

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Мельник Віктор Іванович

УДК 631.34: 631.333: 631.314: 539.21

**НАУКОВІ ОСНОВИ
ЕКОЛОГІЧНО ОЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ
ДЛЯ ВНЕСЕННЯ РІДКИХ ДОБРІВ ТА ХІМЗАХИСТУ РОСЛИН**

05.05.11 — машини і засоби
механізації сільськогосподарського виробництва

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства аграрної політики України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, член-кореспондент НААНУ, професор **Тіщенко Леонід Миколайович**, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, перший проректор, завідувач кафедри теоретичної механіки і деталей машин.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, член-кореспондент НААНУ, професор **Кушнар'ов Артур Сергійович**, Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва ім. Л. Погорілого, головний науковий співробітник;

доктор технічних наук, професор **Пашенко Володимир Філімонович**, Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва, завідувач кафедри механізації та електрифікації сільськогосподарського виробництва;

доктор технічних наук, професор **Сало Василь Михайлович**, Кіровоградський національний технічний університет, декан факультету сільськогосподарського машинобудування.

Захист відбудеться 29 жовтня 2010р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.832.01 в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Артема, 44.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Артема, 44.

Автореферат розісланий 25 вересня 2010р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О.Д.Черенков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У даний час сільськогосподарські землі в нашій країні знаходяться в не зовсім задовільному стані. Зросла поширеність бур'янів. Вирішення проблеми полягає в застосуванні методів і засобів інтегрованої системи захисту рослин, однією з важливих ланок якої є застосування хімічних засобів, зокрема гербіцидів. Але для навколишнього середовища і всього живого гербіциди є шкідливими, а тому їх застосування повинне виконуватися високоефективними і екологічно ощадними методами. Стосовно ґрунтових препаратів таким методом є стрічкове внутрішньогрунтове внесення. З виходом землеробства в нашій країні на європейський рівень хімічні засоби боротьби з бур'янами і, як наслідок, методи і механізми для їх застосування залишаються актуальними і від них не можна буде відмовитися. За шкалою пріоритетів застосування гербіцидів зміститься в бік страхових прийомів, які застосовуватимуться для швидкого виправлення технологічних помилок або незапланованих технологічних ситуацій. Крім того, технічні засоби для застосування гербіцидів з успіхом можуть використовуватися на внесенні хімічних добрив, зокрема в мікродозах, та з іншою метою.

Таким чином, розробка екологічно ощадних технологій і технічних засобів для внесення рідких добрив та хімзахисту рослин є актуальною науково-прикладною проблемою на шляху розвитку рослинницької галузі України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. В 1986–1988 рр. за темою дисертації виконувався госпдоговір «Разработка и исследование технических средств для внутрипочвенного ленточного предпосевного внесения гербицидов под посев пропашных культур» (ДР № 01.86.0032083). Тема дисертації узгоджена з Державною програмою “Виробництво технологічних комплексів та обладнання для агропромислового комплексу на 1998–2005 рр.” (підрозділ 3.5 Машини для хімічного захисту рослин), розробленої у відповідності до Постанови Кабінету Міністрів від 1.01.1997 р. № 1341 “Про розвиток сільськогосподарського машинобудування та забезпечення агропромислового комплексу конкурентоспроможною технікою”, а також планами НДР УААН за темою „Розробити ресурсозберігаючі технології і технічні засоби виробництва сільськогосподарської продукції для нехарчових цілей” (ДР № 0102U006205, 2001 – 2005) та програмою УААН „Пріоритетні завдання аграрної науки України” (період 2008 – 2015 рр., пункт 6.3.3 Розроблення та вдосконалення екологічно безпечних способів і технічних засобів для хімічного захисту рослин, що передбачають економію технологічних матеріалів і високу адаптацію до зміни метеорологічних умов).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності технологічних прийомів хімізації в рослинництві шляхом розробки наукових основ нових технологічних процесів і функціонування механізмів, створення на базі одержаних наукових положень екологічно ощадних інноваційних методів і технічних засобів для внесення рідких добрив і хімзахисту рослин.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення наступних задач:

— адаптувати теорії статичної і динамічної ідеально-сипких, зв'язних і сипких середовищ до застосування в задачах взаємодії робочих органів з ґрунтом (в задачах ґрунтообробки); розробити математично нові методи характеристичного розв'язку систем квазілінійних рівнянь в частинних похідних, які є сутністю моделей, що розробляються; уточнити правило знаків для компонентів тензора напружень і сформулювати фізично обґрунтовані граничні умови для задач ґрунтообробки, а також розробити алгоритми вирішення таких задач; теоретично обґрунтувати геометрію і параметри конструкції робочих органів для стрічкового внутрішньоґрунтового внесення гербіцидів, а також встановити зв'язок цих параметрів з режимами роботи;

— розробити математичні методи, методики і пристрої для визначення закономірностей розподілу робочої рідини під шаром ґрунту при внутрішньоґрунтовому її внесенні;

— розробити технологію післяпосівного стрічкового внутрішньоґрунтового внесення гербіцидів і запропонувати ряд ефективних схем її реалізації: як самостійної операції в технологічному ланцюзі; як операції, виконуваної одночасно з посівом при використанні тракторів інтегрального типу і сучасних енергетичних засобів; у вигляді комбінованої сільгоспмашини з дискретними робочими органами; у вигляді комбінованих робочих органів;

— для технології післяпосівного внутрішньоґрунтового внесення гербіцидів, що реалізується як самостійна операція, розробити метод оцінки розподілу насіння в рядку і обґрунтувати режими реалізації такої технологічної операції, які забезпечують повне збереження розподілу насіння в рядку, що склався після посіву;

— створити методологію експрес-оцінки ефективності гербіцидної дії та ергономічності технологічних прийомів і технічних засобів для внесення гербіцидів;

— розробити методики, прилади і устаткування для радіологічних експериментів стосовно оцінки закономірностей розподілу препаратів під шаром ґрунту, спеціалізовані детектори для вісеспрямованих вимірювань; матзабезпечення для обробки результатів сканування; провести оцінку розроблених робочих органів і технологічних прийомів для внутрішньоґрунтового стрічкового внесення гербіцидів;

— розробити рекомендації виробництву по застосуванню розроблених технологічних і технічних рішень.

Розв'язання цих задач спрямоване на створення комплексної теорії внутрішньоґрунтових процесів при внесенні рідких добрив та хімічного захисту рослин, взаємодії робочих органів з ґрунтом, розподілу рідини розробленими гідравлічними розпилювачами.

Об'єкт досліджень: процеси внесення рідких добрив та хімічного захисту рослин, взаємодії робочих органів з ґрунтом, зокрема, розвитку випереджаючої тріщини і утворення порожнини в ґрунті, а також розподілу рідин гідравлічними розпилювачами при їх довільній орієнтації.

Предмет досліджень: наукові основи розробки: екологічно ощадних технологій і технічних засобів для внесення рідких добрив та хімічного захисту рослин; процесів обробки ґрунту, які базуються на уявленнях про нього як про суцільне середовище, а також процесів розподілу робочих рідин в межах факела розпилу прямоточних гідравлічних розпилювачів, який розглядається як векторне поле.

Методи досліджень: теоретичне описування процесів ґрунтообробки на основі розвитку теорії граничної рівноваги суцільних середовищ і чисельне розв'язування задач методом кінцевих різниць; моделювання факела розпилу рідини прямоточним гідравлічним розпилювачем методами векторного аналізу; моделювання посіву методом Монте-Карло; експериментальні дослідження розподілу речовин під шаром ґрунту без вийняття проб із застосуванням ізотопних методів; метод внутріклітинного мікроелектрофорезу для експрес оцінки ефективності застосування гербіцидів і шкідливості їх дії. Теоретичні і експериментальні методи чисельно моделювались на ЕОМ.

Наукова новизна одержаних результатів:

— для керування і розрахунку технологічних показників процесів взаємодії робочих органів із ґрунтом вперше запропонована нова концепція моделювання внутрішньогрунтової динаміки, яка базується на уяві про ґрунт як ваговите непружне ідеально-зв'язне середовище, що володіє зовнішнім тертям, яке в стані граничної рівноваги описується квазілінійною системою рівнянь в частинних похідних гіперболічного типу, із одержанням математичних виразів (співвідношень на координатних прямих), що зв'язують параметри напруженого стану і незалежні координати і що виконуються подовж прямих, паралельних осям декартових координат. Вперше показано, що, розглядаючи співвідношення на координатних прямих як систему сумісно із співвідношеннями на характеристиках, є можливість побудувати сітку ліній ковзання для всієї області граничної рівноваги [1, 2, 11, 14 – 16, 19];

— в розвиток загальної теорії граничної рівноваги ґрунту як суцільного середовища вперше сформульовано правило знаків дотичних напружень, яке складається з двох частин. У відповідності із першою визначається напрям дії вектора дотичної компоненти повного напруження незалежно від знаку його модуля, а вже потім, відповідно із другою, визначається її знак. При цьому враховується діюче правило стосовно знаків і ранжирування головних нормальних напружень [1, 2, 18];

— теоретичними дослідженнями вперше встановлено, що розвиток випереджаючої тріщини, яка утворюється попереду ґрунтообробного робочого органу, відбувається шляхом перемикання між поверхнями (в перетині — лініями) ковзання та показано, що в реальних середовищах місця переходів із сімейства на сімейство визначаються неоднорідностями [1, 2, 9, 20 – 22];

— одержано нові математичні залежності, які зв'язують конструктивні і режимні параметри плоскоріжучих стрічастих робочих органів для внутрішньогрунтового внесення гербіцидів [2, 7];

— розроблені нові математичні методи подання нормованої характеристики (розподілу рідини в межах плями розпилу) будь-якого гідравлічного розпилювача на основі інтерполяції експериментальних даних за допомогою бікубічного сплайну [2, 17];

— вперше створені математичні методи, які на основі нормованої характеристики розпилювача і уявлення про факел розпилу як про векторне поле дозволяють розрахувати розподіл рідини по площині загального положення і, зокрема, по площині різання розроблених робочих органів [2, 17];

— стосовно розроблених робочих органів для внутрішньогрунтового внесення гербіцидів, в основі конструкції яких застосовано модифіковану стрілчасту лапу, вперше теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено, що програмованого розподілу рідини під шаром ґрунту можна досягти тільки у разі похилої по відношенню до дна борозни орієнтації розпилювачів [2, 6-8, 17].

