

НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

АНИСКЕВИЧ ЛЕОНІД ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 631.315:629.783:525

**СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НОРМАМИ ВНЕСЕННЯ МАТЕРІАЛІВ В
ТЕХНОЛОГІЯХ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА**

05.05.11 – машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному аграрному університеті Кабінету Міністрів України

Науковий консультант - доктор технічних наук, професор **Бойко Анатолій Іванович**, Національний аграрний університет, завідувач кафедри конструювання машин

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, член-кореспондент Української академії аграрних наук, професор **Кушнар'юв Артур Сергійович**, Таврійська державна аграрно-технічна академія, завідувач кафедри теоретичної механіки

доктор сільськогосподарських наук, академік УААН, професор **Лінник Микола Кіндратович**, заступник академіка-секретаря відділення механізації та електрифікації УААН

доктор технічних наук, професор **Завгородній Олексій Іванович**, Харківський державний технічний університет сільського господарства ім. П.М. Василенка, завідувач кафедри вищої математики

Провідна установа - **Кіровоградський національний технічний університет** Міністерства освіти і науки України, кафедра сільськогосподарських машин, м. Кіровоград

Захист відбудеться "26" квітня 2005 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.06 у Національному аграрному університеті за адресою: м. Київ-41, вул. Героїв оборони, 15, навчальний корпус 3, аудиторія 65

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного аграрного університету: м. Київ-41, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус 4, к. 41

Автореферат розісланий "20" березня 2005 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Войтюк Д.Г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний етап розвитку механізованих процесів у сільському господарстві характеризується пошуком нових техніко-технологічних рішень до збільшення рентабельності рослинництва і підвищення ефективності використання с.-г. техніки. Одним із таких рішень є застосування технологій точного землеробства (ТЗ).

ТЗ – новітній прогресивний спосіб ведення сільськогосподарського виробництва, який дає змогу підвищити урожайність культур при одночасному збереженні родючості ґрунту, заощадженні матеріальних і фінансових ресурсів та зменшенні техногенного тиску на навколишнє середовище.

Центральним моментом застосування технологій ТЗ є реалізація змінних норм внесення (ЗНВ) технологічних матеріалів (ТМ). Операції ЗНВ ТМ проводяться у відповідності зі спеціально розробленими планами (електронними картографіями) виконання механізованих робіт, які визначають рівень щільності розподілу ТМ по елементарних ділянках площі поля.

У світі напрацьовані певні методи і розроблене спеціалізоване обладнання для реалізації технологій ЗНВ ТМ. Використання таких методів та обладнання дає вагомі економічні переваги для господарств, що їх застосовують. Проте, на сьогодні можливо вести мову про виконання технологій ЗНВ ТМ на макрорівні. Такий макрорівень характеризується середньою довжиною хвилі впливового фактору в межах 18-25 м. Отже, якщо розміри елементарних ділянок поля з однаковими рівнями градацій норм внесення ТМ в декілька разів більші, ніж зазначена довжина хвилі, то робота сільськогосподарської машини (СГМ) як регулятора норми технологічних внесень, може бути задовільною; в протилежному випадку – помилка виконання завдання може сягати 100 %, що відповідно веде до значних економічних втрат.

Принципово важливо виконувати операції ЗНВ ТМ з високою просторовою точністю і заданими режимами дозування. Слід зазначити, що на сьогодні питання теорії та практики внесення ЗНВ ТМ з субметровою точністю реалізації, задачі розрахунку оптимальних регуляторів дозуючих систем машин-реалізаторів, проблеми керування щільністю розподілу ТМ по ширині захвату машини тощо, розроблені вкрай недостатньо.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась в рамках держбюджетних та господарчих договірних тематик науково-дослідних робіт проблемної лабораторії "Точне землеробство" Національного аграрного університету: "Механіко-технологічні основи застосування системи точного землеробства (СТЗ) в агропромисловому комплексі України", номер державної реєстрації - 0198U004123, 1998-2002 рр.; "Оптимізація механізованих технологій та удосконалення сільськогосподарських машин для СТЗ", номер державної реєстрації - 0100U002908, 1999-2002 рр.; "Розробка новітніх механізованих технологій та сільськогосподарських машин, адаптованих до системи точного землеробства", номер державної реєстрації -0102U006962, 2002-2004 рр.; "Удосконалення механізованих процесів виробництва продукції рослинництва з використанням технологій ТЗ", номер державної реєстрації 0103U005652,

початок–2002 р.; "Моделювання адаптивних технологічних процесів місцевизначеного землеробства", номер державної реєстрації - 0103U005909, початок – 2003 р.; "Створення засобів моніторингу агробіологічних параметрів для новітніх технологій виробництва продукції рослинництва" номер державної реєстрації - 0103U004814, початок - 2003р.

Мета досліджень - підвищення ефективності роботи сільськогосподарських машин у технологіях точного землеробства шляхом оптимізації параметрів та режимів функціонування систем дозування і місцевизначеного розподілу матеріалів по площі поля.

Завдання досліджень:

- розробити наукову концепцію реалізації ЗНВ ТМ з високою просторовою точністю і якістю розподілу по площі поля;
- обґрунтувати принципи і побудувати математичну модель процесу формування щільностей розподілу ТМ по площі поля при різних способах його доставки, а також модель механізованих процесів реалізації ЗНВ ТМ;
- розробити математичну модель і алгоритми уточненого та безперервного обрахунку координат місцезнаходження МТА в полі шляхом обробки комплексної навігаційної інформації;
- дослідити математичну модель і провести імітаційне моделювання процесів функціонування комплексного навігаційного обладнання МТА;
- розробити методику побудови систем керування ЗНВ ТМ сільськогосподарських машин, що базуються на аналітичному конструюванні оптимального регулятора за критерієм узагальненої роботи;
- виявити можливість уточненого розрахунку коефіцієнтів закону керування з урахуванням нелінійних ефектів шляхом прямої чисельної оптимізації;
- проаналізувати вплив невизначеності параметрів системи керування нормами внесення ТМ СГМ на якість процесу регулювання і, на підставі цього, розробити способи ідентифікації цих параметрів та адаптивного налагодження регулюючих систем СГМ;
- обґрунтувати та розробити компенсаційний метод реалізації ЗНВ ТМ, а також спроектувати та виготовити експериментальні зразки програмно-апаратних комплексів спеціалізованого обладнання СГМ для його реалізації;
- дослідити ефективність застосування експериментальної системи високоточного розподілу технологічних матеріалів по площі поля на операціях сівби та внесення мінеральних добрив.

Об'єкт досліджень - сільськогосподарські машини та технології для формування заданих змінних норм внесення технологічних матеріалів в системі точного землеробства.

Предмет досліджень - механізовані процеси високоточного дозування і розподілу технологічних матеріалів в місцевизначеному землеробстві.

Методи досліджень. Наукові положення, висновки та рекомендації, що сформульовані в дисертації,

базуються на положеннях системного аналізу, математичному апараті теорії оптимального регулювання, теорії моделювання сигналів та систем керування, теорії навігаційних систем рухомих об'єктів, теорії оптимального оцінювання. Лабораторно-польові дослідження і виробнича перевірка технологій та машин виконувались за допомогою стандартних методик випробування СГМ.

Для виконання аналізу процесів функціонування елементів систем керуючих механізмів для змінних норм внесення ТМ, розроблено ряд спеціальних методик, зокрема методика імітації в лабораторних умовах руху МТА за обставин реального поля під керуванням глобальної системи позиціонування (ГСП) шляхом застосування спеціалізованого програмно-апаратного модуля.

