимог від агрометеорологічних умов, біологічних особливостей вегетації сільськогосподарських культур, характеристик виробничої програми СГП, послідовного взаємовпливу характеристик часткових процесів обробітку ґрунту для весняного та літньо-осіннього періодів.

Висновки з розділу

1. Системний розгляд процесу механізованого обробітку ґрунту та вплив на його характеристики параметрів комплексу ґрунтообробних машин дав змогу окреслити сутність завдань аналізу та синтезу, розкриття яких неможливе без розгляду елементарної складової виробничої системи обробітку ґрунту, якою є підсистема “комплекс ґрунтообробних машин – виробнича програма” сільськогосподарського підприємства.

2. Аналіз системних особливостей формування потоку вимог на виконання технологічних операцій з обробітку ґрунту та їх механізованого обслуговування впродовж весняного та літньо-осіннього періодів дав змогу виокремити дев'ять головних подій та явищ процесу, шість чинників, що їх зумовлюють, а також розробити методику відображення їх причинно-наслідкових зв'язків в статистичній імітаційній моделі ґрунтообробного процесу, що є підставою для розроблення відповідного алгоритму й комп'ютерної програми та здійснення системного дослідження процесу

механізованого обробітку ґрунту.

3. Аналіз агрометеорологічних та біологічних підстав формування потокувимог з обробітку ґрунту весняного та літньо-осіннього періодів дав змогу визначитися із головними правилами його обслуговування одиничним комплексом ґрунтообробних машин та обґрунтувати принципи імітаційного моделювання процесу механізованого обробітку ґрунту.

4. Запропонована функція оптимізації параметрів виробничої системи обробітку ґрунту уможливило узгодження параметрів комплексу ґрунтообробних машин із характеристиками виробничої програми сільськогосподарського підприємства, що здійснюється на підставі вартісного оцінення втрат біологічної врожайності сільськогосподарських культур від несвоєчасної підготовки ґрунту та витрат підприємства на виконання ґрунтообробного процесу.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ВИРОБНИЧИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

3.1. Програма та загальна методика досліджень

Розроблені науково-методичні основи узгодження характеристик виробничої програми СГП із параметрами одиничного КГМ уможливили розгляд його системної ефективності лише теоретично. Проте, ряд гіпотез та положень залишаються експериментально непідтвердженими. Для цього, на підставі поетапних експериментальних досліджень, необхідно довести закономірність характеристик виробничої програми рілних СГП краю, розвитку природних процесів весняного та літньо-осіннього періодів ґрунтообробних робіт, тривалості вегетації сільськогосподарських культур та їх вплив на потік вимог зобробітку ґрунту у літньо-осінній період.

З огляду на це, дослідження процесу механізованого обробітку ґрунту виконувалося за такою загальною схемою:

1. Аналіз головних проблем ґрунтообробного процесу.
2. Виокремлення й аналіз головних подій та явищ процесу механізованого обробітку ґрунту, окреслення груп чинників, що їх зумовлюють.
3. Побудова робочої гіпотези.
4. Формулювання теоретичних положень з предмету дослідження, розробка методики та виконання експериментальних досліджень.
5. Логічний аналіз та математичне опрацювання результатів виробничих експериментів.
6. Обґрунтування алгоритму та розроблення комп'ютерної програми
7. Формулювання висновків.

Для досягнення сформульованої мети та реалізації завдань магістерської роботи виконувались виробничі та комп'ютерні експерименти. Для дослідження головних груп чинників ефективності процесу механізованого

обробітку ґрунту, використовувалися методи пасивних та активних експериментів, логічного аналізу, статистичного імітаційного моделювання, метод ітерацій, статистичного опрацювання інформації, графоаналітичного аналізу.

Програма експериментального дослідження складалась із наступних етапів:

1. Дослідження агрометеорологічних, агрофонових та природно-рельєфних умов механізованого обробітку ґрунту.

1.1. Вивчення тенденції площі ріллі, обсягів виробництва рослинної продукції, структури посівних площ та врожайності сільськогосподарських культур у державі та регіону.

1.2. Дослідження природно дозвільної тривалості обробітку ґрунту для окремого періоду.

1.3. Дослідження тривалості вегетації головних сільськогосподарських культур регіону.

2. Встановлення структури та техніко-технологічних характеристик комплексу ґрунтообробних машин.

2.1. Встановлення множини технологічних операцій із обробітку ґрунту та складу технологічно потрібного комплексу ґрунтообробних машин для їх виконання.

2.2. Обґрунтування показників продуктивності та витрат палива ґрунтообробних машин для основного та передпосівного обробітку ґрунту.

3. Оптимізація параметрів виробничої системи обробітку ґрунту. Встановлення параметрів ефективного одиничного КГМ для відповідних характеристик виробничої програми СГП.

Для перевірки висунутих гіпотез щодо залежностей досліджуваних показників формувались ряди емпіричних даних, на підставі яких розглядались їх зв'язки і визначався коефіцієнт кореляції (або кореляційне відношення). Якщо його значення більше 0,7, то це свідчить про сильну кореляційну залежність, в межах 0,3-0,7 – середню, а якщо менше 0,3 – слабку [75].

Агрометеорологічні умови весняного та літньо-осіннього періодів, а також площа ріллі СГП регіону є ймовірними величинами, що зумовлює потребу їх математичного опрацювання за допомогою методу теорії ймовірностей. Гіпотезу про можливий закон розподілу висували на основі попереднього оцінення значення коефіцієнта варіації. За умови, що коефіцієнт варіації розподілу випадкової величини знаходиться в межах 0,08 – 0,33, висували гіпотезу про нормальний теоретичний розподіл, якщо ж коефіцієнт варіації більший за 0,33, то висували гіпотезу про закон Вейбулла. Перевірку гіпотези щодо узгодження теоретичного та емпіричного розподілів випадкових величин виконували на підставі критерію χ^2 –Пірсона. Якщо розрахункове значення критерію χ^2 для встановленого рівня значимості – 5% було меншим за χ^2* табличне, то це було підставою для прийняття висунутої гіпотези.

3.2. Методика дослідження характеристик виробничої програми сільськогосподарського підприємства

Попит на сільськогосподарську продукцію на ринку держави є одним із визначальних чинників спеціалізації рільничого СГП, однак характеристики їх виробничої програми навіть в межах окремого адміністративного району є неоднаковими. Це зумовлює потребу використання методів математичної статистики для встановлення характеристик виробничої програми СГП, які є характерними для окремого регіону.

Дослідження характеристик виробничої програми виконували на підставі пасивних експериментів, якими передбачено збір та аналіз статистичних даних посівних площ діючих СГП. Формалізація результатів та їх використання у моделі ґрунтообробного процесу є передумовою практичної цінності отриманих результатів комп'ютерних експериментів та обґрунтованості рекомендацій рільничим СГП щодо параметрів одиничного КГМ.