Практичне значення одержаних результатів.

На підставі теоретичного поєднання процесів утворення порожнини в ґрунті та розпилювання в ній рідини розроблено три типи робочих органів для стрічкового внутрішньогрунтового внесення рідких засобів хімізації, зокрема, гербіцидів: перший — універсального застосування; другий — призначений для роботи на грудкуватих ґрунтах, що погано піддаються обробці; третій — реалізує технологію розмазування і за рахунок цього дозволяє ще більшою мірою мінімізувати витрату робочої рідини.

Розроблено ряд конструкцій, спрямованих на ергономічність застосування і обслуговування робочих органів для внутрішньогрунтового внесення гербіцидів. Зокрема, безнарізкові кріплення внутрішньогрунтових розпилювачів на напрямних між внутрішніми торцями лемешів стрілчастих робочих органів.

Польовими дослідженнями встановлено, що застосування астраханської технології водіння польових агрегатів по спрямовуючих щілинах в ґрунті сприяє втратам вологи. Тому на богарних землях в умовах зони недостатнього зволоження ця технологія не завжди може застосовуватися. У зв'язку з цим, розроблено ряд технічних засобів для нарізки спрямовуючих щілин і водіння агрегатів по одній технологічній щілині. До застосування рекомендовано засипання щілин рихлим ґрунтом після кожного їх використання в якості спрямовуючих.

Теоретичними і польовими дослідженнями доказано, що стрічкове внутрішньогрундове внесення гербіцидів на посівах просапних культур необхідно здійснювати після посіву. Цим досягається поліпшення умов для проростання корисних рослин і підвищення точності програмованого розподілу препарату під шаром ґрунту. Цей же прийом дозволяє відмовитися від застосування післяпосівного прикочування кільчасто-шпоровими котками.

Розроблену технологію післяпосівного внутрішньогрунтового внесення гербіцидів можна здійснювати комбінованими агрегатами, машинами і робочими органами. Перевагу слід віддавати комбінованим агрегатам або машинам, у яких сошники і робочі органи для внесення гербіцидів мають індивідуальну незалежну підвіску.

Розроблені технології і технічні засоби поетапно упроваджувалися в сільськогосподарське виробництво: агропідприємство “Кременчуцьке” Кременчуцького р-ну Полтавської обл., 1984, 1985 рр.: 53,9 га соняшнику, 221,6 га кукурудзи на зерно та силос, ефективність 3,9 тис. грн; агропідприємство “Україна” Кременчуцького р-ну Полтавської обл., 1986 – 1990 рр.: 381,6 га кукурудзи на зерно, 198,6 га соняшнику, ефективність 32,85 тис. грн; Кременчуцьке РАПО Полтавської обл., 1986 і 1987 рр., ефективність 6 тис. грн.; ВАТ “УкрНДІСГОМ”, 2006 р.; ВАТ “Галещина, машзавод” (м. Нова Галещина), 2010 р., ефективність 5,4 млн. грн.

Особистий внесок здобувача. Основні результати роботи здобувачем одержані самостійно. В наукових працях, виконаних в співавторстві, особистий внесок наступний: [3, 4] — постановка задачі досліджень, основні ідеї конструкторсько-технологічних рішень, участь в проведенні досліджень, узагальнення одержаних результатів; [9] — постановка задачі, рівняння енергетичного балансу і загальне рівняння руху частинки ґрунту по лобовій поверхні робочого органу, схеми взаємодії ґрунту з поверхнями робочого органу, метод узагальнення результатів, заснований на використуванні теорії гомотопій; [12] — постановка задачі по оптимізації форми сцинтилятора, моделювання процесу сканування, рівняння ефективності реєстрації гамма-квантів детектором довільної форми, узагальнення одержаних результатів; [13] — обґрунтування конструкції стенду для випробування розпилювачів; [23] — спосіб керування характеристиками дефлекторного розпилювача, узагальнення результатів; [24-26] — постановка задачі, обґрунтування принципу дії розроблених приладів і устаткування, розробка методики ізотопних досліджень.

При створенні способів і технічних засобів для здійснення розроблених прийомів по хімічному захисту рослин, які захищені патентами, здобувач брав безпосередню участь в розробці всіх способів і пристроїв [27 – 35]. Як науковий керівник і відповідальний виконавець автор брав особисту участь на всіх етапах впровадження у виробництво результатів досліджень і підготовці публікацій.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися: на щорічних науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу ХНТУСГ, 1985 – 2010 рр.; на республіканській науково-технічній конференції (РНТК) “Проблеми конструювання і технології виробництва сільгоспмашин” (КІСМ, Кіровоград, 1986 р.); на РНТК “Основні напрямки розвитку техніки для вирощування і збирання цукрового буряку і кукурудзи за індустріальними технологіями в світлі Продовольчої програми СРСР” (УкрНДІСГОМ, Харків, 1986 р.); на РНТК “Шляхи розвитку виробництва зерна в Українській РСР” (УНДІМЕСГ, Глеваха, 1988 р.); на всесоюзній науково-технічній конференції “Современные проблемы земледельческой механики” (МІМСГ, Мелітополь, 1989 р.); на Всесоюзній школі молодих вчених і спеціалістів “Интенсивные технологии возделывания зерновых культур” (ВНИИУА им. Д.Н. Прянишникова, Москва, 1990 г.); на міжнародній науково-технічній конференції (МНТК) “Сцинтилятор-93” (Інститут монокристалів АН України,

Харків, 1993 р.); на МНТК “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье” (ХПІ, Харків, 1996 р.); на IV Міжнародному молодіжному форумі “Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке” (ХТУРЕ, Харків, 2000 р.); на міжнародному семінарі по прискорювачам заряджених частинок (НТЦ “ХФТІ”, Алушта, 2001 р.); in Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference. 12th International Workshop an Room-Temperature Semiconductor X-and Gamma-Ray Detectors. — Sad Diego, California, 2001 year; на міжнародній науково-практичній конференції (МНПК) “Спектроскопія в спеціальних застосуваннях” (НТУУ (КПІ), Київ, 2003 р.); на X і XIII МНПК “Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения” (Белгородская ГСХА, Белгород, 2006 и 2009 гг.); на науково-технічній раді факультету механізації с.г. Полтавської державної аграрної академії (ПДАА, Полтава, 2007 р.); на X МНТК “Сучасні проблеми землеробської механіки” (ДДАУ, Дніпропетровськ, 2009 р.).

Публікації. Основний зміст і результати дисертації опубліковані в 2-ох монографіях «Предельное равновесие сплошных неупругих сред» та «Внутрипочвенное внесение жидкостей в растениеводство» і 24 фахових статтях (15 без співавторів). Створені автором і з його участю нові способи і технічні засоби для здійснення розроблених прийомів внесення рідких добрив і хімізацію рослин захищені 9-ма патентами на винаходи (2 без співавторів). Всього по дисертації опубліковано 73 роботи автора, із них: без співавторів 27, патенти 24, тези 10.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, 7 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 427 найменувань і 12 додатків. Повний обсяг дисертації викладено на 516 сторінках комп’ютерного тексту (72 сторінок — додатки). Основна частина дисертації складає 394 сторінки і містить 149 рисунків та 26 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, викладено зв’язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульовані мета і завдання досліджень, наведені наукова новизна і практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі наведено аналіз відомих досліджень за проблемою технологій та механізмів для внесення рідких засобів хімізації рослинництва.

Оскільки найбільш жорсткі агровимоги (щодо параметрів розподілу по робочій поверхні, екологічності, ергономічності, продуктивності праці та ін.) стосуються гербіцидів, то акцент зроблено саме на них. Проведено класифікацію: гербіцидів та технічних засобів для їх застосування, зокрема більш детально зовану для наземних технічних засобів, що зраховані на внесення рідких гербіцидів; гідравлічних розпилювачів. Проаналізовано конструкції робочих органів та гідравлічні схеми відомих машин.

Відповідно до гербіцидів найбільш екологічною, ергономічною та найбільш вигідною в господарському сенсі і, водночас, найбільш проблемною є

технологія їх стрічкового внутрішньогрунтового внесення. Її основні труднощі криються в неможливості досягти програмованого розподілу хімікатів під шаром ґрунту та в низькій продуктивності відповідних агрегатів. Оскільки ця технологія може бути успішно використаною для внесення інших засобів хімізації, зокрема рідких мікродобрив, а їх кількість із кожним роком зростає, то актуальність зазначеної науково-прикладної проблеми посилюється.

Проведений огляд конструкцій робочих органів, які можуть бути використаними при стрічковому внутрішньогрунтовому внесенні рідких гербіцидів та інших хімікатів, вказує на те, що найбільш вживаною є стрілчаста лапа в кінематичній тині якої встановлено розпилювач рідини. Наприклад, конструкції А.А. Юнаєва чи В.П. Гниломедова. За принципом дії вони схожі із закордонними аналогами. Під час їх робочого ходу в ґрунті утворюється порожнина, яка використовується для розпилення робочої рідини в межах оброблюваної стрічки. З цього виходить, що функціонування такого робочого органу пов'язане із двома зовсім різними процесами: взаємодією його лемешів із ґрунтом; розпиленням робочої рідини. Ці два процеси мають різну теоретичну основу.