Наукова новизна роботи:

- обґрунтована методологія високоточних дозування і розподілу ТМ сільськогосподарськими машинами в технологіях ТЗ за умов примусової доставки ТМ за індивідуальними технологічними смугами, ширина яких на порядок менша ширини захвату СГМ;
- розроблена методика формування закону керуючої дії дозатора машини-реалізатора з алгоритмом оптимального слідкування з прогнозуванням, що забезпечує високу точність дозування ТМ у відповідності з даними, що містять в собі картограми заданих змінних норм внесення ТМ;
- обґрунтована доцільність запровадження процедур ідентифікації динамічних параметрів та адаптивного налагоджування коефіцієнтів закону керування дозуючих систем машин-реалізаторів, що забезпечує якісне виконання заданого режиму роботи дозатора навіть при наявності збурень у вигляді непередбачених змін основних параметрів;
- визначено склад навігаційного комплексу МТА на базі ГСП, курсо-швидкісної та інерціальної навігаційних підсистем з обробіткою комплексної навігаційної інформації у відповідності до модифікованої процедури калмановської фільтрації з циклічною обробкою компонент вектору спостережень, який дозволяє підвищити точність і інформаційну надійність обчислення кінематичних параметрів руху МТА і дає можливість визначити рух будь-якої з точок СГМ, що, в кінцевому результаті, сприяє виконанню операцій ЗНВ ТМ з високою просторовою точністю;
- запропоновані процедури локально квадратичної апроксимації даних, що надходять від картограми-завдання, а також від датчика інтенсивності вихідного потоку ТМ, які дають можливість реалізації алгоритмів керування з прогнозуванням, згладжування шумових похибок датчика та зменшення впливу його інерційності;
- розроблена методика налагоджування закону керування регулюючих систем дозаторів для виробничих (польових) умов при непередбачених змінах величин параметрів виконавчих органів шляхом використання запропонованих аналітичних апроксимацій та алгоритмів ідентифікації невизначених параметрів, а також з використанням інтерполяції в просторі динамічних параметрів системи;
- розроблено компенсаційний спосіб внесення ТМ, який дозволяє знівелювати рівень старіння місцевизначеної інформації і тим самим підвищити точність реалізації картограми-завдання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- за розробленими методиками та алгоритмами розрахунку оптимальних параметрів спеціалізованого обладнання машин-реалізаторів для технологій ЗНВ ТМ виготовлені експериментальні зразки програмно-апаратних комплексів для посівних машин і машин для внесення мінеральних добрив;
- застосування компенсаційного способу реалізації заданих ЗНВ ТМ на базі розробленого обладнання дало економію близько 25 % мінеральних добрив;
- розроблена методика імітації руху МТА в умовах реального поля під керуванням ГСП для аналізу процесів внесення ТМ в лабораторних умовах, що скоротило витрати на проведення експериментальних досліджень близько на 40 %;
- за отриманими науково-практичними результатами на ВАТ "Хмільниксільмаш" (м. Хмільник, Вінницька обл.) виготовлені експериментальні зразки розподільника мінеральних добрив для технологій ТЗ.

Особистий внесок здобувача. Автор проаналізував та узагальнив сучасний рівень вітчизняних і зарубіжних наукових досягнень за темою дисертації, особисто висунув наукову концепцію, яка покладена в основу дисертаційної роботи, обрав напрям, сформулював мету і основні етапи досліджень. Автором побудована модель формування заданої щільності розподілу ТМ по площі поля при різних способах доставки ТМ до поверхні поля, запропонована методика формування закону керуючої дії дозатора машини-реалізатора з використанням даних, що їх містять в собі картограми заданих норм внесення ТМ та поточні оцінки кінематичних і технологічних параметрів функціонування МТА. Автор, також, розробив і здійснив апробацію компенсаційного способу внесення ТМ, провів роботи з імітаційного моделювання, склав програму і методику експериментальних досліджень.

Забезпечував виконання і проведення експериментальних досліджень, виконував спільно з допоміжним персоналом лабораторні та лабораторно-польові дослідження, здійснював математичну обробку результатів експериментів та їх аналіз.

Апробація роботи. Матеріали теоретичних і експериментальних досліджень, що включені до дисертації, доповідались, обговорювались та отримали позитивну оцінку на: науково-технічній конференції "Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки, (м. Кіровоград, 1997 р.); Міжнародній науково-технічній конференції "100-річчя з дня заснування НАУ. Механізація сільськогосподарського виробництва", (м. Київ, 1998 р.); Міжнародній науково-практичній конференції "Соціально-економічні проблеми сучасного села", (Одеса, 1999 р.); науковому семінарі "Перспективи впровадження технологій ТЗ в с.-г. виробництво", (НАУ, Київ, 14 листопада 2000 р.); Українсько-австрійському аграрному симпозиумі "Україна-Австрія. Сільське господарство: наука і практика", (Чернівці, 14-16 вересня 2000р.); науково-методичній конференції "Комп'ютеризація навчання - проблеми, досвід, перспективи", (Вінниця, ВДАУ, 2001 р.); Міжнародній науково-практичній конференції "Землеробська механіка в рослинництві" (Москва, Росія, 2001 р.); науково-практичній конференції "Проблеми точного землеробства", (ІМЕСГ, с. Глеваха, 2001р.); Міжнародному семінарі "Застосування технологій ТЗ", (ДДАУ, м. Дніпропет-

ровськ, 2001р.); науково-виробничому семінарі "Впровадження технологій ТЗ у виробництво", (ЗАТ "Агросоюз", Дніпропетровська область, квітень 2001р.); Міжнародній науковій конференції "Проблеми механізації с.-г. виробництва", (Луцьк, жовтень 2001р.); Міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми технічного сервісу сільськогосподарської техніки", (ХДТУ, Харків, 6-7 грудня 2001 р.); Міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми застосування технологій ТЗ в АПК", (м. Київ, 4-5 квітня 2002 р.); Міжнародній науково-практичній конференції "Актуальні проблеми сучасного землеробства", (м, Луганськ, 21-23 травня 2003 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції "Механізація і енергетика сільського господарства" MOTROL'03, (Люблін-Київ, 21-23 травня 2003р.); Міжнародній науково-практичній конференції "Еколого-економічні проблеми землеробства", (Суми, 13-15 травня 2003 р.); Міжнародній науково-практичній конференції "Состояние, проблемы и опыт аналитического приборостроения для с.-х. производства", (Санкт-Петербург, Росія, 25-26 травня 2004 р.), Міжнародній науково-технічній конференції "Біокотехнології та біопалива в агропромисловому виробництві", (Київ, 3-4 червня 2004 р.).

Публікації. Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень викладені в 38 друкованих працях та патентах на винаходи, з яких 10 – без співавторів.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, 7 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 187 найменувань і 9 додатків. Обсяг дисертації складає 305 сторінок основного тексту, 213 рисунків, 7 таблиць і 22 сторінки додатків.

ЗМІСТ РОБОТИ

Розділ 1. Сучасний стан механіко-технологічного забезпечення реалізації ЗНВ ТМ. Новітні тенденції керування агробіологічним потенціалом поля беруть свій початок ще від праць М.І. Вавилова, в яких підкреслюється, що знання історії землеробства необхідне для розуміння законів керування процесами в рослинництві сьогодні. На даний момент система точного землеробства (СТЗ) є об'єктом дослідження багатьох учених в різних країнах світу, які проводять теоретичні і практичні дослідження зі збору, аналізу та синтезу місцевизначеної інформації з метою розробки механізованих систем оптимального керування виробництвом продукції рослинництва.

Наприклад, Д. Стаффорд, Д. Річард, Т. Лад (всі США) досліджували процеси механізації місцевизначеного внесення пестицидів, В. Рудолф (США) описав процеси місцевизначеної інжекції поживних речовин в ґрунт, Н. Андерсон та Л. Річенбергер (США) досліджували механізовані операції місцевизначеної сівби зернових культур. В Європі дослідженням технологій ТЗ велику увагу приділяють такі учені, як С. Блекмор (Данія), Г. Ауерхаммер, П. Юршик, М. Деммел (Німеччина), І. Бредлі (Англія) і багато інших.

Для України питання сучасного інформаційного землеробства є порівняно новим. Проте основи побудови механізованого інформаційного землеробства закладені в працях видатних учених в галузі землеробської механіки: Артоболевського І.І., Горячкіна В.П., Желіговського В.А., Летошнєва М.Н., Василенко

П.М., Лур'є А.Б., Гром-Мазнічевського Л.Г., Іофінова С.А., Мартиненко І.І., Крамаренко Л.П., Лучинського М.Д., Маковецького О.А., Драганова Б.Х., Кушнар'ова А.С., Лінника М.К. і багатьох інших. На межі століть академік Погорілий Л.В. розвивав проблеми екофільного землеробства – глобальної системи керування виробництвом сільськогосподарської продукції. Жученко А.А. досліджував питання диференційованого рослинництва, Надикто В.Т. – основи вирощування сільськогосподарських культур з застосуванням сталої технологічної колії. Дуда Г.Г. з Українського НІІ ґрунтознавства та агрохімії в 70-х роках займався побудовою картограм урожайності пшениці. Ґрунтовні дослідження з питань розвитку та удосконалення технологій ТЗ на даний момент проводять такі вчені, як Войтюк Д.Г., Гуков Я.С., Кошовий А.А., Кравчук В.І., Городній М.М., Адамчук В.І. та багато інших.