Інформацію для встановлення характеристик виробничої програми брали в районних управліннях сільського господарства. На підставі статистичних звітів (2020-2023 рр) формували таблицю даних, котра включала:

1) порядковий номер;

2) назву СГП; 3) площу ріллі; 4) кількість культур; 5) площу кожної сільськогосподарської культури СГП.

Із сформованої бази даних отримано необхідні репрезентативні вибірки емпіричних значень: 1) площі ріллі СГП; 2) кількості сільськогосподарських культур СГП; 3) площі озимих, морозостійких, холодостійких та теплолюбних культур.

(3.1)

$$P_k^N = \frac{\sum_I^m S_{k,m}^N}{\sum_I^m Sp_m^N}$$

Ймовірність культури у СГП встановлювали на підставі сформованої бази даних виробничих характеристик діючих підприємств краю. Спочатку усі підприємства групували за кількістю (N) вирощуваних культур. Потім для множини m (m) СГП кожної N -ї групи встановлювали сумарну площу (S^N) культури k -о l виду та сумарну площу (Sp^N) ріллі СГП (табл. 3.1).

Таблиця 3.1.

Методика визначення ймовірності сільськогосподарської культури у СГП

Кількість культур в сівозміні СГП	Підприємство	Площа ріллі СГП, га	Площа культури, га					
			Морозостійкі			...	Озимі	
			Яра пшениця	Ярий ячмінь	Овес	...	Озиме жито	Озимий ріпак
			1	2	3	...	$k-1$	k
N	ТзОВ „Джерело”	335	50	-	35	...	25	30
	КСП „Промінь”	249	54	5	42	...	15	21

	m	Sp_m^N	$S_{1,m}^N$	$S_{2,m}^N$	$S_{3,m}^N$...	$S_{k-1,m}^N$	$S_{k,m}^N$
	Разом	$\sum_I^m Sp_m^N$	$\sum_I^m S_{1,m}^N$	$\sum_I^m S_{2,m}^N$	$\sum_I^m S_{3,m}^N$...	$\sum_I^m S_{k-1,m}^N$	$\sum_I^m S_{k,m}^N$

3.1. Методика дослідження природно дозволеної тривалості ґрунтообробного процесу

На підставі системного аналізу процесу механізованого обробітку ґрунту встановлено, що природно дозволену тривалість його виконання у весняний та літньо-осінній період можна відобразити наступними характеристиками: 1) часом початку фізичної стиглості ґрунту у весняний (τ_{ϕ}^n) та його завершення в літньо-осінній (τ_{ϕ}^3) періоди, доба; 2) тривалістю прогрівання ґрунту (Δt) до температури сівби сільськогосподарських культур у весняний період, діб; 3) тривалістю погожих (t_{nn}) та непогожих (t_{nn}) проміжків часу весняного й літньо-осіннього періодів, діб; 4) часом початку непогожого проміжку (τ_{nn}) в розрізі доби окремого періоду, год; 5) часом досягання (τ_{θ}) головних сільськогосподарських культур в літньо-осінній період, доба; 6) часом початку (τ_c^o) сівби озимих культур, доба.

Встановлення кількісних показників зазначених характеристик виконували на підставі даних метеорологічної станції, що знаходиться у Вінницькій області. На підставі інформації про результати щоденних спостережень (ТСХ-1, КМ-1) заатмосферними явищами (опади тощо), станом зволоження верхнього шару ґрунту (0-2, 2-10 см), температурним режимом повітря та ґрунту, а також календарними термінами початку фенологічних фаз розвитку головних сільськогосподарських культур формували базу вихідних даних для встановлення вищенаведених закономірностей.

Маючи результати щоденних спостережень за опадами, температурою та станом зволоження верхніх шарів (0-2; 2-10 см) ґрунту впродовж весняного та літньо-осіннього періодів досліджували закономірності їх зміни впродовж календарного часу окремих років (1980-2017 рр.) (рис. 3.2-3.3).

За час початку фізичної стиглості ґрунту (τ_{ϕ}^n) приймався перший із п'яти перших днів весняного періоду, за яких ґрунт перебував у стані доброго зволоження (див. табл. 2.1) (індекс шифру 3). Для встановлення тривалості прогрівання ґрунту ($\Delta t_x, \Delta t_m$) до температури сівби (Θ_x, Θ_m) холодостійких та

теплолюбних культур й обґрунтування термінів початку їх сівби (τ_c^x , τ_c^m) визначали кількість днів між τ_{ϕ}^n і моментом досягнення відповідної температури (4,6,8,10,12,14°C) на глибині ґрунту 10 см [77].

Для встановлення тривалості погожих (t_{nn}) проміжків часу фіксували кількість днів, за яких ґрунт поля перебував у добре зволоженому, слабо зволоженому та сухому станах. Для непогожих (t_{nn}) відповідно - надмірно зволоженому, сильно зволоженому, покритому снігом та мерзлому станах (див. табл. 2.1). Впродовж окремого року можливе чергування погожих та непогожих проміжків часу, а також їх кількісні показники є підставою формування репрезентативних вибірок емпіричних даних для оцінки статистичних характеристик випадкових величин.

Виникнення t_{nn} зумовлює призупинення робіт на полі в j -у добу, внаслідок чого знижується добовий виробіток ґрунтообробної машини. Встановлення моменту (години дня) початку непогожого проміжку ($\square_{\text{вн}}$) в j -у добу окремого сезону ґрунтообробних робіт здійснювали (для 1980-2017 рр.) на підставі даних щодобових спостережень за атмосферними явищами (ТСХ-1, КМ-1). Так, момент початку випадання дощу, заморозку тощо, за якої ґрунт поля переходив у непридатний для обробітку стан приймався як $t_{\text{вн}}$.

До особливостей процесу механізованого обробітку ґрунту у літньо-осінній період слід віднести те, що календарні терміни початку та завершення механізованих робіт, порівняно із весняним, зумовлені іншими фізичними явищами. Потреба обробітку виникає за умови звільнення поля від попередника, тому для окремої ланки сівозміни початок механізованих робіт зумовлений часом досягання культури (τ_{ϕ}) та агротехнічно дозволеною тривалістю її збирання ($t_{\text{аз}}$).