Перший процес є найбільш проблемним. Вивчати його можна спираючись на теорію ґрунтообробки, на розвиток якої плідно працювали такі вчені як В.П. Горячкін, П.М. Василенко, А.М. Зеленін, Г.М. Сінеоков, І.М. Панов, В.І. Ветохін, А.С. Кушнар'єв, В.О. Дубровін, А.М. Панченко, В.Ф. Пашенко, В.П. Ковбаса, В.М. Сало та ін.. Проаналізувавши їх наукові праці, зроблено висновок, що ускладнення математичних моделей не завжди призводить до підвищення адекватності розв'язку конкретних задач. Тому в пошук методів моделювання залучено роботи Р. Хілла, Г. Генкі, В. Прагера, К. Флетчера, В.Д. Ключникова, Г.С. Писаренка, М.С. Можаровського, В.Г. Зубчанинова, О.Ю. Ішлинського, Д.Д. Івлєва, В.В. Соколовського, Г.О. Генієва та ін., що стосуються теорій пластичності, граничної рівноваги, статичної та динамічної суцільного середовища і, зокрема, критеріїв пластичності Треска–Сен-Венана, Хубера–Мізеса–Генкі, Мора, Генієва та умови граничної рівноваги Соколовського. Праці останнього лягли в основу створеної теорії граничної рівноваги.

Прийmemo, що ґрунт — це суцільне непружне середовище, яке має власну вагу, проявляє зовнішню тертя та характеризується зв'язністю і, у відповідності із класифікацією Соколовського В.В., назвемо ідеально-зв'язним. Стан граничної рівноваги такого середовища описується квазілінійною системою рівнянь в частинних похідних гіперболічного типу:

$$\cos(\varphi \mp \frac{1}{4}\pi) \frac{\partial s}{\partial x} + \sin(\varphi \mp \frac{1}{4}\pi) \frac{\partial s}{\partial y} \mp 2k \left[\cos(\varphi \mp \frac{1}{4}\pi) \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \sin(\varphi \mp \frac{1}{4}\pi) \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right] = \quad (1)$$

$$= \gamma [\sin \alpha \cos(\varphi \mp \frac{1}{4}\pi) + \cos \alpha \sin(\varphi \mp \frac{1}{4}\pi)],$$

де $s = \frac{1}{2}(\sigma_3 + \sigma_1)$ — напівсума головних нормальних напружень σ_3 і σ_1 , причому $\sigma_3 \geq \sigma_1$; k — коефіцієнт зв'язності; φ — кут між лінією дії векторів σ_3 та віссю Ox декартової системи координат Oxy (рис. 1); α — кут між лінією

дії сили тяжіння та віссю Oy ; γ — густина середовища (грунту). На рис. 1 σ_{xx} і σ_{yy} — нормальні, а $\sigma_{xy} = \sigma_{yx}$ — дотичні компоненти тензора напружень:

$$\sigma_{xx} = s + k \cos 2\varphi, \quad \sigma_{yy} = s - k \cos 2\varphi, \quad \sigma_{xy} = k \sin 2\varphi. \quad (2)$$

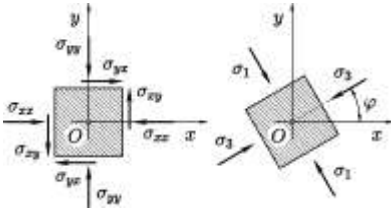


Рис. 1. Компоненти тензора напружень

Для таких систем відомий характеристичний метод розв'язку, який дозволяє одержати рівняння характеристик (ліній ковзання):

$$\cos(\varphi \mp \frac{1}{4}\pi)dy - \sin(\varphi \mp \frac{1}{4}\pi)dx = 0 \quad (3)$$

та співвідношень, що виконуються подовж них:

$$ds \mp 2k d\varphi = \gamma[\sin \alpha dx + \cos \alpha dy]. \quad (4)$$

Далі в залежності від початкових умов можуть вирішуватися кінцево-різницьві задачі Коші, Гурса, Рімана або змішана задача. Недоліком методу є: по-перше, те, що форма і розміщення ліній ковзання невідоме до кінця вирішення задачі; по-друге, для розв'язання такої задачі необхідно знати всі компоненти тензора напружень в кожній точці граничної кривої, що для ґрунтообробки майже неможливо. Стосовно вказаних недоліків створена теорія граничної рівноваги має принципові переваги.

У другому розділі розроблено загальну теорію напруженого стану ґрунту як непружного суцільного середовища в стані граничної рівноваги. Так, стосовно системи (1), для переходу на сітку характеристик (3) використано пряму заміну незалежних змінних:

$$dy = \nu \sin(\varphi + \frac{1}{4}\pi) d\lambda_1 + \omega \sin(\varphi - \frac{1}{4}\pi) d\lambda_2, \quad dx = \nu \cos(\varphi + \frac{1}{4}\pi) d\lambda_1 + \omega \cos(\varphi + \frac{1}{4}\pi) d\lambda_2, \quad (5)$$

де $\nu = \nu(\lambda_1, \lambda_2, x, y)$ і $\omega = \omega(\lambda_1, \lambda_2, x, y)$ — масштабуючі функції-множники; λ_1 і λ_2 — параметри характеристик (λ_1 — відповідає верхнім, а λ_2 — нижнім знакам в (1), (3) і (4)). Оскільки рівняння системи (5) — це вирази повних диференціалів, то, виходячи із умови рівності змішаних похідних та існування коренів, остання дає систему-наслідок заміни незалежних змінних по характеристично-му розв'язкові [1, 10]:

$$4k \frac{\partial \nu}{\partial \lambda_2} = -\omega, \quad 4k \frac{\partial \omega}{\partial \lambda_1} = -\nu, \quad (6)$$

яка належить до гіперболічного типу. Із застосуванням методу Фур'є її вперше інтегровано. Пропускаючи зайві проміжні викладки, які наведено в [1], використавши розв'язок (6), для (1) уточнено до більш загального випадку два варіанти співвідношень, що виконуються подовж ліній паралельних осям декартової системи координат і названі "співвідношеннями на абсцисі та на ординаті".

• Перший варіант співвідношень на абсцисі:

$$x|_{y=\text{const}} = \pm(-1)^r 2k \exp[(\gamma y \cos \alpha - \tilde{C}_y)/2k] \text{ctg} \varphi + C_y^*, \quad (7)$$

$$s|_{y=\text{const}} = k \ln[2(C^v)^2 \sin^2 \varphi] + \gamma x \sin \alpha + \tilde{C}_y, \quad (8)$$

$$s|_{y=\text{const}} = k \ln(\sin^2 \varphi) \pm (-1)^r 2k \gamma \sin \alpha \exp[(\gamma y \cos \alpha - \tilde{C}_y) / 2k] \text{ctg} \varphi + C_y^+, \quad (9)$$

де
$$r = \begin{cases} 1 & \text{при } \varphi \in]\varphi_{yr} - \pi, \varphi_{yr}], \\ 2 & \text{при } \varphi \in]\varphi_{yr}, \varphi_{yr} + \pi[, \end{cases} \quad \varphi_{yr} = \pm 2\pi n, \quad n \in \{0, 1, 2, \dots, \infty\}, \quad (10)$$

$$C_y^+ = \gamma \sin \alpha C_y^* + k \ln[2(C^v)^2] + \tilde{C}_y; \quad (11)$$

C^v — стала, яка є загальною для всіх співвідношень та значень x , y ; \tilde{C}_y , C_y^* ,

C_y^+ — сталі величини, значення яких залежать від $y = \text{const}$.

- Перший варіант співвідношень на ординаті:

$$y|_{x=\text{const}} = \pm (-1)^r 2k \exp[(\gamma x \sin \alpha - \tilde{C}_x) / 2k] \text{tg} \varphi + C_x^*, \quad (12)$$

$$s|_{x=\text{const}} = k \ln(\cos^2 \varphi) + \gamma y \cos \alpha + k \ln[2(C^v)^2] + \tilde{C}_x, \quad (13)$$

$$s|_{x=\text{const}} = k \ln(\cos^2 \varphi) \pm (-1)^r 2k \gamma \cos \alpha \exp[(\gamma x \sin \alpha - \tilde{C}_x) / 2k] \text{tg} \varphi + C_x^+, \quad (14)$$

де
$$r = \begin{cases} 1 & \text{при } \varphi \in]\varphi_{xr} - \pi, \varphi_{xr}], \\ 2 & \text{при } \varphi \in]\varphi_{xr}, \varphi_{xr} + \pi[, \end{cases} \quad \varphi_{xr} = -\frac{1}{2}\pi \pm 2\pi n, \quad n \in \{0, 1, 2, \dots, \infty\}, \quad (15)$$

$$C_x^+ = \gamma \cos \alpha C_x^* + k \ln[2(C^v)^2] + \tilde{C}_x; \quad (16)$$

\tilde{C}_x , C_x^* , C_x^+ — сталі величини, значення яких залежать від $x = \text{const}$.

- Другий варіант співвідношень на абсцисі:

$$x|_{y=\text{const}} = \pm (-1)^r 2k \exp[(\tilde{C}_y - \gamma y \cos \alpha) / 2k] \text{tg} \varphi + C_y^*, \quad (17)$$

$$s|_{y=\text{const}} = -k \ln[2(C^v)^2 \cos^2 \varphi] + \gamma x \sin \alpha + \tilde{C}_y, \quad (18)$$

$$s|_{y=\text{const}} = -k \ln(\cos^2 \varphi) \pm (-1)^r 2k \gamma \sin \alpha \exp[(\tilde{C}_y - \gamma y \cos \alpha) / 2k] \text{tg} \varphi + C_y^-, \quad (19)$$

де
$$r = \begin{cases} 1 & \text{при } \varphi \in]\varphi_{yr} - \pi, \varphi_{yr}], \\ 2 & \text{при } \varphi \in]\varphi_{yr}, \varphi_{yr} + \pi[, \end{cases} \quad \varphi_{yr} = \frac{1}{2}\pi \pm 2\pi n, \quad n \in \{0, 1, 2, \dots, \infty\}, \quad (20)$$

$$C_y^- = \gamma \sin \alpha C_y^* + \tilde{C}_y - k \ln[2(C^v)^2]; \quad (21)$$

C_y^- — стала величина, значення якої залежить від $y = \text{const}$.