Надалі показано, що ТЗ є складною механіко-технологічною системою з розгалуженими енергетичними та інформаційними зв'язками. Подана узагальнена схема СТЗ. Зазначено, що для досягнення оптимальних показників при виконанні механізованих технологічних операцій в СТЗ виникає необхідність в керуванні щільностями (нормами і дозами) внесення ТМ - добрив, насіння, пестицидів тощо - в залежності від місця положення МТА в полі під час його роботи. Описані переваги і недоліки та розкрита сутність існуючих методів реалізації ЗНВ ТМ в СТЗ. Для усунення певних недоліків сучасних технологій запропоновано компенсаційний спосіб внесення ТМ.

Компенсаційний спосіб можна розглядати як випадок реалізації заданих планів розподілу ТМ по площі поля у відповідності з карт-технологією з одночасним використанням інформації від датчиків місцевизначених параметрів, що працюють в реальному часі. Цей спосіб дозволяє знівелювати рівень старіння інформації, що закладена в картограмі-завданні на виконання ЗНВ ТМ. Інформація, що надходить від датчиків, необхідна для формування віртуальної картограми ЗНВ ТМ, яка починає "працювати" замість основної картограми-завдання. Процес обрахунку значень параметрів віртуальної картограми заданих норм внесення ТМ ілюструється рис. 1. Показано фрагмент процесу надходження до бортового комп'ютера розрахункового заданого сигналу від датчика місцевизначених параметрів поля з довжиною хвилі L близько 18 метрів при русі МТА вдовж лінії гону S . Одночасно з цим до бортового комп'ютера надходить сигнал, що обраховується у відповідності до розробленого алгоритму, від датчика місцевизначених параметрів, який працює в реальному часі. Між цими сигналами існує нев'язка R до якої висувається "рівень довіри", наприклад - 20 %. Після обчислень, сигнал нев'язки додається до сигналу, що надходить від картограми заданих норм внесення ТМ. В результаті формується компенсаційний сигнал, який служить базою для формування віртуальної картограми заданих норм внесення ТМ.

Високоточна реалізації заданих планів розподілу ТМ по площі поля в даній роботі досягається по трьох концептуальних напрямках (рис. 2). Перехід механізованого с.-г. виробництва до технологій прецизійного керованого внесення ТМ таких, як добрива, пестициди, насіння тощо, можливий за умов проведення комплексу теоретичних та прикладних досліджень з формалізації механізованих процесів ЗНВ ТМ, виконання робіт з аналітичного конструювання оптимальних регулюючих систем для реалізації ЗНВ ТМ, з оп-

тимізації кінематичних параметрів руху МТА по полю, з дослідження компенсаційних способів внесення ТМ на базі виконання комплексу лабораторно-польових експериментальних робіт.

В загальному, проблема покращення ефективності застосування механізованих технологій ЗНВ ТМ є складною поліфакторіальною задачею. На даний момент бракує комплексних досліджень з теорії та методології побудови оптимальних регулюючих систем машин-реалізаторів для високоточного внесення ТМ.

Розділ 2. Формалізація механізованих процесів ЗНВ ТМ. СГМ з обладнанням для технологій ТЗ можна поділити на два принципово різних за критерієм використання геовизначеної інформації класи: машини з системами реєстрації місцевизначених параметрів полів – реєстратори і машини з відтворенням місцевизначеної інформації з метою керування технологічним процесом – реалізатори. До машин-реєстраторів відносяться збиральні машини, технічні засоби польової розвідки, спеціалізовані пересувні інформаційні комплекси тощо. До машин-реалізаторів відносяться переважно машини для внесення ТМ – сівалки, розподільники добрив, обприскувачі тощо. Відповідно до цього, задачі, що їх вирішує спеціалізоване бортове обладнання машин-реєстраторів і машин-реалізаторів, також принципово різні. У першому випадку ставиться задача максимально точної фіксації параметрів робочого середовища і кількісного перебігу режимів технологічного процесу, що виконується, а в другому – максимально точного виконання заздалегідь складеного (для карт-технології), або синтезованого в реальному часі (для сенсор-технології) режиму зміни щільності розподілу ТМ по площі поля. Узагальнена схема класифікації СГМ та обладнання за критерієм використання геовизначеної інформації наведена на рис. 3.

Для машин-реєстраторів характерним є те, що процес запису місцевизначених параметрів є додатковим завданням до основного технологічного процесу, наприклад, при збиранні с.-г. культур. Для машин-реалізаторів навпаки – основною функцією є доставка (примусова або некерована) ТМ до заданої точки поверхні поля в заданій (необхідній) кількості.

З картограми видно, що межі розподілу ТМ змінюються в залежності від початкових умов сходу частинок ТМ з розсіювальних робочих органів та технологічних режимів роботи машини.

Аналіз теоретичних викладок та результатів моделювання показує, що машини-реалізатори з центральним дозатором і некерованою доставкою ТМ не можуть забезпечити задану високу просторову точність розподілу останнього. Причому, при реалізації заданих планів внесення ТМ на субметровому рівні домінуючими факторами стають процеси розсіювання ТМ під час некерованої їх доставки до поверхні поля, а також форма обмежувальної лінії площі миттєвого розподілу ТМ та вид нормованої функція $\varphi(x_{ij}, y_i)$ розподілу ТМ по ширині захвату машини.

Надалі окреслені переваги примусового способу доставки ТМ по технологічних смугах по відношенню до способу транспортування ТМ на задану ширину шляхом некерованої доставки. При цьому показано, що одним з головних чинників, що впливає на формування заданої щільності ТМ в такому випадку, є

довжина лінії траєкторії L_p руху часток по повітропроводу. Зміни щільності розподілу ТМ $q_0(t)$ в функції прирощення L_p довжини лінії траєкторії руху часток ТМ L_p мають вигляд:

У відповідності до рівняння (4) побудована (в перерахунку на гектар) залежність норми розподілу ТМ при його примусовому транспортуванні по повітропроводу змінної довжини (рис. 11).

З графіка видно, що при зміні довжини лінії траєкторії руху часток ТМ з 2 до 16 м (що характерно, наприклад, для машин-реалізаторів з шириною захвату до 30 метрів), миттєва норма внесення ТМ змінюється від 440 до 585 кг/га, що призводить до неприпустимих порушень якості виконання технологічних операцій ЗНВ ТМ.

Подальше удосконалення процесів реалізації заданих планів розподілу ТМ по площі поля з високою просторовою точністю і якістю пов'язане з вирішенням питань синтезу узагальненої математичної моделі процесу формування заданих щільностей розподілу ТМ.

В основу моделі внесення ТМ на певну площу поля покладена концепція формування щільності розподілу ТМ під впливом двох складових його руху: переносної складової разом з СГМ та відносної - під час руху ТМ по робочих органах СГМ.

Взаємозв'язок елементів системи регулювання вихідної інтенсивності (або кінцевої щільності) потоку ТМ представлений на схемі (рис. 13).

Для подальшого аналізу процесів формування заданих ЗНВ ТМ за умов високоточного дозування і розподілу по площі внесення, необхідно визначити кінематичні режими руху МТА по полю та структуру навігаційної системи МТА.

Розділ 3. Навігаційні системи МТА в технологіях точного землеробства. Оцінка кінематичних параметрів робочого руху МТА є одним з визначальних впливових факторів формування заданого закону розподілу ТМ по площі поля. На сьогодні існують широкі технічні можливості для визначення параметрів руху СГМ при їх роботі за технологіями ТЗ. Для ефективного використання цих технічних можливостей, а також для розробки нових програмно-апаратних комплексів визначення координат МТА в полі обґрунтовані раціональні моделі, методики та алгоритми обробки вимірювальної інформації, що надходить від спеціалізованого обладнання, а також розроблений інструментарій аналізу потенційних можливостей як простих (однокомпонентних), так і комплексних (багатокомпонентних) навігаційних систем.