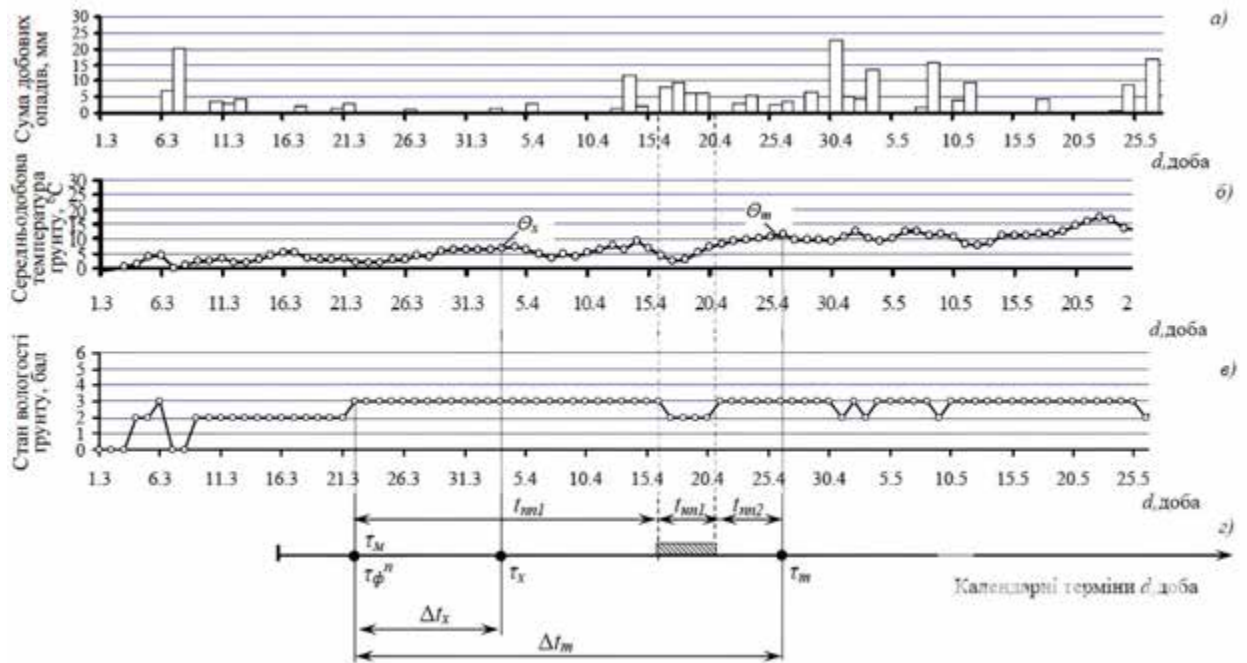


Рис. 3.2. Методика дослідження природно дозволеної тривалості обробітку ґрунту впродовж весняного періоду: а) динаміка атмосферних опадів; б) закономірність середньодобової температури ґрунту на глибині 10 см; в) стан вологості верхніх шарів ґрунту (2-10 см); г) природно дозволена тривалість обробітку ґрунту.

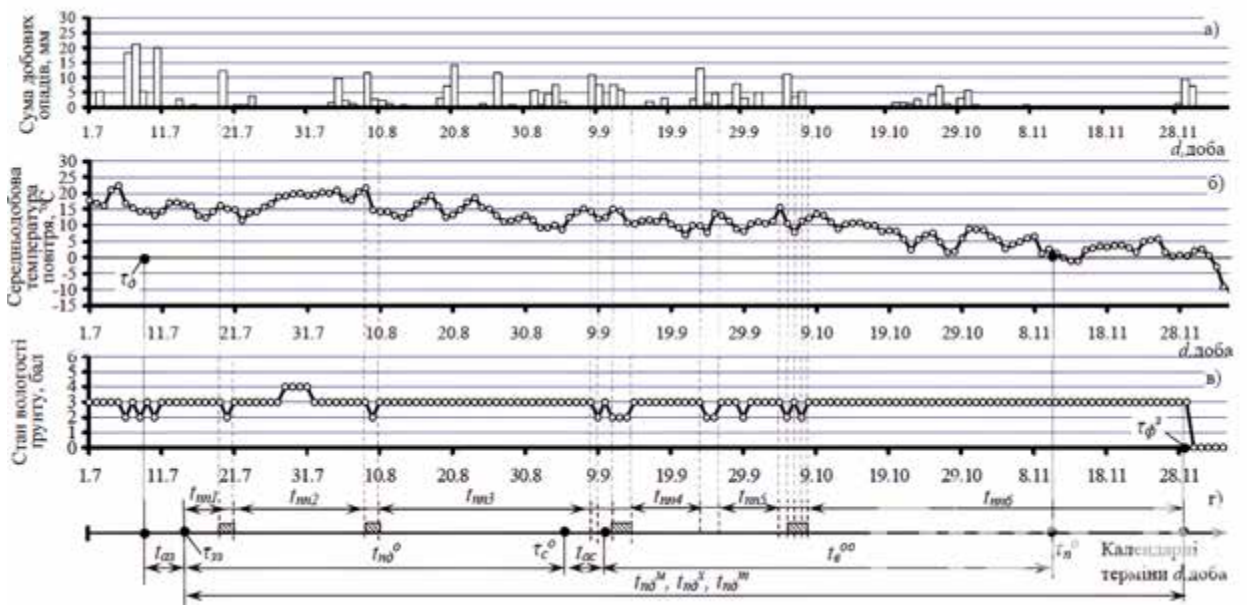


Рис. 3.3. Методика дослідження природно-дозволеної тривалості обробітку ґрунту впродовж літньо-осіннього періоду: а) динаміка атмосферних опадів; б) закономірність середньодобової температури повітря; в) стан вологості верхніх шарів ґрунту (2-10см); г) природно-дозволена тривалість обробітку;

t_{az} – агротехнічні вимоги до тривалості збирання культур, діб;

t_{ac} – агротехнічні вимоги до тривалості сівби озимих культур, діб.

Як уже зазначалось, завершення літньо-осіннього обробітку ґрунту зумовлене часом потреби сівби озимих культур та завершенням фізичної стиглості ґрунту ($\tau^{\phi 3}$). За момент τ^{ϕ} прийнято останній із п'яти останніх днів, за яких ґрунт перебував у стані фізичної стиглості (див. рис. 3.3).

Погожі та непогожі проміжки часу літньо-осіннього періоду, а також момент (година дня) призупинення обробітку ґрунту j -ї доби внаслідок несприятливих агрометеорологічних умов визначається в календарних межах від 1 липня до моменту τ^{ϕ} аналогічно до розробленої методики весняного періоду.

Природно дозволена тривалість обробітку ґрунту для озимих культур ($t^{n\phi}$) лежить в межах календарного проміжку між часом (τ) завершення збирання сільськогосподарської культури (попередника) та часом (τ^{c_0}) сівби озимих. Відповідно, природно дозволений обробіток в літньо-осінній період під ярі культури зумовлений термінами τ_{33} та τ^3 .