- Другий варіант співвідношень на ординаті:

$$y|_{x=\text{const}} = \pm (-1)^r 2k \exp[(\tilde{C}_x - \gamma x \sin \alpha) / 2k] \text{ctg} \varphi + C_x^*, \quad (22)$$

$$s|_{x=\text{const}} = -k \ln(\sin^2 \varphi) + \gamma y \cos \alpha - k \ln[2(C^v)^2] + \tilde{C}_x, \quad (23)$$

$$s|_{x=\text{const}} = -k \ln(\sin^2 \varphi) \pm (-1)^r 2k \gamma \cos \alpha \exp[(\tilde{C}_x - \gamma x \sin \alpha) / 2k] \text{ctg} \varphi + C_x^-, \quad (24)$$

де
$$r = \begin{cases} 1 & \text{при } \varphi \in]\varphi_{xr} - \pi, \varphi_{xr}], \\ 2 & \text{при } \varphi \in]\varphi_{xr}, \varphi_{xr} + \pi[, \end{cases} \quad \varphi_{xr} = \pm 2\pi n, \quad n \in \{0, 1, 2, \dots, \infty\}, \quad (25)$$

$$C_x^- = \gamma \cos \alpha C_x^* - k \ln[2(C^v)^2] + \tilde{C}_x; \quad (26)$$

C_x^- — стала величина, значення якої залежить від $x = \text{const}$.

Сталі величини, що входять у (7) – (26), визначаються, виходячи із формулювань граничних умов конкретної задачі.

Опираючись на них наведено розв'язання тестової задачі стосовно ущільнення модельного середовища в межах прямокутної області. Сформульовано правила обґрунтування граничних умов та методи узгодження сталих величин, що входять в уточнені співвідношення на координатах (7) – (24). При побудові сітки ліній ковзання співвідношення (7) – (16) або (17) – (26) розглянуто як систему рівнянь, включаючи інтеграли співвідношень на характеристиках (4). На умові тестової задачі проведено аналіз адекватності запропонованих методів. Сформульовано правило знаків дотичних напружень. У відповідності з ним, вектор дотичної компоненти повного напруження незалежно від знака його модуля завжди орієнтується в бік площадки дії більшого із головних нормальних напружень. При цьому дотичну компоненту повного напруження вважаємо позитивною, якщо виконується одне з двох: або її вектор, або зовнішня нормаль до площадки її дії не співпадає із напрямком паралельних до них осей системи координат. Для застосування такого правила стосовно площадки загального положення подумки повертаємо систему координат (праву) в позитивному напрямку до співпадання її осей із лінією дії дотичного напруження та вектора зовнішньої нормалі до площадки. Ці правила діють, коли головні нормальні напруження вважаються позитивними, якщо вони стискають, а порядок їх індексування такий $\sigma_1 \leq \sigma_2 \leq \sigma_3$.

У **третьому розділі** застосовано розроблені методи при дослідженні процесів утворення і розвитку випереджаючої тріщини (задача В.П.Горячікіна).

Зародженню тріщини (рис. 2) передує статичний процес взаємодії деформатора 2 (робочого органу) з модельним середовищем 1 (грунтом), протягом якого зовнішнє навантаження \mathbf{P} досягає критичного рівня. В цьому стані середовище відповідає умовам граничної рівноваги.

Декартову систему координат Ox прив'яжемо до вершини гребеня т. R'' . ML^mR'' — лінія поверхні вільного контуру. $R''R^d$ — лінія п'ятна контакту.

Вважаємо відомими: γ і f — питома вага (щільність) і коефіцієнт зовнішнього тертя середовища; h і y^d — глибина ходу і ордината нижньої точки деформатора; β — кут між дотичною до ML^mR'' в т. R'' та віссю Ox ; I'_{xy0} та I'_{xy0} — інтегральні значення горизонтальної та вертикальної складових \mathbf{P} .

Необхідно: визначити коефіцієнт зв'язності k ; відтворити форму ML^mR'' ; побудувати сітку ліній ковзання; вивчити закономірності утворення та розвитку випереджаючої тріщини R^dL^m , що зароджується в т. R^d і пролягає до т. L^m .

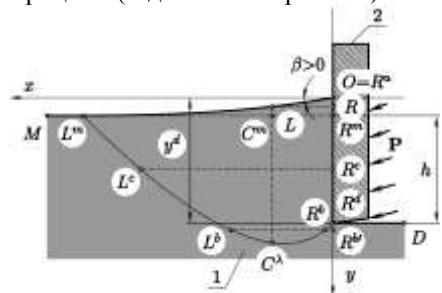


Рис. 2. Схема дії на ґрунт 1 деформатора 2

Для орного шару чорнозему γ складає $1,0 - 1,5 \times 10^{-5} \text{ Н/мм}^3$, а $k \leq 0,15 \text{ Н/мм}^2$. Коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту по сталі дорівнює $0,45 - 0,70$ і з урахуванням налипання для глинистих ґрунтів може досягати $0,60 - 0,95$.

Сформулюємо граничні умови. Подовж вільного контуру $L^m R^u$ відсутні як нормальні σ , так і дотичні τ напруження. Отже, $L^m R^u$ повністю складається із головних площадок, причому менше із головних нормальних напружень $\sigma_1|_{L^m R^u} = 0$, а вектори найбільшого σ_3 орієнтовані по дотичній до $L^m R^u$. У зв'язку із цим, у (17) – (26) приймаємо $n = 0$, $\varphi_{yr} = \pm \frac{1}{2}\pi$, $\varphi_{xr} = 0$. Врахуємо також орієнтацію системи координат Oxy , прийнявши $\alpha = 0$.

На рис. 3,А та 3,С для наглядності деформатор зміщено від п'ятна контакту $R^u R^d$ вправо і вгору. На рис. 3,В зображена схема обходу навколо межі області граничної рівноваги, що ілюструє як група векторів головних нормальних напружень σ_1 і σ_3 змінює свою орієнтацію, тобто, як змінюється φ . При цьому випереджаюча тріщина $R^d L^m$ насправді може бути або однією із характеристик (лінією ковзання), або ламаною, що складається із відрізків характеристик. Оскільки, виходячи із реального процесу, малоімовірно, що $R^d L^m$ відходить від $R^u R^d$ під кутом саме $\frac{1}{4}\pi$, то в точці R^d дотичні напруження $\tau|_{R^d} \neq 0$. Така ж ситуація складеться, якщо деформатор має горизонтальний низ, що насправді моделює затуплення кромки довкола R^d .

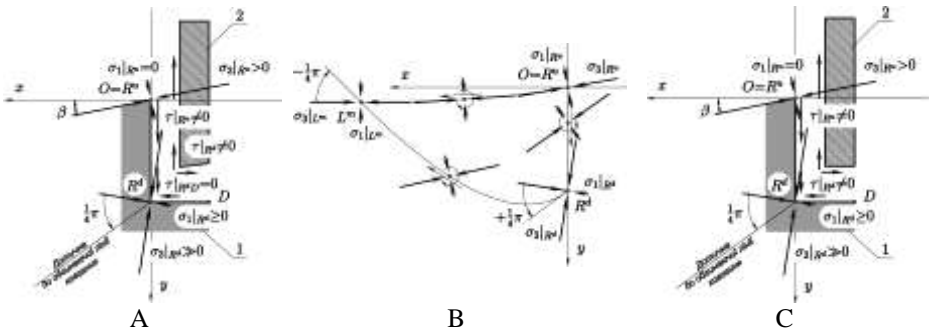


Рис. 3. Схема взаємодії модельного середовища 1 із деформатором 2: А, С — довкола п'ятна контакту; В — подовж межі області граничної рівноваги

В такому випадку:

$$\varphi^{ru} = \pi - \beta, \quad \varphi^{rd} \in [\frac{1}{2}\pi, \pi - \beta[, \quad \varphi^{lm} = \pi, \quad \varphi \in [\frac{1}{2}\pi, \pi], \quad (27)$$

де φ^{ru} , φ^{rd} і φ^{lm} — величина кута φ в т. R^u , R^d і L^m .

З урахуванням вищенаведеного, із співвідношень (17) – (26) одержуємо:
а) співвідношення на абсцисі ($y = \text{const}$) —

$$x|_{y=\text{const}} = 2k \exp[(\tilde{C}_y - \gamma y)/2k] \text{tg} \varphi + C_y^*, \quad s|_{y=\text{const}} = -k \ln(\cos^2 \varphi) + C_y^- \quad (28)$$

$$C_y^- = \tilde{C}_y - k \ln[2(C^v)^2]. \quad (29)$$

б) співвідношення на ординаті ($x = \text{const}$) —

$$y|_{x=\text{const}} = 2k \exp(\tilde{C}_x/2k) \text{ctg} \varphi + C_x^*, \quad (30)$$

$$s|_{x=\text{const}} = -k \ln(\sin^2 \varphi) + \gamma y - k \ln[2(C^v)^2] + \tilde{C}_x, \quad (31)$$

$$s|_{x=\text{const}} = -k \ln(\sin^2 \varphi) + 2k\gamma \exp(\tilde{C}_x/2k) \text{ctg} \varphi + C_x^-, \quad (32)$$

$$C_x^- = \gamma C_x^* - k \ln[2(C^v)^2] + \tilde{C}_x. \quad (33)$$

Підставивши у вирази (2) співвідношення (28), одержуємо:

$$\begin{pmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \end{pmatrix} = -k[\ln(\cos^2 \varphi) \mp \cos 2\varphi] + C_y^-, \quad \sigma_{xy} = k \sin 2\varphi \quad (34)$$

— компоненти тензора напружень подовж ліній $y = \text{const}$. Підстановка співвідношення (32) в ті ж вирази (2) дає:

$$\begin{pmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \end{pmatrix} = -k[\ln(\sin^2 \varphi) - 2\gamma \exp(\tilde{C}_x/2k) \text{ctg} \varphi \mp \cos 2\varphi] + C_y^-, \quad \sigma_{xy} = k \sin 2\varphi \quad (35)$$

— компоненти тензора напружень подовж ліній $x = \text{const}$.