Для виконання польових робіт в рослинництві з високою просторовою точністю запропонована комплексна навігаційна система, що складається з ДГСП, інерціальної навігаційної (ІН) та курсо-швидкісної (КШ) підсистем. Інтеграція цих підсистем необхідна для забезпечення працездатності систем керування ЗНВ ТМ на підвищених робочих швидкостях широкозахватних МТА і покращення показників інформаційної надійності функціонування машин в умовах порушення роботи будь-якої з означених підсистем. Задача аналізу процесу функціонування комплексної системи зводиться до пошуку найкращих оцінок кінематичного режиму руху МТА за умов наявності надлишкової інформації при дії на комплекс системати-

чних, випадкових та шумових складових збурень і при забезпеченні обраного рівня усталеності заданого кінематичного режиму роботи МТА за умов ідентифікації інформаційних відмов підсистем і системи в цілому.

Вектор-стовпець параметрів, що оцінюються, має вигляд:

Визначені рівняння спостережень для ГСП, ІН та КШ підсистем дозволили знайти об'єднане рівняння спостережень і виконати пошук оптимальних оцінок вектору стану \bar{X}_i дискретної системи (6). При цьому використано модифікований алгоритм фільтру Калмана, так званого "розщепленого" типу з послідовною скалярною обробкою компонент вектору спостережень на кожному кроці фіксації спостережень.

Для оперативної ідентифікації відмов навігаційної системи застосована процедура перевірки працездатності кожної з навігаційних підсистем L шляхом аналізу співвідношення:

Таким чином, якщо в процесі функціонування навігаційного обладнання МТА буде з'ясовано, що умова (8) не виконується, то відповідна підсистема вважається такою, що відмовила і її підвектор спостережень з процедури циклічної обробки виключається.

Для алгоритму комплексної обробки навігаційної інформації про рух МТА проведене імітаційне математичне моделювання. Моделювання роботи навігаційного комплексу МТА проводилось за методикою, що у вигляді структурної схеми взаємодії моделей окремих навігаційних підсистем, представлена на рис. 14.

В результаті проведення моделювання, отримано цінну інформацію про поведінку комплексу взагалі і окремих підсистем зокрема. Наприклад, на рисунку 15 показано процес обрахунку траєкторії руху МТА при порушенні на 15 секунд режиму роботи ДГСП. В результаті цього відбувається збій в роботі навігаційної системи. Варто зазначити, що на протязі 6 секунд (від т. А до т. В) комплекс, за рахунок роботи інших навігаційних підсистем, підтримує нормальну працездатність, але надалі значення обчислених координат виходять за межі припустимих допусків на бокові відхилення траєкторії руху МТА і відбувається порушення роботи директорного укажчика навігаційної системи. В точці С (рис. 15) відбувається поновлення працездатності ДГСП і через близько 2.5 секунди комплекс переходить в штатний режим обчислення координат.

При відсутності відмов підсистем, процес обчислення координат в полі відбувається із високим рівнем точності (рис. 16). Середньоквадратичне відхилення бокових коливань МТА склало 0.11 м, в той час як, наприклад, для попереднього випадку цей параметр дорівнює 1.28 м.

Надалі показано, що відключення процедури ідентифікації відмов КШ та ІН підсистем призводить до швидкого порушення технологічного процесу роботи МТА. Пов'язано це, в першу чергу, з тим, що не всі дані приймають участь в обрахунках і, як результат, точність роботи системи погіршується.

Доведено, що підвищити точність обчислення координат МТА в полі і зберегти процес реалізації ЗНВ ТМ при порушенні роботи однієї з навігаційних підсистем можливо шляхом застосування комплексного навігаційного обладнання та аналізу поведінки підсистем. Наявність в складі комплексної навігаційної системи ІН підсистеми дає можливість описати рух будь-якої з точок СГМ, що необхідно для виконання операцій ЗНВ ТМ з високою просторовою точністю, а також підвищити частоту оновлення даних від ком-

плексної навігаційної системи. Обробку комплексної навігаційної інформації доцільно проводити з використанням процедури калмановської фільтрації "розщепленого" типу з циклічною обробкою компонент вектору спостережень, що дає підвищену усталеність процесу і має порівняно просту реалізацію.

Для нормального функціонування комплексних (багатокомпонентних) навігаційних систем обов'язково треба проводити процедуру ідентифікації відмов навігаційних підсистем і відповідні реконфігурації алгоритму обробки навігаційних даних.

Розділ 4. Побудова оптимальних регулюючих систем для реалізації ЗНВ ТМ. Під час роботи машина-реалізатор характеризується певним складом та величиною параметрів його складових елементів, а динаміка його поведінки в загальному випадку описується нелінійним векторним рівнянням виду:

З метою вирішення задачі аналітичного конструювання оптимального регулятора машини-реалізатора, був проведений аналіз існуючих алгоритмів, а саме: алгоритму побудови оптимальної по Летову-Калману слідкуючої системи, слідкуючої системи по Красовському О.А., а також алгоритм побудови оптимальних систем керування в прямій постановці задачі управління з прогнозуванням. Аналіз показав, що алгоритм оптимального регулювання слідкуючої системи по Красовському О.А. є найбільш прийнятним, оскільки нема потреби інтегрувати матричне рівняння Ріккати.

Для задачі оптимального слідкування в постановці Красовського О.А. функціонал з ковзним інтервалом оптимізації $\square T$ має вид:

Регулятор норми внесень ТМ машини-реалізатора обрано у вигляді лінійної стаціонарної моделі. В такому випадку точному оптимальному алгоритму слідкування у відповідності до функціоналу (10) відповідає формула:

Можливість застосування алгоритму оптимального слідкування у відповідності до виразу (10) розглянута для випадку функціонування пневматичної висівної системи зернової сівалки для технологій ЗНВ ТМ. Блок-схема керування нормою висіву насіння показана на рис. 17.

Модель динаміки процесу керування інтенсивністю потоку насіння описується векторним диференціальним рівнянням виду:

Слід зазначити, що якість виконання заданого режиму функціонування машини-реалізатора певною мірою визначається тим, наскільки точно співпадають взяті з картограми-завдання значення заданих норм внесення ТМ з такими, що дійсно необхідні на кожний конкретний момент місцезнаходження МТА в полі. Залежить це від кроку періодизації даних в електронній цифровій картограмі-завданні і конкретних значень координат МТА в полі. Для уточнення даних застосована процедура локально-квадратичної апроксимації, що дало змогу отримувати дані з картограми-завдання точно для тих координат, де у цю мить знаходиться МТА. Якщо залежність $\delta_n [\hat{S}(\tau)]$ апроксимувати квадратичною функцією виду:

Проведення оптимального керування інтенсивністю вихідного потоку ТМ при роботі машини-реалізатора пов'язано з необхідністю отримання оцінок фактичної $\widehat{\mu}(t)$ інтенсивності вихідного потоку

ТМ (див. рис. 17) та швидкості зміни $\widehat{\mu}'(t)$ цієї інтенсивності. Для цього розроблена методика розрахунку таких оцінок з використанням алгоритму апроксимації показників датчика поліномом другого порядку на ковзному інтервалі часу/

Як бачимо, вираз для оптимальної керуючої дії регулятора норми внесення ТМ базується на даних, що несуть в собі картограми заданих норм внесення ТМ по біжучим оцінкам кінематичних параметрів руху МТА та кута курсу, а також на даних з реєстрації інформації про інтенсивність вихідного потоку ТМ і швидкості руху МТА та його координат в площі сільськогосподарського поля. Частота відновлення параметрів апроксимації може бути прийнята такою, що дорівнює частоті відновлення керуючої дії.

Ефективність застосування розробленої методики оптимізації закону керуючої дії дозуючих систем машин-реалізаторів показана на прикладі роботи розподільника мінеральних добрив МВД-900 на швидкості 2 м/с (рис. 18). Величина середньоквадратичних відхилень SD різниці між дійсною нормою внесення мінеральних добрив та заданою склала 3.7 кг/га, що майже на порядок менше по відношенню до варіанту з виключеним модулем оптимізації, коли величина SD склала 26 кг/га. Це указує на доцільність застосування операції оптимізації закону керування дозаторами машин-реалізаторів навіть за умов наявності збурень у вигляді систематичної та шумової похибок вимірювань.