Таким чином, за розробленим методом дослідження природно-дозволеної тривалості весняного та літньо-осіннього обробітку ґрунту формуються варіаційні ряди емпіричних даних для відповідних показників. Використовуючи метод кореляційно-регресійного аналізу [75] та метод математичної статистики формалізуються їх закономірності та встановлюються оцінки статистичних характеристик. Дослідження природно-дозволеної тривалості обробітку ґрунту окремого періоду та аналітичне оцінення їх характеристик виконували за допомогою ПК та програмного середовища EXCEL.

Висновки з розділу

1. Програма та загальна методика досліджень складається із шести логічно обґрунтованих етапів експериментування із статистичною імітаційною моделлю процесу механізованого обробітку ґрунту впродовж весняного та літньо-осіннього періодів, дотримання яких уможливорює

експериментальне підтвердження головних теоретичних засад дослідження.

2. Поділ експериментів на виробничі та комп'ютерні зумовлений специфікою досліджуваної задачі, яка характеризується потребою розкриття впливу на ефективність процесу механізованого обробітку ґрунту шести головних груп чинників – агрокосмічних, агрометеорологічних, предметних, технологічних, технічних та організаційних. Дія другої та третьої групи чинників є стохастичною, дослідження їх сукупного впливу на ґрунтообробний процес можливе лише за допомогою поєднання виробничих та комп'ютерних експериментів.

3. Методики виконання трьох виробничих експериментів – встановлення характеристик виробничої програми сільськогосподарського підприємства, виявлення природно зумовленого часу початку, тривалості та завершення ґрунтообробного процесу весняного та літньо-осіннього періодів, а також тривалості вегетації головних сільськогосподарських культур ґрунтуються, здебільшого, на використанні результатів спеціально організованих спостережень, які уможливають отримання об'єктивних статистичних даних.

4. Математичне опрацювання результатів виробничих експериментів передбачає використання стандартизованих методик, що є підставою для отримання вірогідних моделей стохастичних явищ процесу механізованого обробітку ґрунту.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ВИРОБНИЧИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

4.1 Результати дослідження виробничої програми рільничих сільськогосподарських підприємств

На підставі встановлення посівних площ СГП (2022-2023 р.) сформовано базу даних та отримано репрезентативні вибірки наступних емпіричних значень характеристик виробничої програми: 1) площі ріллі СГП; 2) кількості сільськогосподарських культур у СГП; 3) площі озимих, морозостійких, холодостійких та теплолюбних культур.

Відповідно до цього, встановлено: 1) розподіл площі (S_p) ріллі СГП; 2) кореляційну залежність кількості (N) культур підприємства від S_p ; 3) кореляційну залежність площі морозостійких (S_m), холодостійких (S_x), теплолюбних (S_m) та озимих (S_o) культур від S_p ; 4) k ймовірність (P^N) вирощування k -ї культури; 5) структуру (C^N) характерних сільськогосподарських культур СГП.

Побудова варіаційного ряду емпіричних даних площі ріллі СГП та його опрацювання за методами математичної статистики [65, 71] уможливила встановлення теоретичного закону розподілу, яким є трьохпараметричний розподіл Вейбулла (рис. 4.1). Встановлено, що диференціальна функція розподілу площі ріллі СГП записується формулою

$$f(S_p) = 0,005 \left(\frac{S_p - 60}{309,554} \right)^{0,428} \cdot \exp \left[- \left(\frac{S_p - 60}{309,554} \right)^{1,428} \right] \quad (4.1)$$

Використання методів кореляційно-регресійного аналізу уможливило встановлення залежностей кількісних характеристик виробничої програми СГП. На підставі встановлених коефіцієнтів кореляції (табл. 4.1) перевірено гіпотезу щодо лінійної кореляційної залежності N (рис. 4.2) та S_m, S_x, S_m, S_o (рис. 4.3) від S_p .

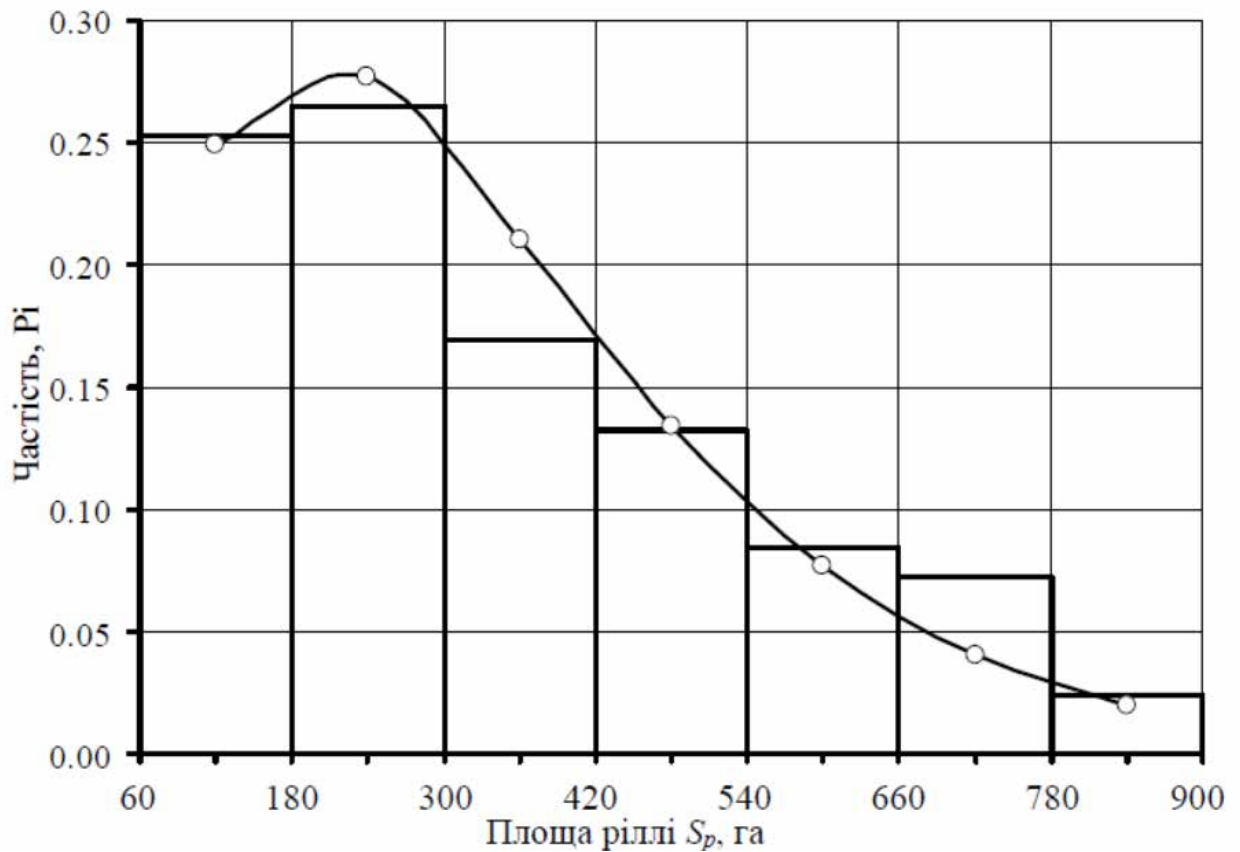


Рис. 4.1. Гістограма та теоретична крива розподілу площі ріллі сільськогосподарських підприємств (2022-2023 р.)