Розв'язавши $x|_{y=\text{const}} = x(\varphi)$ (28) та $y|_{x=\text{const}} = x(\varphi)$ (30) відносно φ , маємо:

$$\varphi|_{y=\text{const}} = \pi + \arctg\{[(x - C_y^*)/2k] \exp[(\gamma y - \tilde{C}_y)/2k]\}, \quad (36)$$

$$\varphi|_{x=\text{const}} = \pi + \arctg\{[2k/(y - C_x^*)] \exp(\tilde{C}_x/2k)\}. \quad (37)$$

Граничну умову, що діє подовж п'ятна контакту $R^u R^d$ формулюємо як умову тертя $|\sigma_{xy}| \leq f \sigma_{xx}$, яка разом із виразами (2) дає:

$$s|_{R^u R^d} \geq -k(f^{-1} \sin 2\varphi + \cos 2\varphi). \quad (38)$$

Використавши вирази для визначення головних нормальних напружень через компоненти тензора напружень, запишемо граничні умови для т. R^u :

$$\sigma_1|_{R^u} = 0, \quad s|_{R^u} = k, \quad \sigma_3|_{R^u} = 2k, \quad \sigma_3|_{R^u} \geq -2k(f^{-1} \sin 2\varphi^{ru} + \cos 2\varphi^{ru}). \quad (39)$$

В подальшому, врахувавши умову задачі, та використавши співвідношення (28) – (33) та граничні умови, одержано вирази для визначення сталих:

$$\tilde{C}_x|_{R^u R^d} = 2k \ln\left(\frac{y^d - y^{ru}}{2k(\text{ctg} \varphi^{rd} - \text{ctg} \varphi^{ru})}\right), \quad C_x^*|_{R^u R^d} = -2k \exp\frac{\tilde{C}_x}{2k} \text{ctg} \varphi^{ru}, \quad (40)$$

$$C_x^-|_{R^u R^d} = k[1 + \ln(\sin^2 \varphi^{ru})] + \gamma C_x^*. \quad (41)$$

Маючи на увазі, що $\tilde{C}_x = \tilde{C}_x|_{R^u R^d}$, $C_x^* = C_x^*|_{R^u R^d}$, $C_x^- = C_x^-|_{R^u R^d}$, одержано вираз для інтегрального значення I'_{xx} горизонтальної (нормальної) складової зовнішнього навантаження \mathbf{P} , яке призведе до переходу середовища в стан граничної рівноваги, а відтак і до зародження тріщини $R^d L^m$:

$$I_{xx}^r(y^d) = k \left\{ C_x^* \ln \left(1 + [(C_x^*)^2 / 2k^2] \exp(-\tilde{C}_x / k) \right) + (y^d - C_x^*) \times \right. \\ \left. \times \ln \left(1 + [(y^d - C_x^*)^2 / 2k^2] \exp(-\tilde{C}_x / k) \right) \right\} + [\gamma(y^d / 2 - C_x^*) + C_x^- - k] y^d, \quad (42)$$

де I_{xx}^r розглядається як функція y^d висоти п'ятна контакту $R^r R^d$.

Аналогічним чином одержано вираз для інтегрального значення $I_{xy}^r = I_{xy}^r(y^d)$ вертикальної (дотичної) складової зовнішнього навантаження \mathbf{P} :

$$I_{xy}^r(y^d) = 2k^2 \exp \frac{\tilde{C}_x}{2k} \left\{ \ln \left(1 + \frac{(y^d - C_x^*)^2}{4k^2 \exp(\tilde{C}_x / k)} \right) - \ln \left(1 + \frac{(C_x^*)^2}{4k^2 \exp(\tilde{C}_x / k)} \right) \right\}. \quad (43)$$

Використавши (34), (36), одержано інтегральні значення $I_{yy}^{lr} = I_{yy}^{lr}(x)$ і $I_{xy}^{lr} = I_{xy}^{lr}(x)$ нормальної та дотичної складових напружень, що діють в горизонтальному перерізі LR гребеня (вище т. L^m):

$$I_{yy}^{lr}(x) = (x - C_y^*) \left\{ C_y^- - k + k \ln \left[1 + ((x - C_y^*)^2 / 4k^2) \exp((\gamma y^{lr} - \tilde{C}_y) / k) \right] \right\} \Big|_R^L, \quad (44)$$

$$I_{xy}^{lr}(x) = 2k^2 \exp[(\tilde{C}_y - \gamma y^{lr}) / 2k] \ln \left\{ 1 + [(x - C_y^*)^2 / 4k^2] \exp[(\gamma y^{lr} - \tilde{C}_y) / k] \right\} \Big|_R^L, \quad (45)$$

де $y^{lr} \leq y^d - h$ — ордината положення горизонтального перетину гребеня LR .

Стала C^v є єдиною, що не змінює свого значення. Тому її визначаємо із (33), маючи на увазі вирази (40), (41):

$$C^v = \exp[(\gamma C_x^* - C_x^- + \tilde{C}_x) / 2k] / \sqrt{2}. \quad (46)$$

Для визначення сталих $C_y^- = C_y^-|_{LR}$, $\tilde{C}_y = \tilde{C}_y|_{LR}$, $C_y^* = C_y^*|_{LR}$ із співвідношень (28), (29), що виконуються на LR та входять в (44), (45), спочатку, скориставшись виразом (36) та співвідношенням (31), визначаємо величину φ^r і s^r кута φ і півсуми головних напружень s в т. R . Далі, враховуючи φ^r і s^r , маємо:

$$C_y^-|_{LR} = s^r + k \ln(\cos^2 \varphi^r), \quad \tilde{C}_y|_{LR} = C_y^- + k \ln(2(C^v)^2), \quad (47)$$

$$C_y^*|_{LR} = x^r - 2k \exp[(\tilde{C}_y - \gamma y^{lr}) / 2k] \operatorname{tg} \varphi^r, \quad (48)$$

де $x^r = 0$ — абсциса т. R . Аналогічним чином визначені сталі $C_y^- = C_y^-|_{LR^c}$, $\tilde{C}_y = \tilde{C}_y|_{LR^c}$, $C_y^* = C_y^*|_{LR^c}$ та $C_y^- = C_y^-|_{LR^b}$, $\tilde{C}_y = \tilde{C}_y|_{LR^b}$, $C_y^* = C_y^*|_{LR^b}$ із тих же співвідношень (28), (29), що виконуються відповідно на LR^c та LR^b .

Для лінії LC^a довільного вертикального перерізу граничної області, подовж якої виконуються співвідношення (30)–(33), сталі $\tilde{C}_x = \tilde{C}_x|_{LC^a}$, $C_x^* = C_x^*|_{LC^a}$, $C_x^- = C_x^-|_{LC^a}$ визначаються з урахуванням величин φ^{cm} і s^{cm} кута φ і півсуми головних напружень s в т. C^m та її ординати y^m , за виразами:

$$\tilde{C}_x|_{LC^a} = s^{cm} + k \ln(\sin^2 \varphi^{cm}) - \gamma y^m + k \ln(2(C^v)^2), \quad C_x^*|_{LC^a} = y^m - 2k \exp(\tilde{C}_x / 2k) \operatorname{ctg} \varphi^{cm}, \quad (49)$$

та за формулою (33). Параметри характеристик (ліній ковзання) визначимо із інтегралів співвідношень (4) із урахуванням, що $\alpha=0$:

$$\lambda_1 = s - 2k\varphi - \gamma y, \quad \lambda_2 = s + 2k\varphi - \gamma y. \quad (50)$$

Використавши наведені вище викладки для задачі (рис. 2), розроблено алгоритми розрахунку коефіцієнта зв'язності k , побудови ліній вільного контуру $R^u L^m$ ковзання та випереджаючої тріщини $R^d L^m$ (рис. 4).

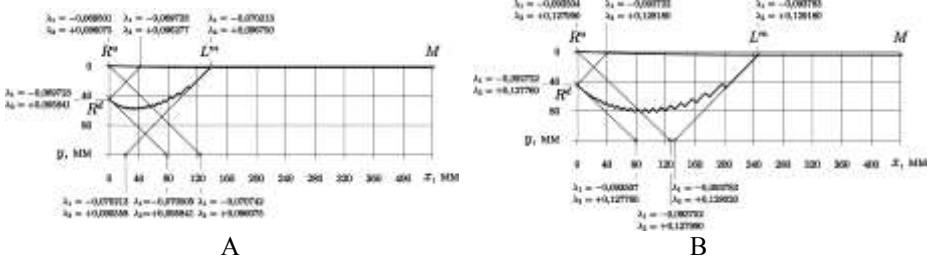


Рис. 4. Крива вільного контуру $R^u L^m$ і випереджаюча тріщина $R^d L^m$ (жирні лінії), а також чотири (тонкі) лінії ковзання по дві на кожне сімейство ($\lambda_i, i=1,2$) для вагомого модельного середовища ($\gamma = 0,00001$ Н/мм³), коли:

А — $I^r_{x0} = 1,2$ Н, $\varphi^{ru} = 3,115$ рад.; В — $I^r_{x0} = 1,6$ Н, $\varphi^{ru} = 3,107$ рад.