Всі наведені результати аналітичних досліджень можуть бути застосовані до будь-яких сільськогосподарських машин для внесення технологічних матеріалів (машин-реалізаторів), наприклад, для обприскувачів, сівалок, машин для внесення агрохімікатів, концентрованих біологічних речовин тощо. Це підкреслює універсальність розробленої методики аналітичного і експериментального моделювання процесів оптимізації динамічних параметрів дозуючих систем машин-реалізаторів.

Розділ 5. Адаптивне керування потоками ТМ. Природні умови виконання механізованих технологічних операцій в полі характеризуються широким діапазоном перебігу статистичних характеристик факторів збурення. Параметри, що характеризують систему, можуть змінюватись непередбаченим шляхом. Наприклад, злипання вихідного отвору дозатора мінеральних добрив приводить до зміни такого параметру системи, як коефіцієнт підсилення і, як результат, до недозвеного порушення процесу виконання поставленого завдання. В таких випадках необхідно застосовувати принципи адаптації.

В розділі проаналізовані основні принципи побудови адаптивних технічних систем і зроблений висновок про доцільність застосування безпошукової адаптивної САК з параметричною ідентифікацією об'єкту управління в режимі нормального функціонування. В такому випадку, дозуючу систему машини-реалізатора можна представити як варіант САК з оптимальним по Красовському О.А. законом керування (рис. 19).

Як було зазначено вище, для згладжування шумової складової погрішності датчика інтенсивності вихідного потоку ТМ та компенсації інерційних властивостей його роботи вигідно застосовувати локально-квадратичну апроксимація показчиків датчика на ковзному інтервалі часу. Такий прийом дозволив

отримати згладжені аналітичні оцінки значень інтенсивності вихідного потоку ТМ $\hat{\mu}(t)$ та перших двох похідних від часу/

Рівняння спостереження для вирішення задачі ідентифікації параметрів об'єкту керування представлено у вигляді:

На рис. 21 представлені лінії змін вихідних та розрахункових оптимальних значень коефіцієнта P_2 . Аналіз цього графіка (а також аналогічних для інших коефіцієнтів) показує, що розрахункові значення коефіцієнтів закону керування близько розташовані до вихідних оптимальних значень цих коефіцієнтів. Відносна величина середнього квадратичного відхилення розрахункових значень коефіцієнтів від вихідних не перевищувала 2,2%. Значення середнього квадратичного відхилення нев'язки апроксимації по 26 вузлам для будь якого з коефіцієнтів закону керування не перевищує 0,21 г/м, а математичне сподівання помилки апроксимації для кожного з коефіцієнтів по всім 26 вузлам не перевищує 0.05 г/м.

Розроблена, також, методика визначення оптимальних значень коефіцієнтів закону керування шляхом інтерполяції уточнених оптимальних значень коефіцієнтів для біжучих значень оцінок динамічних параметрів системи, що дозволяє рекомендувати її до практичного застосування як простий і ефективний інструментарій якісного виконання заданого технологічного процесу в виробничих умовах.

Вплив різних факторів на якість функціонування запропонованої адаптивної системи регулювання для машин-реалізаторів з відмінними варіантами алгоритмів керування досліджено за допомогою імітаційного математичного моделювання. Метою імітаційного моделювання було визначення можливостей адаптивних систем до мінімізації впливу непередбачених змін основних параметрів дозаторів машин-реалізаторів - сталої часу T , коефіцієнту затухання ξ , коефіцієнту підсилення K тощо - на виконання заданого режиму роботи дозатора при наявності систематичних та випадкових похибок вимірювальних та контролюючих елементів.

Імітаційне моделювання проведено на прикладі функціонування імпульсної пневматичної висівної системи. На рис. 22 показані графіки розрахункової (фактичної) і заданої норми висіву насіння за умов, коли частота зміни заданих норм сівби складає 0.6 м^{-1} , а модулі ідентифікації параметрів системи та адаптації виключені. Коли на 4-тій секунді експерименту змінюються (в силу непередбачених причин) фактичні значення параметрів системи, а саме: ξ_f змінюється від 0.4 до 0.2, а T_f - від 0.9 до 0.8 с то відбуваються порушення в роботі системи регулювання. Величина середньоквадратичних відхилень SD параметру $\square\delta$ для даного режиму проведення імітаційного моделювання склала 0.67 г/м. У той же час, аналіз впливу фактору зміни розрахункових значень параметрів системи для випадку коли модулі ідентифікації та адаптації динамічних параметрів системи включені (рис. 23) показує, що величина SD параметру $\square\delta$ складає 0.26 г/м. Це свідчить про значне покращення процесу виконання заданої картограми сівби навіть при наявності непередбачених збурень у вигляді зміни величин основних динамічних параметрів системи.

Розділ 6. Експериментальні дослідження процесів формування і руху технологічних та інформаційних потоків. Для збору, накопичення та аналізу баз місцевизначених даних, виявлення взаємозв'язків між окремими факторами, що впливають на розрахунок заданих норм внесення ТМ по площі поля, для обґрунтування основних концептуальних положень та перевірки теоретичних висновків тощо, була проведена низка експериментальних лабораторних, лабораторно-польових і виробничих досліджень по напрямкам: навігаційні системи МТА, обладнання реєстрації місцевизначених параметрів с.-г. полів, моніторинг врожайності, контроль фітосанітарного стану сільгоспугідь, програмно-апаратні комплекси керування ЗНВ ТМ з високою просторовою точністю і програмне забезпечення до них, контроль роботи запропонованого обладнання керування нормами внесення ТМ, реалізація ЗНВ ТМ з високою просторовою точністю.

Для виконання цих робіт була розроблена і виготовлена серія спеціалізованого обладнання та контрольно-вимірювальних приладів. Наприклад, на рис. 25 показаний один з варіантів виконання контролера для реєстрації польових даних в режимах "карта" і "точка".

Була розроблена, також, методика і виконана робота зі збору та аналізу місцевизначених характеристик ґрунту, моніторингу урожайності с.-г. культур, контролю фітосанітарного стану полів, вибору алгоритмів комп'ютерної обробки геовизначених даних, побудови картограм місцевизначених параметрів поля, розроблення алгоритмів складання картограм заданих норм внесення ТМ. Отримані, під час виконання цих робіт, дані лягли в основу інформаційної бази для обґрунтування розроблених математичних моделей та проведення імітаційного моделювання.

На рис. 26 представлена (як приклад) картограма (розміри поля - в метрах) урожайності пшениці на полі № 6 корпорації "Інтерагросистема" Менського району Чернігівської області, 2000 р.

Аналіз картограми свідчить про нерівномірний розподіл врожайності по площі поля. Рівень врожайності змінюється близько в чотири рази при середній - 36,2 ц/га. Статистичний обробіток масивів даних з врожайності сільськогосподарських культур по Київській, Черкаській та Чернігівській областях за період 1997-2002 років дозволяє зробити висновок, що рівень цього параметру варіює в широких межах і зміни впливового фактору можливо описати гармонічними функціями з довжиною хвилі від 1 до 12 м.

Здійснений аналіз перебігу інших місцевизначених параметрів полів. Зокрема, на протязі 2001-2004 років виконувався аналіз фітосанітарного стану експериментального поля навчально-дослідного господарства "Великоснітинське" Фастівського району Київської області з метою визначення статистичних показників перебігу впливового фактору. В загальному, на підставі побудови і аналізу картограм рівня шкодочинності полів різних регіонів України зроблено висновок про можливість зменшити витрати інсектицидів до 50% і водночас покращити екологічну ситуацію.

Обов'язковим елементом спеціалізованого обладнання для МТА є система визначення координат МТА в полі. Проведені експериментальні дослідження спроектованого та виготовленого комплексного навігаційного обладнання, які показали, що величина середньоквадратичного відхилення координат обрахо-

ваної траєкторії руху експериментального МТА від координат реальної траєкторії його руху не перевищувала 0,34 метри, що дозволило проводити операції ЗНВ ТМ з субметровою точністю.

Кореляційний аналіз накопичених за 1998-2004 рр. масивів місцевизначеними даних полів в різних регіонах України показав, що між окремими параметрами існує високий рівень зв'язку. Наприклад, на рис. 27 представлена взаємна кореляційна функція параметрів "азот-урожайність" експериментального поля в господарстві "Великоснітинське". Аналіз графіка показує наявність тісного взаємозв'язку цих величин. Коефіцієнт кореляції набуває найбільшого значення (0.53) при нульовому зсуві. Графік має симетричний, відносно нульового зсуву, вигляд, що є важливим фактом для синтезу картограм-завдань на виконання ЗНВ ТМ. Спектральний аналіз цього і інших масивів даних з варіювання рівня поживних речовин в ґрунті показав, що максимуми спектральних щільностей зміни впливових факторів по площі поля приходяться на довжину хвилі близько 1-3 метрів.