Таблиця 4.1

Рівняння залежностей характеристик виробничої програми сільськогосподарських підприємств від площі ріллі

№ п/п	Назва показника	Рівняння залежності	Коефіцієнт кореляції
1	Кількість культур	$N = 0.0122 S_p + 2.7994$	0,747
2	Площа озимих	$S_o = 0,3322 S_p$	0,668
3	Площа морозостійких	$S_m = 0,5965 S_p$	0,804
4	Площа холодостійких	$S_x = 0,0492 S_p$	0,631
5	Площа теплолюбних культур	$S_m = 0,0641 S_p$	0,615

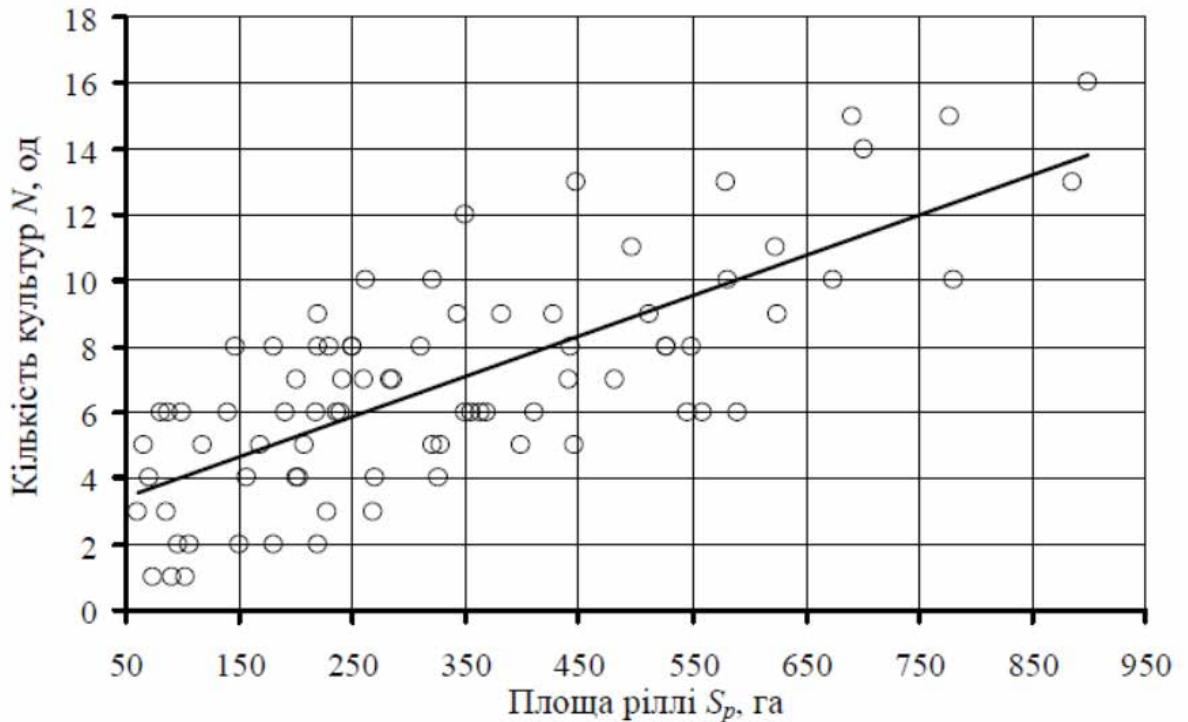


Рис. 4.2. Кореляційна залежність кількості культур від площі ріллі сільськогосподарського підприємства

Таким чином, структура характерних культур СГП є вихідною інформацією для формування характеристик виробничої програми типових СГП краю та виконання комп'ютерних експериментів із дослідження фізичних характеристик ґрунтообробного процесу весняного та літньо-осіннього періодів для одиничного КГМ.

4.2. Результати дослідження агрометеорологічних умов весняного та літньо-осінніх періодів ґрунтообробних робіт

Як уже зазначалось, відображення агрометеорологічних умов в імітаційній моделі процесу механізованого обробітку ґрунту відбувається на підставі розподілу кількісних показників їх характеристик. До основних характеристик агрометеорологічних умов, що формують початкові умови та впливають на перебіг ґрунтообробного процесу відносимо: 1) час початку фізичної стиглості ґрунту у весняний період; 2) інтенсивність зміни середньодобової температури

повітря і ґрунту у весняний та літньо-осінній періоди; 3) тривалість прогрівання ґрунту до температури сівби сільськогосподарських культур відносно часу початку його фізичної стиглості у весняний період; 4) тривалість погожих та непогожих проміжків часу впродовж весняного та літньо-осіннього періодів обробітку ґрунту; 5) час виникнення та завершення непогожого проміжку в розрізі доби весняного та літньо-осіннього періодів; 6) час завершення фізичної стиглості ґрунту в літньо-осінній період.

Встановлення кількісних показників зазначених характеристик виконували за даними Яворівської метеорологічної станції, що знаходиться у Житомирській області. На підставі інформації із щоденних спостережень за атмосферними явищами (опадами тощо), станом зволоження верхнього шару дернового слабопідзоленого супіщаного ґрунту (0-2, 2-10 см) та температурним режимом повітря і ґрунту формували базу вихідних даних дослідження.

Маючи базу результатів щоденних спостережень метеостанції впродовж весняного та літньо-осіннього періоду окремого року формували варіаційні ряди емпіричних даних. З метою числового відображення календарних термінів ґрунтообробних робіт прийнято точку відліку – 1 січня, відносно якої визначали кількість днів, що проходить до виникнення тих чи інших умов сезонних робіт.