Встановлено, що випереджаюча тріщина $R^d L^m$ зароджується в т. R^d і найбільш ймовірно розвивається в просторі між характеристиками різних сімейств, що виходять із т. R^d і L^m . Тут L^m слід розуміти як крайню точку, де крива вільного контуру $R^u L^m$ стає горизонтальною. Розвиток випереджаючої тріщини відбувається подовж відрізків характеристик, перемикаючись із сімейства на сімейство. В реальному середовищі перемикання відбувається в точках неоднорідностей. В зв'язку з цим, в ґрунті випереджаюча тріщина може вийти на денну поверхню в довільному місці, тобто і попереду т. L^m і позаду неї. Останнє суттєво збільшує розміри об'єму, де цілісність ґрунту порушено. Зменшення зв'язності ґрунту сприяє зміщенню вбік деформатора точки виходу на денну поверхню випереджаючої тріщини.

У четвертому розділі наведено моделювання динамічної складової взаємодії стрілкового робочого органу із ґрунтом та розпилення робочої рідини у вільному просторі, що створюється за ним в процесі руху.

На рис. 5, А, В і С показано орієнтований по напрямкові руху вертикальний переріз робочого органу у вигляді двохгранного клина α (висота h), що рухається під шаром ґрунту на глибині H . Випереджаюча тріщина AK створює з горизонталлю кут ψ (апроксимує криву, що з'єднує т. R^d і L^m на рис. 4). В процесі руху ґрунт взаємодіє із лобовою поверхнею KL двохгранного клина, в результаті чого за ним утворюється вільна порожнина (ВП), перехідна область

(ПО) та суцільний потік ґрунту (СПГ). Межею між ВП та ПО є лінія BC (рис. 5,А і С) або LC (рис. 5,В). Межею між ПО та СПГ є лінія $BMNP$.

Рис. 5,А, В і С ілюструє три можливі варіанти польоту поодинокі частинки ґрунту, які обмежують розмір $l_{ВП}$ порожнини ВП: А — частинка, що падає, лобову поверхню KL двохгранного клина α не зачіпає; В — частинка зачіпає лобову поверхню клина і при цьому змінює швидкість руху як за модулем, так і за напрямком; С — частинка проходить лобову поверхню з дотиком, зберігаючи швидкість вільного руху.

Третій варіант мінімізує $l_{ВП}$ і тому є найгіршим. В подальшому саме він і враховується.

На рис. 5,Д, Е і F показано вертикальний переріз та горизонтальну проекцію робочого органу 1 для випадку, коли розпилювач 2 орієнтовано паралельно та під кутом Δ до площини різання. Розпилювач 2 розміщується в кінематичній тіні робочого органу під його склепінням 3; S , S_0 — ширина захвату і оброблюваної смуги; h_0 — висота робочого органу; h_k — висота розташування т. O витoku рідини із розпилювача; β — кут кришення (кінцева величина, початкове значення біля ріжучої кромки β_0); 2γ — кут розхилу лемешів лапи; θ — кут при вершині факелу розпилу робочої рідини; θ_1 — частина факелу розпилу, що виходить за межу оброблюваної смуги; m_1 , m_2 — поодинокі уламки ґрунту, що падають.

Як видно із рис. 5,Е, варіант із горизонтальною орієнтацією факелу розпилу має такі недоліки: на оброблювану смугу S_0 припадає тільки частина $\theta - 2\theta_1$ факелу розпилу θ ; факел розпилу регулярно перетинають поодинокі

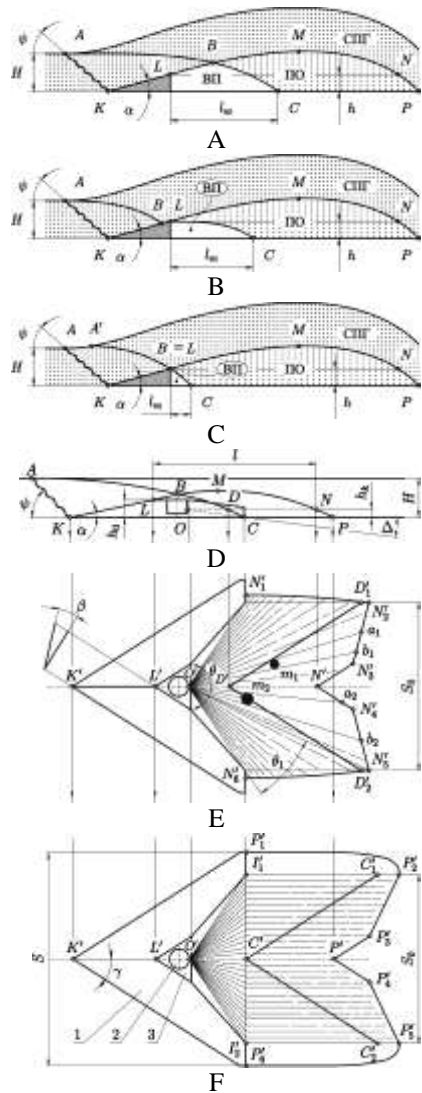


Рис. 5. Схема взаємодії робочого органу із ґрунтом: А, В, С, D — у вертикальному перерізі; Е, F — в плані

уламки ґрунту, що падають, і тим вносять нерівномірність розподілу робочої рідини як по ширині захвату S_0 , так і по шляху руху; оскільки розміри та форма нижньої поверхні суцільного потоку ґрунту (крива $LMNP$ (рис. 5, А, В, С і D) або крива її горизонтального перетину $N'_1N'_2N'_3N'_4N'_5N'_6$ (рис. 5, Е) пов'язані із швидкістю руху робочого органу, а робоча рідина здебільшого наноситься саме на неї, то в такому випадку не вдається досягти програмованого розподілу робочої рідини в межах оброблюваної смуги.

Аби уникнути перерахованих недоліків достатньо: орієнтувати факел розпилу робочої рідини під кутом Δ до площини різання робочого органу; узгодити геометричні параметри β_0 , β , γ , S та h_0 робочого органу, глибину його ходу H та мінімально можливу швидкість руху v_{\min} таким чином, щоб розмірів порожнини ВП було достатньо для розташування в ній розпилювача та його факелу розпилу. Мета досягається, коли виконується умова:

$$\frac{S}{2 \operatorname{tg} \gamma} - \frac{h_0}{\sin \gamma \operatorname{tg} \beta} = \frac{v_{\min} (\sqrt{2H/g} - \sqrt{2(H-h_0)/g})}{1 + \sin^2 \gamma \operatorname{tg}^2 \beta_0}, \quad (51)$$

яку одержано, розглядаючи абсолютно непружне зіткнення ґрунту з лобовою поверхнею KL або $K'L'$, та подальше вільне падіння із прискоренням g частинок m_1 або m_2 , що обмежують знизу ПО (лінії LC , $P_1P'_2$ і $C'_1C'_2$).

Умова (51) гарантує, що факел розпилу робочої рідини досягне площини різання робочого органу, і при цьому його цілісність не буде порушуватися поодинокими частками ґрунту, що падають. Отже, в результаті — розподіл рідини по оброблюваній смузі буде відповідати тому, який забезпечує розпилювач і не залежатиме від швидкості руху та глибини ходу робочого органу. Якщо робочий орган має $S = 270$ мм, $h_0 = 17$ мм, $2\gamma = 65^\circ$, $\beta_0 = 23^\circ$, $\beta =$, то для $H \in [5, 8]$ см мінімальна робоча швидкість v_{\min} повинна складати 1,8 – 2,38 м/с. Відкритим лишається питання зміни розподілу рідини розпилювачем по п'ятну розпилу в залежності від його орієнтації по відношенню до площини обробки.

Для вивчення цього питання використовуємо уявлення про факел розпилу як векторне поле $\vec{B}(x, y, z)$, де x , y , z — незалежні декартові координати. Модуль $B(x, y, z)$ показує скільки рідини (по масі або об'єму) перетікає протягом одиниці часу через одиничну площадку, яка орієнтована перпендикулярно до вектора $\vec{B}(x, y, z)$ і центр якої розміщується в точці (x, y, z) .

Нормуємо положення та характеристику розпилювача, домовившись (рис. 6), що: місце витoku рідини із розпилювача співпадає із т. O прив'язки системи координат $Oxyz$; вісь Oz співпадає із середнім напрямком витoku рідини із розпилювача; поверхня п'ятна розпилу $\omega = \{x, y : a_1 \leq x \leq a_2; b_1 \leq y \leq b_2\}$, на яку розпилюється рідина, розташована на рівні $z = h$ і нормаль-но орієнтована по відношенню до Oz ; експериментальні дані стосовно розпо-

ділу рідини по поверхні ω задаються сітковою функцією розподілу $f_{k,l} = f_{k,l}(x_k, y_l)$, де індекси k, l визначаються сіткою $\omega_{k,l} = \{x_k, y_l : a_1 = x_0 < x_1 < \dots < x_n = a_2; b_1 = y_0 < y_1 < \dots < y_m = b_2\}$; нормованою характеристикою розпилювача є бікубичний сплайн:

$$f = f(x, y) = \sum_{i,j=0}^3 a_{i,j}^{k,l} (x - x_k)^i (y - y_l)^j, \quad (k=0,1,\dots,n; l=0,1,\dots,m), \quad (52)$$

де $x \in [x_k, x_{k+1}]$; $y \in [y_l, y_{l+1}]$; $a_{0,0}^{k,l} = f_{k,l}$; $a_{i,j}^{k,l}$ — визначаються теоретично в процесі інтерполяції експериментальних даних.