Розділ 7. Лабораторно-польові дослідження з реалізації ЗНВ ТМ. Проведені лабораторно-польові дослідження ефективності застосування експериментального обладнання, що розроблене на базі запропонованих методик побудови оптимальних дозуючих системам машин-реалізаторів для формування заданої щільності розподілу ТМ по площі поля. При проведенні досліджень використовувався навігаційний комплекс, що по складу, можливостям та параметрам відповідав умовам, викладеним в розділі 3.

Алгоритм оптимізації закону керування дозуючими системами машин-реалізаторів виконувався за методикою та рекомендаціями розділів 4 і 5. Дослідження проводились на операціях сівби зернових культур та внесення мінеральних добрив.

На рис. 28 показані криві (для 3-х проходів агрегату) зміни дійсної норми сівби (в перерахунку в кг/га) в залежності від зміни заданої норми висіву насіння по довжині гону L. Ці криві характеризують роботу висівної системи з обладнанням для ЗНВ ТМ і показують принципову працездатність системи автоматичного керування нормою сівби, а також стабільність виконання заданого режиму роботи. Відхилення дійсної норми висіву насіння від заданої не перевищували 9-11 %.

Дослідження з реалізації ЗНВ мінеральних добрив проводились удосконаленою машиною на базі розподільника МВД-900 в агрегаті з трактором МТЗ-80 (рис. 29). В склад спеціалізованого обладнання входив бортовий комп'ютер, який дозволяв виконувати всі необхідні функції з керування режимами роботи дозатора розподільника добрив.

Один з прикладів реалізації картограми заданих доз внесення добрив представлений у вигляді відповідних графіків на рис. 30. Експеримент проводився на дослідному полі господарства "Великоснітинське" на загальній довжині гону 880 (2x440) метрів. Аналіз графіків показує, що відхилення дійсної інтенсивності подачі потоку добрив до розкидних дисків від заданої для обраних кінематичних режимів роботи МТА не перевищує 6 %, що свідчить про високу точність реалізації заданого плану внесення добрив.

При дослідженні процесів функціонування МТА для внесення мінеральних добрив за компенсаційною технологією вирішувалась задача використання інформації, що надходить від датчика електропро-

відних характеристик ґрунту. Ця інформація використовувалась для формування віртуальної картограми реального часу.

На рис. 31 показані криві зміни рівня сигналу, що надходив від компенсаційного датчика. Цей сигнал порівнювався з розрахунковим значенням сигналу для цього датчика і оброблявся у відповідності з розробленою (розділ 1) методикою. В результаті визначалися необхідні значення інтенсивності подачі потоку добрив до розкидних дисків розподільника МВД-900 для формування віртуальної картограми заданих норм внесення добрив. Досліди проводились на експериментальній ділянці поля на залізковій довжині гону 600 метрів при швидкості руху МТА 10.8 км/год.

Вигляд графіка інтенсивності подачі добрив до розкидних дисків (рис. 31) свідчить про високу якість функціонування експериментального агрегату. Як видно, сигнал від компенсаційного датчика також впливає на процес виконання завдання. При цьому, в певних місцях де сигнал від компенсаційного датчика позитивно корелюється з сигналом, що надходить від картограми заданих доз внесення, амплітуда дійсних доз внесення добрив збільшується – зона "В" на рис. 31, а в окремих випадках – зменшується (зона "А").

Ефективність адаптивно-компенсаційного способу ЗНВ ТМ перевірялась на операціях внесення мінеральних добрив на полях господарств Київської та Чернігівської областей. На рис. 32 (зліва) показана картограма врожайності ячменю в сезоні 1999 року на полі № 2 господарства "Великоснітинське" з площею 38 гектарів із середньою врожайністю 31.2 ц/га. По даних картограми врожайності, а також за даними рівня наявності поживних елементів в ґрунті цього поля, була побудована картограма внесення комплексних мінеральних добрив (рис. 32, справа) з дозами внесення від 200 до 400 кг/га. Картограма була реалізована за алгоритмом компенсаційної технології агрегатом у складі трактора МТЗ-80 та розподільника добрив МВД-900 на швидкості руху МТА 11.4 км/год. Економічний ефект для цього варіанту реалізації заданої картограми доз внесення добрив склав близько 96 грн/га.

Аналогічні дослідження в сезоні 2000 року проводилась на двох полях корпорації "Інтерагросистема", Менського району, Чернігівської області площею 37.4 та 16 га. За рахунок забезпечення оптимальної ефективності використання добрив був отриманий економічний ефект на рівні 73 грн/га та 90 грн/га відповідно.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Досягти високої точності реалізації заданих планів внесення ТМ можливо шляхом примусової доставки ТМ за індивідуальними технологічними смугами, ширина яких на порядок менша ширини захвату СГМ, шляхом оптимізації закону керуючої дії регулятора норми внесення ТМ, а також застосуванням комплексного навігаційного обладнання і компенсаційної технології.

2. Будувати системи керування нормами внесення ТМ для сільськогосподарських машин доцільно шляхом застосування розробленої методики, що базується на задачі управління з прогнозуванням і використанням процедури локально квадратичної апроксимації даних по вихідному потоку ТМ, а також з ком-

плексною обробкою навігаційної інформації з використанням модифікованої процедури калмановської фільтрації "розщепленого" типу з циклічною обробкою компонент вектору спостережень.

3. Ефективну навігаційну систему МТА можна побудувати на базі глобальної супутникової системи, курсо-швидкісної та інерціальної навігаційних підсистем. Це дозволяє підвищити точність обчислення кінематичних параметрів МТА, визначити рух будь-якої з точок СГМ і зберегти працездатність навігаційної системи при відмовах підсистем. Для усталеного функціонування комплексної навігаційної системи необхідно використовувати запропоновану процедуру ідентифікації відмов навігаційних підсистем і реконфігурації алгоритму обробки навігаційної інформації.

4. Використання запропонованої методики оптимізації коефіцієнтів закону керування дозатором з включенням процедур ідентифікації та адаптації, що побудовані на базі безпошукових адаптивних САК, забезпечує виконання заданого режиму роботи дозуючих систем СГМ навіть при наявності збурень у вигляді непередбачених змін основних параметрів системи.

5. Адаптивне налагоджування закону керування дозуючих систем машин-реалізаторів у виробничих (польових) умовах при непередбачених змінах величин параметрів виконавчих органів доцільно проводити шляхом використання запропонованих аналітичних апроксимацій або шляхом інтерполяції в просторі динамічних параметрів системи.

6. Лабораторно-польові дослідження експериментального МТА при застосуванні комплексного навігаційного обладнання показали, що величина середньоквадратичного відхилення координат обчисленої траєкторії руху МТА від реальної траєкторії склала 0,34 м, що дозволяє проводити операції ЗНВ ТМ з субметровою просторовою точністю.

7. Обробка масивів даних з врожайності сільськогосподарських культур на полях господарств Київської, Черкаської та Чернігівської областей за період 1997-2002 роки показує, що цей параметр змінюється в широких межах – до 400 %. Характер варіювання врожайності можна описати гармонічними функціями з періодом, що відповідає довжині хвилі від 1 до 12 метрів. Статистичний аналіз масивів польових місцевизначених даних свідчить, що максимуми спектральних щільностей зміни впливових факторів по площі поля припадають на довжину хвилі в межах 1-3 метри.

8. Просторова точність реалізації відомих на сьогодні технологій ЗНВ ТМ відбувається на макрорівні, з довжиною хвилі зміни впливового фактору в межах 18-25 м, у той же час, за результатами аналізу статистичних характеристик місцевизначених польових параметрів впливає, що необхідно реалізовувати технології ЗНВ ТМ з субметровою просторовою точністю як за довжиною гону, так і за шириною захвату МТА.