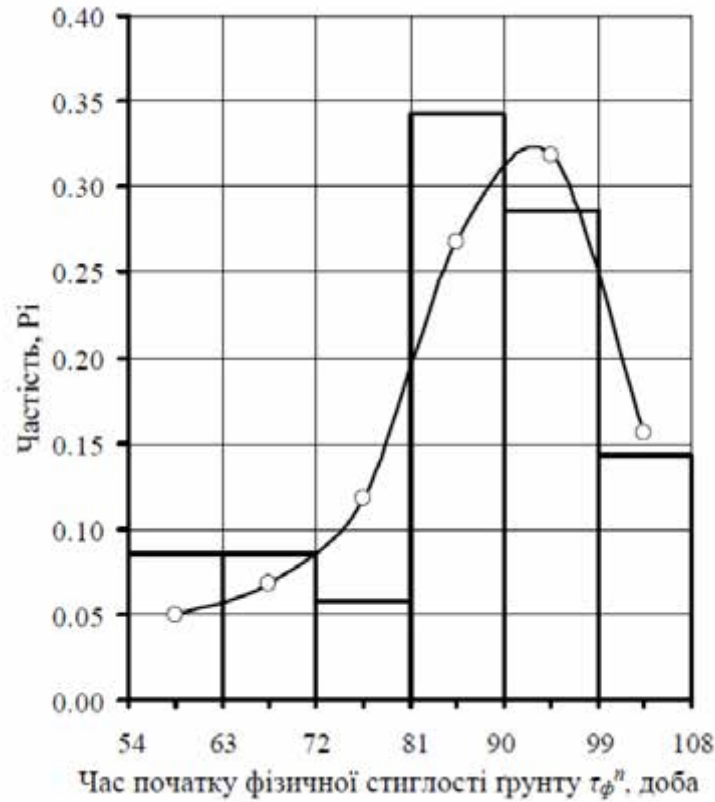


Рис. 4.4. Гістограма та теоретична крива розподілу часу початку фізичної стиглості ґрунту у весняний період

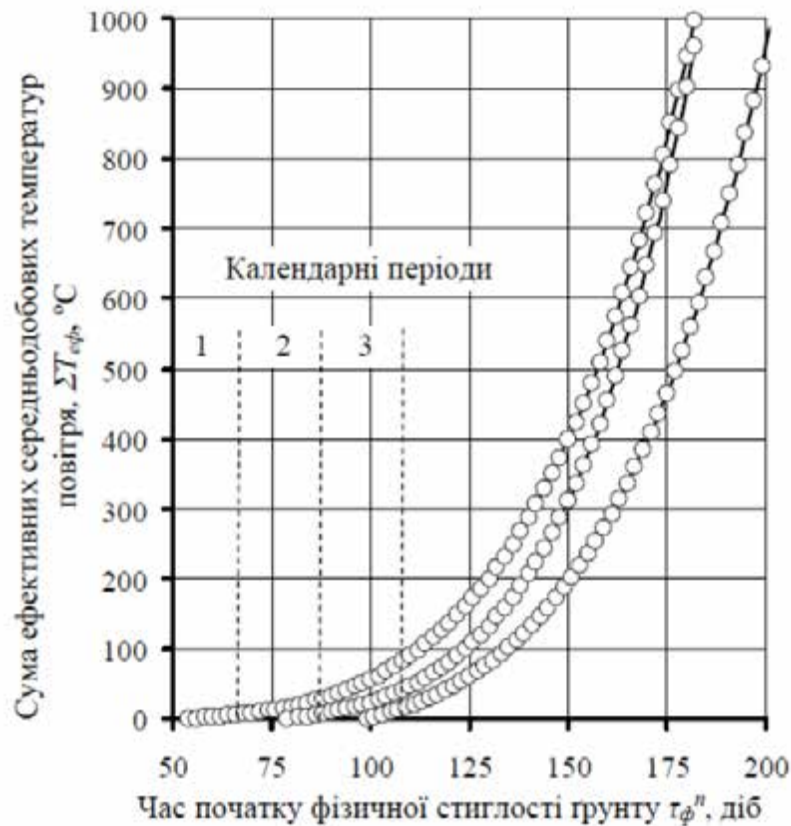


Рис. 4.5. Середні інтегральні криві наростання ефективних середньодобових температур повітря для різних термінів початку фізичної стиглості ґрунту у весняний період

Висновки з розділу

1. Сільськогосподарські підприємства Вінниччини характеризуються малими площами ріллі (60-900 га), значення яких є ймовірною величиною та описується теоретичним розподілом Вейбулла із математичним сподіванням – $M[S_p]=341.2$ га та коефіцієнтом варіації – $\sigma^2[S_p]=0.396$. Мала площа ріллі сільськогосподарських підприємств краю переконує у потребі виконання досліджень процесу механізованого обробітку ґрунту весняного та літньо-осіннього періодів із використанням одиничного комплексу ґрунтообробних машин.

2. Математичне опрацювання звітів рілничих підприємств Вінницької області щодо збору врожаю сільськогосподарських культур із використанням відомих методів кореляційно-регресійного аналізу дало змогу встановити закономірності їх головних характеристик. Ймовірність сільськогосподарських культур у рілничих підприємствах є важливою підставою обґрунтування структури характерних культур, а відтак, і характеристики виробничої програми типових підприємств області для виконання комп'ютерних експериментів.

3. Математичне опрацювання даних метеорологічної станції щодо температури (4,6,8,10,12,14°C) ґрунту на глибині 10 см уможливило встановити закономірність природно дозволеної тривалості обробітку ґрунту відповідно до часу початку його фізичної стиглості у весняний.

4. Математичне опрацювання даних метеорологічної станції дало змогу встановити закономірності тривалості вегетації сільськогосподарських культур. Встановлені коефіцієнти кореляції є підставою прийняття гіпотези щодо лінійної кореляційної залежності тривалості вегетації культур від часу початку їх сівби у весняний період, що є важливою підставою обґрунтування календарних термінів початку процесу механізованого обробітку ґрунту в літньо-осінній період.

5. Однією із біологічних особливостей сільськогосподарських культур є

те, що температурні умови сівби та тривалість вегетації кожної із них є різною. Відповідно до культур у сівозміні момент виникнення потреби механізованого обробітку ґрунту на полях рільничого підприємства в літньо-осінній період є різним та значною мірою зумовлений своєчасністю підготовки ґрунту під сівбу культур у весняний період.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Робота присвячена розв'язанню задачі підвищення ефективності процесу механізованого обробітку ґрунту на підставі узгодження характеристик виробничої програми сільськогосподарського підприємства з параметрами одиничного комплексу ґрунтообробних машин. Аналіз чинних науково-методичних основ обґрунтування ефективних комплексів машин для сільськогосподарського виробництва свідчить про те, що вони не враховують системну дію головних чинників механізованого процесу, а відтак – унеможливають створення адекватних моделей.

2. Розроблені на основі системотехніки науково-методичні засади дослідження ефективності одиничного комплексу машин для традиційної технології обробітку ґрунту дали змогу обґрунтувати зміст дев'яти характерних подій та явищ ґрунтообробного процесу й виокремити шість головних груп його чинників, а також довести, що їх синтез у моделі цього процесу має базуватися на статистичних методах.