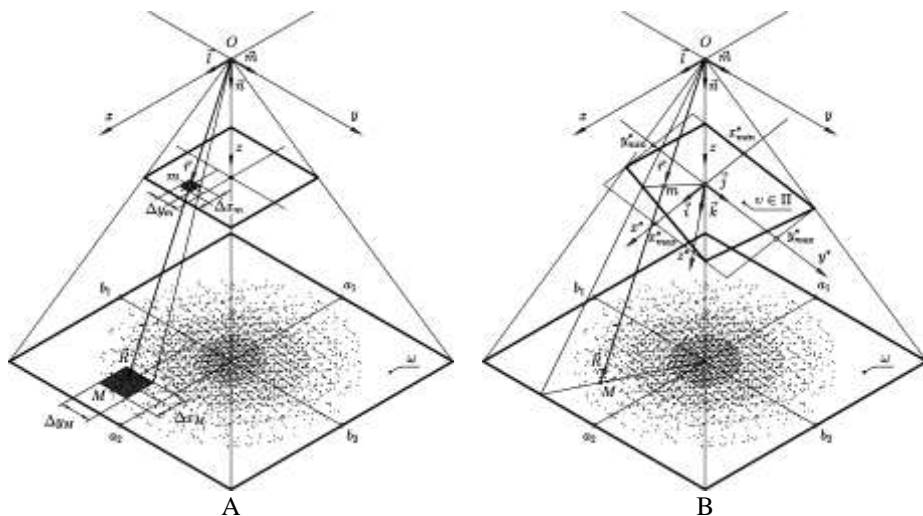


Рис. 6. Схема факелу розпилу для визначення: А — векторного поля $\vec{B}(x, y, z)$; В — розподілу рідини по площині загального положення Π

В такому випадку розподіл рідини подовж лінії $a_1 a_2$ (у фізичному сенсі — по ширині захвату) визначається інтегралом:

$$F(x) = \int_{b_1}^{b_2} f(x, y) dy \Big|_{x \in [a_1, a_2]} = \sum_{l=0}^{m-1} \sum_{j=0}^3 a_{i,j}^{k,l} (x - x_k)^i (y_{l+1} - y_l)^{j+1} \Big|_{x \in [a_1, a_2]}, \quad (53)$$

де $k=0,1,\dots,n-1$. Оскільки $f(x, y) = B_z \Big|_{\omega}$, де B_z проекція \vec{B} на вісь Oz , то

$$f(x, y) = h(x^2 + y^2 + h^2)^{-\frac{1}{2}} B(x, y, z = h), \quad (54)$$

$$B(x, y, z) = h^2 z^{-3} \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} f(xhz^{-1}, yhz^{-1}), \quad (55)$$

$$\vec{B}(x, y, z) = h^2 z^{-3} f(xhz^{-1}, yhz^{-1}) (\vec{l}x, \vec{m}y, \vec{n}z), \quad (56)$$

де \vec{l} , \vec{m} та \vec{n} — одиничні вектори базисного репера $(O, \vec{l}, \vec{m}, \vec{n})$ системи $Oxyz$. Із останнього виразу виходить, що маючи функцію $f(x, y)$ (52), яка визнача-

ється одержаними за нормованих умов експериментальними даними $f_{k,l}(x_k, y_l)$, можна визначити векторне поле $\vec{B}(x, y, z)$, яке описує увесь факел розпилу. Останнє відкриває шлях для визначення функції $f^*(x^*, y^*)$ розподілу рідини по довільній площадці ν площини Π , яку в координатах $Oxuz$ задано рівнянням:

$$x \cos \beta_x + y \cos \beta_y + z \cos \beta_z - p = 0, \quad (57)$$

де $\cos \beta_x, \cos \beta_y, \cos \beta_z$ — направляючі косинуси одиничного вектора-нормалі \vec{k} до Π , а $p > 0$ — стала, що визначає положення Π . Нова система координат $O^*x^*y^*z^*$ та її базисний репер $(O^*, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ показані на рис. 6,В. Домовимося, що \vec{i} співпадає із лінією перетину Π та вертикальної площини Z (на рис. 6 не показана), що містить вісь Oz та перетинається із координатною площиною Oxz під кутом ϕ . В такому випадку для площини Π , де $z^* = 0$ старі координати x, y, z можна визначити через нові x^*, y^* за виразами:

$$\begin{aligned} x(x^*, y^*) &= t \cos \beta_z (x^* \cos \phi + y^* \sin \phi), \\ y(x^*, y^*) &= t [\cos \beta_x \cos \beta_y (x^* \cos \phi - y^* \sin \phi) + y^* \cos \phi \sin^2 \beta_y - x^* \sin \phi \sin^2 \beta_x], \quad (58) \\ z(x^*, y^*) &= x^* \cos \beta_x + y^* \cos \beta_y + p / \cos \beta_z, \end{aligned}$$

де $t = 1 / \sqrt{1 - (\sin \phi \cos \beta_x + \cos \phi \cos \beta_y)^2}$, та одержати функцію

$$f^*(x^*, y^*) = ph^2 z^{-3}(x^*, y^*) f(x(x^*, y^*)h/z(x^*, y^*), y(x^*, y^*)h/z(x^*, y^*)). \quad (59)$$

Застосування виразу (59) дозволяє, маючи $f(x, y)$ (52), одержати розподіл рідини в межах п'ятна розпилу $\nu = \{x^*, y^* : x_{\min}^* \leq x^* \leq x_{\max}^*; y_{\min}^* \leq y^* \leq y_{\max}^*\}$ по довільно орієнтованій площині Π . Граничні значення $x_{\min}^*, x_{\max}^*, y_{\min}^*, y_{\max}^*$ показані на рис. 6,В і визначаються як найменші і найбільші значення координат x^*, y^* точок перетину бокових ребер піраміди факелу розпилу із площиною Π :

$$x_{\min}^* = \min\{x_i^*\}, \quad x_{\max}^* = \max\{x_i^*\}, \quad y_{\min}^* = \min\{y_i^*\}, \quad y_{\max}^* = \max\{y_i^*\}, \quad (i, = 1, 2, 3, 4), \quad (60)$$

$$\begin{aligned} x_i^* &= (\Delta Q_{kl} \cos \beta_z)^{-1} [t^{-1} a_k p \cos \beta_y - p \sin \phi (h \cos \beta_z - Q_{kl})], \\ y_i^* &= (\Delta Q_{kl} \cos \beta_z)^{-1} [p \cos \phi (h \cos \beta_z - Q_{kl}) - t^{-1} a_k p \cos \beta_x], \end{aligned} \quad (k, l = 1, 2), \quad (61)$$

$$\Delta = \cos \phi \cos \beta_y - \sin \phi \cos \beta_x, \quad Q_{kl} = a_k \cos \beta_x + b_l \cos \beta_y + h \cos \beta_z, \quad (62)$$

де a_k і b_l — координати кутових точок основи піраміди факелу розпилу.

В подальшому за допомогою сітки

$$\nu_{k,l} = \{x_k^*, y_l^* : x_{\min}^* = x_0^* < x_1^* < \dots < x_n^* = x_{\max}^*; y_{\min}^* = y_0^* < y_1^* < \dots < y_m^* = y_{\max}^*\}, \quad (63)$$

виконуємо розбиття площадки ν на прямокутні області аналогічно тому, як це виконувалося по відношенню до вихідного п'ятна розпилу ω , та за допомогою

виразу (59) розраховуємо значення функції $f^*(x^*, y^*)$ у вузлових точках:

$$f_{k,l}^* = f^*(x_k^*, y_l^*), \quad (k=0,1,\dots,n; l=0,1,\dots,m). \quad (64)$$

В подальшому інтерполюємо функцію $f^*(x^*, y^*)$ за допомогою того ж бікубічного сплайну (52):

$$f^* = f^*(x^*, y^*) = \sum_{i,j=0}^3 a_{i,j}^{*k,l} (x^* - x_k^*)^i (y^* - y_l^*)^j, \quad (k=0,1,\dots,n; l=0,1,\dots,m), \quad (65)$$

де $x^* \in [x_k^*, x_{k+1}^*]$; $y^* \in [y_l^*, y_{l+1}^*]$; $a_{0,0}^{*k,l} = f_{k,l}^*$; $a_{i,j}^{*k,l}$ — визначаються в процесі інтерполяції розрахункових даних $f_{k,l}^*$ (64).

Після інтегрування функції $f^*(x^*, y^*)$ (65) по y^* одержали функцію $F^*(x^*)$ розподілу рідини по ширині стрічки внесення, яка аналогічна $F(x)$ (53), але стосується довільно орієнтованої площини Π :

$$F^*(x^*) = \sum_{l=0}^{m-1} \sum_{j=0}^3 a_{i,j}^{*k,l} (x^* - x_k^*)^i (y_{l+1}^* - y_l^*)^{j+1} \Big|_{x^* \in [x_{\min}^*, x_{\max}^*]}, \quad (k=0,1,\dots,n-1). \quad (66)$$

На рис. 7 наведено приклад (у безрозмірних одиницях) застосування функцій $f(x, y)$ (52), $f^*(x^*, y^*)$ (65), $F(x)$ (53) та $F^*(x^*)$ (66) розподілу рідини вертикально орієнтованим розпилювачем по горизонтальній та похилій площинах.

Як бачимо (рис. 7,А), розпилювач має дефекти, але в разі вертикальної орієнтації дає майже ідеальний трикутний розподіл рідини по ширині захвату (рис. 7,С — лінія 1), а тому його можна використовувати на штанговому знарядді. При похилій орієнтації розпилювача по відношенню до оброблюваної пло-

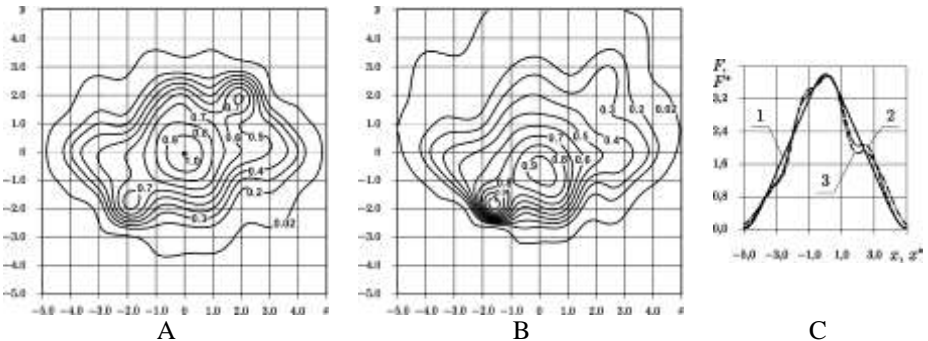


Рис. 7. Приклад розподілу рідини розпилювачем: А — ізолінії функції $f(x, y)$ (52); В — ізолінії функції $f^*(x^*, y^*)$ (65) для площини Π , яка повернута навколо вісі Ox на кут $\frac{1}{6}\pi$ ($\beta_x = \frac{1}{2}\pi$, $\beta_y = \frac{1}{3}\pi$, $\beta_z = \frac{1}{6}\pi$); С — функції $F(x)$ (53) та $F^*(x^*)$ (66) для різних кутів нахилу площини Π ($\beta_x = \frac{1}{2}\pi$, 1 — $F(x)$ при $\beta_y = \frac{1}{2}\pi$, $\beta_z = 0$; 2 — $F^*(x^*)$ при $\beta_y = \frac{1}{3}\pi$, $\beta_z = \frac{1}{6}\pi$; 3 — $F^*(x^*)$ при $\beta_y = \frac{1}{6}\pi$, $\beta_z = \frac{1}{3}\pi$)

щини його п'ятно розпилу деформується та збільшується, а характер розподілу рідини як по площі, так і по ширині захвату змінюється. Цю обставину необхідно враховувати при розробці конструкцій машин для хімзахисту рослин.