9. За отриманими науково-практичними результатами на ВАТ "Хмільниксільмаш" (м. Хмільник, Вінницька обл.) виготовлені експериментальні зразки розподільників мінеральних добрив для технологій ТЗ. При застосуванні компенсаційного способу внесення ТМ машиною зі спеціалізованим обладнанням ЗНВ

ТМ на трьох дослідних полях площею 38, 37.4 та 16 га досягнута економічна ефективність на рівні 96, 73 та 90 грн/га відповідно.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових виданнях

1. Аніскевич Л.В., Гаврилюк Г.Р., Волянський М.С. Про застосування машин в системі точного землеробства // Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки. - Кіровоград: КІСМ. - 1997. - С. 8-12. (Здобувачем висунута концепція і розроблені положення застосування СГМ в СТЗ).
2. Аніскевич Л.В. Елементи теоретичного обґрунтування системи точного землеробства. // Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки. В. 2. - Кіровоград: КІСМ. - 1998. - С. 184-189.
3. Аніскевич Л.В., Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р., Волянський М.С. Система точного землеробства. // Механізація с.-г. виробництва. – К.: НАУ. - 1998. - Т.IV. - С.150-153. (Поставлена проблема застосування технологій ТЗ в агропромисловому комплексі України).
4. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Гаврилюк Г.Р., Волянський М.С. Методи реалізації системи точного землеробства // Науковий вісник НАУ. - К., 1998. - В. 9. - С. 67-69. (Здобувач дав аналіз існуючих методів застосування системи точного землеробства).
5. Аніскевич Л.В. Сенсор-технологія в точному землеробстві // Науковий вісник НАУ. - К.: НАУ. - 1998. - В. 9. - С. 70-72.
6. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Гаврилюк Г.Р. Аспекти системи точного землеробства // Аграрний вісник Причорномор'я. – Одеса, 1999. - В. 3 (6). - С. 497-501. (Здобувачем показані напрями застосування механізованих технологій точного землеробства).
7. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Гаврилюк Г.Р., Волянський М.С. Терміни точного землеробства // Техніка АПК. - 1999. - № 5. - С. 29-30. (Здобувачем, на рівні 70 %, напрацьовані україномовні визначення термінів точного землеробства).
8. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В. Керування технологічними потоками в системі точного землеробства // Техніка АПК. - 1999. - № 6-7. - С. 42-43. (Розроблена модель і структура взаємодії технологічних та інформаційних потоків в СТЗ).
9. D.G.Wojtiuk, L.W.Aniskewitsch, M.A.Shostak Perspektiven der einfьhrung der prdzisen agrikultur in der Ukraine. Ukraine - Osterreich. III. Symposium. Ukraine-Osterreich. Landwirtschaft // Wissenschaft und Praxis. Tschernivci, 14-16 September, 2000. (Подана мета та задачі впровадження технологій точного землеробства в Україні).
10. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р., Аніскевич Л.В., Волянський М.С. Побудова картограм поживних речовин у ґрунті з використанням супутникової навігаційної системи // Механізація сільськогосподарського

виробництва - К.: НАУ. - 2000. - Т. IX. - С. 37-40. (Здобувачем розроблена методика побудови картограм поживних речовин у ґрунті).

11. Войтюк Д.Г., Вигера С.М., Аніскевич Л.В. Точне землеробство. Яке місце в ньому відводиться захисту рослин // Захист рослин. - 2000. - № 8. - С. 25-26. (Здобувачем сформульовані основні задачі механізованих технологій захисту рослин в ТЗ).
12. Аніскевич Л.В., Гаврилюк Г.Р. До впровадження системи точного землеробства // Механізація с.-г. виробництва, - К.: НАУ. - 2000. - Т. IX. - С. 128 -130. (Здобувачем показані специфічні моменти використання механізованих технологій ТЗ).
13. Кравчук В.І., Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Баранов Г.Л. Місцевизначені технології в системі точного землеробства // Науковий вісник НАУ. - К., 2000. - № 29, - С. 194-201. (Здобувачем розроблена графічна модель застосування змінних норм внесення ТМ, показані напрями реалізації ЗНВ ТМ).
14. Аніскевич Л.В. Місцевизначене керування технологічними процесами с.-г. машин // Механізація сільськогосподарського виробництва - К.: НАУ. - 2000. - Т. IX. - С. 43-46.
15. Аніскевич Л.В. Аналіз місцевизначеної інформації в системі точного землеробства // Науковий вісник НАУ. - К.: НАУ. - 2000. - Т. 33. - С. 139-145.
16. Аніскевич Л.В. Тенденції та шляхи розвитку машин для внесення технологічних матеріалів // Вісник ХДТУСГ "Механізація с.-г. виробництва". - Харків, 2000 - В. 1 - С. 130-133.
17. Аніскевич Л.В. Модель функціонування посівної машини в СТЗ // Механизация производственных процессов аграрных предприятий". - Керчь: КМТИ. - 2001. - В.1 - С. 112-118.
18. Анискевич Л.В. Формализация механизированных процессов переменных норм внесения технологических материалов в СТЗ // Машинная технология для производства зерновых культур. - М.: ВИМ. - 2001. Т.3, ч. 2. - С. 238-241.
19. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Гаврилюк Г.Р., Ямков О.В. До проблеми керування агробіологічним потенціалом поля в технологіях точного землеробства // Механізація сільського господарства. - К.: НАУ. - 2001. - Т. X. - С. 39-43. (Розкрита сутність взаємозв'язків місцевизначених параметрів поля з його агробіологічним потенціалом).
20. Войтюк Д.Г., Вигера С.М., Аніскевич Л.В., Косолап М.С. Стратегія захисту рослин в системі точного землеробства // Зб. наук. пр. ЛДАУ. - Львів: ЛДАУ. - 2001. - т.2. - С. 236-241. (Здобувачем зібрані дані та побудовані картограми фітосанітарного стану експериментального поля).
21. Аніскевич Л.В. Технологія компенсаційних внесень технологічних матеріалів в СТЗ // Механізація с.-г. виробництва. - К.: НАУ. - 2002. Т. XI. - С. 30-43.
22. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В. Агротехнічні аспекти застосування змінних норм внесення технологічних матеріалів // Механізація с.-г. виробництва. - К.: НАУ. - 2002. - Т. XI. - С. 44-49. (Здобувачем розроблена концепція застосування змінних норм внесення технологічних матеріалів в умовах механізованого рослинництва України).

23. Войтюк Д.Г., Вигера С.М., Аніскевич Л.В., Волянський М.С. Моніторинг фітосанітарного стану поля в системі точного землеробства // *Механізація с.-г. виробництва*. - К.: НАУ. - 2002. - Т. XI. - С. 76-80. (Здобувачем зібрані польові дані та побудовані картограми фітосанітарного стану експериментального поля).
24. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Волянський М.С., Вигера С.М. Моніторинг комах-фітофагів пшениці в СТЗ // *Науковий вісник НАУ*. - К., 2002. - В. 53. - С. 31-35. (Здобувачем, за допомогою розробленого обладнання, зібрані польові місцевизначені дані та побудовані картограми фітосанітарного стану поля).
25. Вигера С.М., Аніскевич Л.В. Агроєкологічні аспекти системи захисту рослин в системі точного землеробства // *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. - Миколаїв: МДАУ. - 2003. - В. 3 (23), т.2. - С. 8-13. (Здобувачем розроблена концепція проведення захисту рослин в системі точного землеробства).
26. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Гаврилюк Г.Р. Структура обладнання машин для проведення сівби зі змінними нормами // *Механізація і енергетика сільського господарства*. - К.: НАУ. - 2003. - Т. 6. - С. 9-17. (Здобувачем розроблена схема та перелік необхідного обладнання для проведення сівби зі змінними нормами.).
27. Dubrovin V., Vojtjuk D., Aniskevych L. Farm Mechanization Development in Ukraine // *Proceedings of 3rd Research and Development conference of Central-and-Eastern European Institutes of Agricultural Engineering*. - Hungary, 2003. - P. 59-66. (Здобувачем розроблена математична модель).
28. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В. Місцевизначене внесення мінеральних добрив // *Вісник ХДТУСГ "Механізація с.-г. виробництва"*. - Харків, 2003. - В. 20. - С. 249-255. (Здобувачем розроблена математична модель та проведене імітаційне моделювання місцевизначеного внесення мінеральних добрив).
29. Гаврилюк Г.Р., Аніскевич Л.В. Експериментальні дослідження реалізації змінних норм висіву дозуючими системами сівалок для технологій ТЗ // *Вісник ХДТУСГ "Механізація сільськогосподарського виробництва"*. - Харків, 2003. - В. 21. - С. 174-180. (Здобувачем проведені експериментальні дослідження перебігу перехідних процесів в роботі дозуючих систем зернових сівалок з використанням засобів автоматизованого керування нормами висіву насіння зернових культур).
30. Карпусь О.Т., Аніскевич Л.В., Баранов Г.Л. Шляхи покращення рівномірності розподілу рідини при роботі мобільних обприскувачів за технологіями точного землеробства // *Механізація производ. проц. рыбного хоз. пром. и аграрных предприятий*. - Керчь: КМТИ. - 2003. - В. 5. - С. 111-117. (Здобувачем розроблена методика побудови спеціалізованого обладнання для обприскувачів).
31. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Адамчук В.І. Сучасні технології керування енергетичним потенціалом с.-г. поля // *Науковий вісник НАУ - К.*, 2004. - № 73, ч. 1, - С. 222-229. (Висвітлені питання методики керування енергетичним потенціалом с.-г. поля).