3. Розкриття часових причинно-наслідкових зв'язків потоку вимог та виконання технологічних операцій механізованого обробітку ґрунту у весняний та літньо-осінній періоди дало змогу визначитися із правилами їх обслуговування одиничним комплексом ґрунтообробних машин та розробити статистичну імітаційну модель ґрунтообробного процесу.

4. Для обґрунтування параметрів комплексу ґрунтообробних машин сільськогосподарського підприємства розроблено науково-методичні засади узгодження характеристик виробничої програми з параметрами комплексу, які уможливають на основі вартісного оцінення питомих втрат урожаю через несвоєчасність обробітку та питомих експлуатаційних витрат у технологічному процесі встановити залежність між площею обробітку ґрунту та питомими сукупними витратами коштів і на цій підставі визначити: 1) для заданого комплексу ґрунтообробних машин оптимальне значення виробничої площі; 2) для заданої виробничої програми підприємства ефективні параметри

комплексу ґрунтообробних машин.

5. Розроблена програма виробничих експериментів та математичне опрацювання їх результатів уможливило кількісне оцінення статистичних закономірностей характерних подій та явищ процесу механізованого обробітку ґрунту, характеристик головних груп його чинників, а також їх причинно-наслідкових зв'язків, що формують базу початкових даних для моделювання.

6. Математичне опрацювання статистичної багаторічної ретроспективної інформації метеорологічної станції уможливило встановлення наступних кількісних характеристик некерованих чинників: 1) розподіл часу початку фізичної стиглості ґрунту у весняний та його завершення в літньо-осінній періоди; 2) розподіл погожих та непогожих проміжків часу весняного та літньо-осіннього періодів ґрунтообробних робіт; 3) розподіл часу початку непогожого проміжку впродовж доби для весняного та літньо-осіннього періодів.

7. Встановлені характеристики процесу механізованого обробітку ґрунту впродовж весняного та літньо-осіннього періодів ґрунтообробних робіт є підставою для визначення чисельним методом за вартісним критерієм ефективних параметрів одиничного комплексу ґрунтообробних машин і, відповідно, характеристик виробничих програм підприємств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барабаш Р., Михалюк М., Шолудько В., Шолудько Я. Обоснование рационального размещения и функционирования пункта технического обслуживания. MOTROL : Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. An International Journal on Operation of Farm and Agri–food Industry Machinery. Lublin; Rzeszow, 2014. Vol. 16, No. 4 P. 98–104. 7.
2. Барабаш Р. Вплив збільшення кількості постів на показники ефективності технологічних процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–150К–09. Сільськогосподарські машини: зб. наук. праць. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. Вип. 32. С. 18–26
3. Вітвіцький В. В., Лосина М. С., Гулька М. С. Методика розробки та типові норми часу на технічне обслуговування тракторів. Київ: НДІ «Укragenпромпродуктивність», 2015. 219 с. 15.
4. Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Роговський І. Л. Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ: НУБіП України, 2016. 360 с.
5. Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Параметри та показники ефективності технологічних процесів технічного сервісу, що виконуються на стаціонарних постах. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2006. № 10. С. 66–73. 40.
6. Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Підвищення коефіцієнта технічного використання тракторів ХТЗ скороченням тривалості їх технічного обслуговування. Вісник ХНТУ ім. П. Василенка: Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. 2015. № 163. С. 78–83. 41.
7. Кузьмінський Р. Д., Іванишин В. В., Барабаш Р. І., Ткач О. В. Вплив збільшення кількості постів на показники ефективності технологічних процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522. Збірник наукових праць. Подільського державного аграрно-технічного університету: Технічні науки. 2016. № 24. т.2. С. 175–184

8. Кузьминський Р. Д., Барабаш Р. И., Михалюк М. А. Анализ технологической и производственной составляющих структуры процессов технического обслуживания тракторов ХТЗ–Т150К–09. MOTROL. Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. An International Journal on Operation of Farm and Agri–food Industry Machinery. Lublin; Rzeszow, 2014. Vol. 16, No. 4. P. 303–309. 149 43.
9. Kuzminskyj R., Krajnyk L., Barabash R., Sosnowski S. Organizational and technological compatibility of the technological processes of all different types of maintenance of KhTZ-3522 tractors in the joint technological flow. ECONTECHMOD. An International Quarterly Journal. 2017. Vol. 6, No. 3, P. 5–16. 44.
10. Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Параметри та показники ефективності процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–17221. Развитие науки в XXI веке: Междунар. науч.-практ. конф. (Харьков, 11 апр. 2015 г.). Харьков, 2015. С. 60–65. 45.
11. Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Організаційно-технологічна сумісність технологічних процесів, які виконуються на стаціонарних постах. Крамаровські читання: матеріали VI Міжнар. наук.-техн. конф. (Київ, 21 лют. 2019 р.). Київ: Вид. центр НУБіП України, 2019. С. 257–259. 46.
12. Кузьмінський Р. Д. Про можливість використання алгоритму “наповнення контейнерів” для моделювання технологічних процесів відновлення. Вісник Львівського державного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 1998. № 2. С. 25–28. 47.
13. Кузьмінський Р. Д., Соколовський О. Р. Алгоритм проектування технологічних процесів, які виконуються на стаціонарних постах. Збірник наукових статей ЛНТУ: Сільськогосподарські машини. Луцьк, 2016. Вип. 21, т. 1. С. 228–235. 51.
14. Кузьмінський Р. Д. Конструктивно-технологічний базис процесів ремонту коробок передач зернозбиральних комбайнів. Наукові і практичні аспекти агропромислового виробництва та розвитку сільських регіонів:

матеріали Міжнар. наук.-практ. форуму, 22-24 вер. 2010 р. Львів: Львів. нац. агроуніверситет, 2010. С. 458–467. 52.

15. Кузьмінський Р. Структура, параметри та ефективність технологічних процесів ремонту. Вісник Львівського державного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2015. № 9. С. 50–60.

16. Кузьмінський Р., Кордоба В. Алгоритм визначення продуктивності та виробничої структури технологічних ділянок відновлення зношених деталей на етапі проектування. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2015. № 15. С. 297–308.

17. Семкович О., Барабаш Р. Стан і перспективи розвитку ринку технічного сервісу в агропромисловому комплексі України. Вісник Львівського державного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2005. № 9. С. 9–15. 98.

18. Сидорчук О. В., Семерак М. М., Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Концепція управління проектом технічного обслуговування тракторів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2018. № 12, т. 1. С. 16–21. 99.

19. Сидорчук О. В., Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Закономірності кількісних і якісних змін надходжень замовлень на ремонт агрегатів. Технікотехнологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. праць. Київ: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Вип. 10 (24), кн. 1. С. 69–76. 100.