Авторські свідоцтва і патенти України

32. Аніскевич Л.В., Бернхардт Г., Войтюк Д.Г. та ін. Висівна система сівалки для точного землеробства. Патент України № 29525. Опубл. 15.11.2000. Бюл. № 6. (Рівень участі здобувача становить 70 %).

33. Аніскевич Л.В. Гаврилюк Г.Р. Волянський М.С., Ямков О.В. Висівний апарат. Патент України № 32766 А. Опубл. 15.02.2001. Бюл. № 1. (Участь здобувача - 60 %).
34. Аніскевич Л.В. Спосіб внесення технологічних матеріалів в ґрунт "ЗЯНВ". Патент України № 40261А. Опубл. 16.07.2001. Бюл. № 6.
35. Аніскевич Л.В. Пневмоімпульсний висівний апарат сівалки для точного землеробства. Патент України № 48270. Опубл. 15.08.2002. Бюл. № 8.
36. Аніскевич Л.В., Сівак І.М., Войтюк Д.Г. Пристрій для розподілу мінеральних добрив. Патент України № 65246 А. Опубл. 15.03.2004. Бюл. № 3. (Рівень участі здобувача становить 80 %).
37. Ямков О.В., Гаврилюк Г.Р., Аніскевич Л.В. Висівний диск. Патент України № 66118 А. Опубл. 15.04.2004. Бюл. № 4. (Рівень участі здобувача становить 30 %).
38. Аніскевич Л.В., Войтюк Д.Г., Волянський М.С. та ін. Висівний апарат. Патент України № 66398. Опубл. 17.05.2004. Бюл. № 5. (Рівень участі здобувача - 60 %).

Матеріали наукових конференцій

39. Вигера С.М., Аніскевич Л.В. Природоохоронні аспекти системи точного землеробства // Доповіді і виступи на міжнародній науково-практичній конференції "Актуальні проблеми сучасного землеробства". - Луганськ: ЛНАУ. - 2003. - С. 83-89. (Здобувачем поставлені питання використання технологій ТЗ в природоохоронних заходах).
40. Аніскевич Л.В. Сучасні технології ефективного виробництва сільськогосподарської продукції // Міжнародна науково-практична конференція "Енергозабезпечення в АПК". – К.: НАУ. - 2004.
41. Аніскевич Л.В. Захист рослин в СТЗ // Доповідь на міжнародній конференції "Інтегрований захист рослин в Україні". –К., ІЗР УААН. - 2004.

Аніскевич Л.В. Системи керування нормами внесення матеріалів в технологіях точного землеробства. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 - машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Національний аграрний університет, Київ, 2005.

Дослідження спрямовані на розв'язання науково-технічної проблеми підвищення ефективності застосування механізованих операцій змінних норм внесення (ЗНВ) технологічних матеріалів (ТМ) в системі точного землеробства за рахунок підвищення просторової точності та якості реалізації заданих планів внесення ТМ по площі поля.

Автором досліджені процеси формування щільності розподілу ТМ по площі поля. Розроблена методика побудови оптимальних систем керування ЗНВ ТМ машин-реалізаторів, що базується на задачі управління з прогнозуванням і з використання процедури локально квадратичної апроксимації даних по вихідному потоку ТМ. Одночасно проводиться обробка комплексної навігаційної інформації. Розроблена методика настроювання закону керування регулюючих систем СГМ в виробничих (польових) умовах

шляхом використання розробленої процедури аналітичної апроксимації або шляхом інтерполяції в просторі параметрів динамічних характеристик регулятора.

Ключові слова: точне землеробство, система позиціонування, місцевизначені дані, змінні норми внесення, технологічний матеріал, машина-реалізатор, система керування, оптимальний регулятор, математична модель.

Аніскевич Л.В. Системы управления нормами внесения материалов в технологиях точного земледелия. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.11 - машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. Национальный аграрный университет, Киев, 2005.

Исследования направлены на решение научно-технической проблемы повышения эффективности применения механизированных операций переменных норм внесения (ПНВ) технологических материалов (ТМ) в СТЗ за счет повышения пространственной точности и качества реализации заданных планов распределения ТМ по площади поля.

Центральным моментом применения технологий ТЗ является реализация ПНВ ТМ. На сегодня операции ПНВ ТМ выполняются на макроуровне. Такой уровень характеризуется наименьшей длиной волны изменения действующего фактора в пределах 18-25 м., что является причиной ошибок при выполнении механизированных полевых операций и ведет к значительным экономическим потерям. Существует необходимость перехода к выполнению операций ЗНВ ТМ с высокой (субметровой) пространственной точностью.

Автором исследованы процессы формирования плотности распределения ТМ по площади поля при разных способах его доставки к поверхности поля и доказано, что одним из путей достижения высокой пространственной точности реализации заданных планов внесения ТМ является обеспечение дозирования и принудительной доставки ТМ по индивидуальным технологическим полосам, ширина которых на порядок меньше ширины захвата СХМ.

Разработана методика формирования закона управляющего воздействия дозирующих систем машин-реализаторов с использованием алгоритма оптимального слежения с прогнозированием на основании данных, которые несут в себе картограммы заданных норм внесения ТМ по текущим оценкам координат МТА в поле, скорости и курсу его движения, а также за счет регистрации информации об интенсивности выходного потока ТМ. Обработка комплексной навигационной информации проводится с использованием процедуры калмановской фильтрации с циклической обработкой компонент вектора наблюдений. Обоснована целесообразность выполнения разработанных процедур идентификации параметров системы и адаптации закона управления дозирующих систем машин-реализаторов. Разработана методика настройки закона управления регулирующих систем в производственных (полевых) условиях путем использования разрабо-

танной процедуры аналитической аппроксимации, а также путем интерполяции в пространстве параметров динамических характеристик регулятора.

Подчеркнута целесообразность применения компенсационного способа внесения ПНВ ТМ. Соответственно этому разработаны макеты программно-аппаратных комплексов и специализированного оборудования к СХМ, что позволило проводить операции ПНВ ТМ с субметровой пространственной точностью и высокоточным дозированием.

Ключевые слова: точное земледелие, система позиционирования, местоопределенные данные, переменные нормы внесения, технологический материал, машина-реализатор, система управления, оптимальный регулятор, математическая модель.

Aniskevych L.V. Systems of operating by the variable rate application in the precision agriculture. – Manuscript. Dissertation on competition of graduate degree of doctor of engineering sciences by speciality 05.05.11 - machines and tools of mechanization of agricultural production. National agrarian university, Kyiv, 2005.

Research are directed on the decision of scientific and technical problems of rise of efficiency of variable rate application (VRA) in the precision agriculture (PA) system due to the submeter spatial precision distribution of inputs and due to the high quality of inputs' preplan realization.

An author investigates the processes of VRA. A method of construction of the optimal regulators of machines-realizes for VRA technology is developed. This method is based on the task of prognostication control with use of locally quadratic approximation procedure on to the output stream. Simultaneously the treatment of complex navigation information is conducted. A method of control law forming for the regulative systems of machines-realize when function in the field by means of coefficients value approximation in space of dynamic characteristics of machine is developed.

Keywords: precision agriculture, positioning system, site-specific data, variable rate application, technological material, machine-realizes, control system, optimal regulator, mathematical model.