20. Сидорчук О. В., Боярчук В. М., Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Основні функції і форми управління системою технічного обслуговування тракторів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2009. № 13, т. 2. С. 51–56. 101.

21. Сидорчук О. В., Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І., Михалюк М. А. Технологічна складова функціональної структури системи фірмового технічного обслуговування тракторів ХТЗ. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2009. № 13, т. 2. С. 73–80.

22. Наявність сільськогосподарської техніки та енергетичних потужностей у сільському господарстві у 2016 році: стат. бюл. / Державна служба статистики України. Київ, 2017. 108.
23. Наявність сільськогосподарської техніки та енергетичних потужностей у сільському господарстві у 2017 році: стат. бюл. / Державна служба статистики України. Київ, 2018. 109.
24. Наявність сільськогосподарської техніки та енергетичних потужностей у сільському господарстві у 2018 році: стат. бюл. / Державна служба статистики України. Київ, 2019. 110.
25. Наявність сільськогосподарської техніки та енергетичних потужностей у сільському господарстві у 2019 році: стат. бюл. / Державна служба статистики України. Київ, 2020. 157 111.
26. Стукалець І. Г. Організаційно-технологічна сумісність ремонтновідновних процесів підприємств багатопредметної спеціалізації. Студентська молодь і науковий прогрес в АПК: матеріали 4-ої Міжнар. студ. наук. конф. (26-30 верес. 2004 р.). Львів: ЛДАУ, 2004. С. 333–341. 112.
27. Виробництво промислової продукції за видами в Україні за січень–грудень 2017 р.: стат. бюл. Київ: Держкомстат України, 2017. 226 с. 113.
28. Виробництво промислової продукції за видами в Україні за січень–грудень 2018 р.: стат. бюл. Київ: Держкомстат України, 2018. 227 с. 114.
29. Виробництво промислової продукції за видами в Україні за січень–грудень 2019 р.: стат. бюл. Київ: Держкомстат України, 2019. 226 с. 115.
30. Виробництво промислової продукції за видами в Україні за січень–грудень 2020 р.: стат. бюл. Київ: Держкомстат України, 2020. 225 с.
31. Технологические карты на предпродажное и техническое обслуживание тракторов ХТЗ–16131, ХТЗ–16331 / Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе. Харьков, 2014. 92 с. 124.
32. Технологические карты на предпродажное и техническое обслуживание тракторов ХТЗ–150К–09 / Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе. Харьков, 2014. 67 с.

33. Трактор ХТЗ–150К–09–25. Руководство по эксплуатации 151.00.000– 09 РЭ / Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе. Харьков, 2013. 267 с. 127.
34. Трактор ХТЗ–3512. Руководство по эксплуатации 3512.00.001 РЭ / Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе. Харьков, 2014. 46 с. 128.
35. Тракторы ХТЗ–17021 и ХТЗ–17221. Руководство по эксплуатации 170.00.000 РЭ / Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе. Харьков, 2013. 215 с. 129.
36. Трактор ХТЗ–17221–18. Руководство по эксплуатации 17221.00.000– 18 РЭ. Дополнение к руководству по эксплуатации 170.00.000 РЭ / Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе. Харьков, 2013. 27 с. 130.
37. Трактор ХТЗ–17221–19 «Руководство по эксплуатации» 17221.00.000–19 РЭ. Дополнение к руководству по эксплуатации 170.00.000 РЭ / Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе. Харьков, 2013. 30 с.
38. Сало В.М., Лещенко С.М., Лузан П.Г. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. / за ред. Сало В.М. –Х.: Мачулін, 2016. –244 с
39. Застосування способів основного обробітку ґрунту в сівоzmінах/ В.М.Кабанець, М.Г.Собко, О.В.Радченко/під ред. М.Г. Собка. Сад, 2015. 16 с.
40. Надикто В. Оранка: міфи та реалії // Агробізнес сьогодні. 2015. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http:// agro-business.com.ua/agro/ideitrendy/item/8395-oranka-mify-ta-realii.html](http://agro-business.com.ua/agro/ideitrendy/item/8395-oranka-mify-ta-realii.html)
41. Сивак Р.І. Пластичність металів при немонотонному навантаженні / Техніка, енергетика, транспорт АПК. – Вінниця, 2016. - №1 (91). – С.108-111 10.
42. Сердюк О.В., Сивак І.О., Сухоруков С.І., Сивак Р.І. Оцінка пластичності поверхневого шару металу при немонотонному навантаженні / Наукові нотатки. – Випуск 54. – Луцьк, 2016. – С.277-281 (науково-метрична база РИНЦ)

43. Гунько І.В. Енергоощадні безконтактні методи діагностування показників технічного стану мобільної сільськогосподарської техніки / І.В. Гунько, Л.Г. Коваль // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – №3 (95). – Вінниця. – 2016. – С. 89-93.
44. Анісімов Ф.Ф. Системи діагностування сільськогосподарських тракторів / В.Ф. Анісімов, Д.В. Борисюк, О.В. Черкевич // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – №2 (94). – Вінниця. – 2016. – С. 34-36.
45. Булгаков В.М. Дослідження та розробка методів діагностування гідравлічних приводів зернозбиральних комбайнів / Г.М. Калетнік , В.В. Адамчук, В.М. Булгаков , В.В. Яременко // Всеукраїнський науковотехнічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» №2 (94) 2016. – С.12- 19 73
46. Солоня О.В., Рудницький Б.О., Деревенько І.А., Омелянов О.М. «Аналіз умов експлуатації електроустаткування в сільському господарстві» Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» Вінниця – 2017. №4(99), – С. 41-45
47. Калетнік Г.М. Стан та основні перспективи підготовки висококваліфікованих та наукових кадрів в галузі агроінженерії / Г.М. Калетнік, В.В. Адамчук, В.М. Булгаков // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» №1 (96) 2017. – С.5-15
48. Сало В.М. Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві [Текст] / В.М. Сало, Д.В. Богатирьов, С.М. Лещенко, М.І. Савицький // Техніка і технології АПК – Дослідницьке: УКРНДПВТ ім. Л. Погорілого, 2014 – № 10 (61) – С. 16-19.
49. Сало В.М. Аналіз процесів чизелювання ґрунтів з застосуванням різних комбінацій робочих органів [Текст] / В.М. Сало, С.М. Лещенко, В.А. Пашинський, Р.В. Ярових // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2015. – Вип. 45, Ч.1 – С. 126-132
50. Лещенко С.М. Технічне забезпечення збереження родючості ґрунтів в системі ресурсозберігаючих технологій [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин.

Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2016. – Вип. 43, ч.1 – С. 96-102.