У п'ятому розділі наведено результати розробки робочих органів, машин та технологій для внесення рідких добрив та засобів хімічного захисту рослин. В якості базової розглянута відома астраханська технологія вирощування овочевих культур (ВНДЮБ, м. Камизяк), що передбачає стрічкове поверхневе (з наступною заробкою) внесення гербіцидів та керування агрегатів по напрямним технологічним щілинам, які нарізають у ґрунті.

Попередні випробування такої технології в умовах безвідвальної системи землеробства на богарних землях показали, що: агрегат для внесення гербіцидів (Т-70 + ПОМ-630 + КРН-4,2 + борознорізи (6 шт.), загортачі (6 шт.) та щільовачі-направлювачі (2 шт.)) має малу продуктивність; борознорізи конструкції ВНДЮБ надто часто забиваються рослинними рештками; внесення гербіцидів у відкриті борозни, із наступною їх заробкою, призводить до втрат вологи із зони рядків та зменшення ефективності дії гербіцидів; через відкриті технологічні щілини, які нарізані в ґрунті, втрачається волога, і в результаті пригнічуються корисні рослини сусідніх із щілинами рядків.

Частково узакані проблеми вдалося вирішити, застосувавши розроблені борознорізи (рис. 8,А) та загортачі (рис. 8,В і С).

Годинну продуктивність на внесенні гербіцидів було збільшено на 43% і доведено до 1,92 га/год за рахунок нарізання технологічних щілин в ґрунті окремим агрегатом (ДТ-75 + КПП-250 із щільовачами + маркери).

Кардинально

ситуацію вдалося вирішити після розробки: серії робочих органів та їх компонентів (розпилувачів, індивідуальних фільтрів та клапанів-відсікачів); технології водіння сільськогосподарських агрегатів по одній напрямній щілині в ґрунті та технічних засобів для її здійснення (нарізки щілин та водіння агрегатів); технології післяпосівного стрічкового внутрішньогрунтового внесення гербіцидів на посівах просапних культур та можливих варіантів її реалізації із використанням комбінованих — робочих органів, сільгоспмашин або агрегатів.

В основу розробленого робочого органу для внутрішньогрунтового стрічкового внесення гербіцидів (рис. 9,А) покладено стрілчатую лапу із кутом розхилу лемешів 65°, які мали верхню заточку, нижню наплавку твердим сплавом та кут кришення 10...18°. Деталі стійки та стрілчатої лапи з'єднані зварюванням.

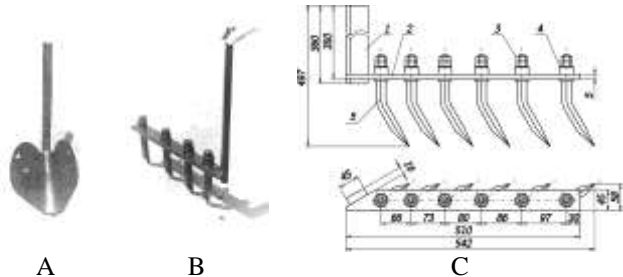


Рис. 8. Розроблені робочі органи: А — борозноріз; В і С — загортач (зовнішній вигляд і креслення)

Щілинний розпилювач із прямокутним шліцом (рис. 9,В) розміщено в кінематичній тині лапи і орієнтовано під кутом $5,5^\circ$ до площини різання.

В процесі руху стрілочата лапа утворює в ґрунті порожнину. Орієнтований на площину різання факел розпилу робочої рідини склепує потоки ґрунту не зачіпає.

На базі цього робочого органу розроблено ряд технічних засобів, які покращили ремонтоздатність (розроблено розбірний стяк), ергономічність (розроблено безнарізкові кріплення розпилювачів) та екологічність (розроблено індивідуальний клапан-відсікач, який об'єднано із одноразовим фільтром). Також розроблено два варіанти робочих органів спеціального призначення — для роботи на грудкуватих ґрунтах та для внесення рідких засобів хімізації із застосуванням технології розмазування.

Основу розробленого робочого органу (рис. 10) складають з'єднані болтами: стрілочата лапа 1, яка виготовлена як одно ціле із похилою частиною стяка, та вертикальна частина 2 стяка. Розпилювач 3, розташований в кінематичній тині лапи, монтується на напрямних 7. Ущільнюється та фіксується він за рахунок пружності консольного кінця трубопроводу 4, який в свою чергу закріплено за допомогою гвинта 5. Індивідуальний фільтр-клапан-відсікач 6 закріплено на ребрах жорсткості стяка 2 болтовим з'єднанням. Для демонтажу розпилювача необхідно фіксувати робочий орган та підняти консольний кінець трубопроводу. Далі слід вийняти розпилювач.

Протічна частина розпилювача (рис. 11) аналогічна тій, що наведена на рис. 9,В. Оригінальним є наявність напрямних, площина яких перетинається із напрямком підводу робочої рідини під прямим кутом.

Індивідуальний фільтр (рис. 12) складається із металевого кільця 5, яке обтягнуте фільтрувальною тканиною 4 та окантоване гумою 6. Клапан-відсікач 7 по конструкції повторює серійну манжету 1-12-24-4 ГОСТ 5752-70, але без

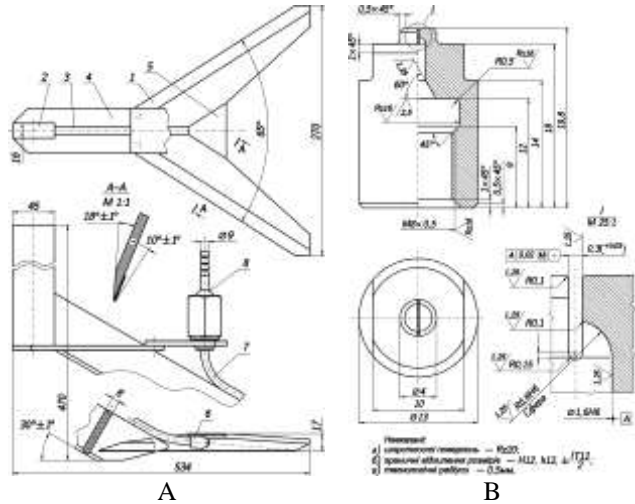


Рис. 9. Розроблений робочий орган (А) та щілинний розпилювач (В) для внутрішньогрунтового стрічкового внесення гербіцидів: 1 — леміш; 2 і 3 — вертикальна та похила частини стяка; 4 — ребро жорсткості; 5 — склепіння; 6 — розпилювач; 7 — трубопровід; 8 — індивідуальний фільтр-клапан-відсікач

пружини. Він обхвачує сідло клапана 8. Перераховані деталі 4 – 8 затискаються між корпусом 1 та ніпелем 3 за допомогою накидної гайки 2. Окантовка 6 перешкоджає ушкодженню фільтрувальної тканини. В процесі роботи рідина подається через ніпель, проходячи через фільтрувальну тканину звільняється від твердих решток, та, пересилуючи пружність клапана-відсікача, проникає через щілину між ним та сідлом. Далі робоча рідина по трубопроводу прямує до розпилювача. В разі падіння робочого тиску, за рахунок сил пружності клапана-відсікача, подача робочої рідини миттєво припиняється.

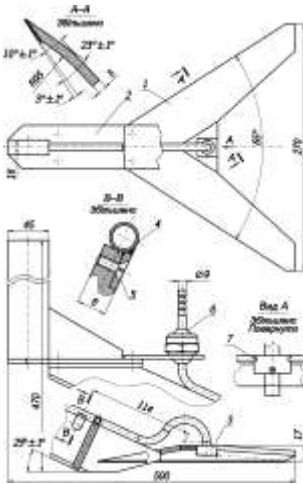


Рис. 10. Розроблений робочий орган: 1 — стрілочата лапа; 2 — від'ємна частина стояка; 3 — розпилювач; 4 — трубопровід; 5 — гвинт; 6 — індивідуальний фільтр-клапан-відсікач; 7 — напрямні для розпилювача

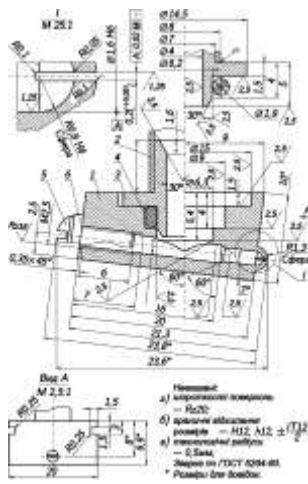


Рис. 11. Розроблений розпилювач щілинний із прямокутним шліцом та напрямними: 1 — корпус; 2 — трубопровід; 3 — втулка; 4 — кільце ущільнююче; 5 — гвинт-заглушка; 6 — шайба

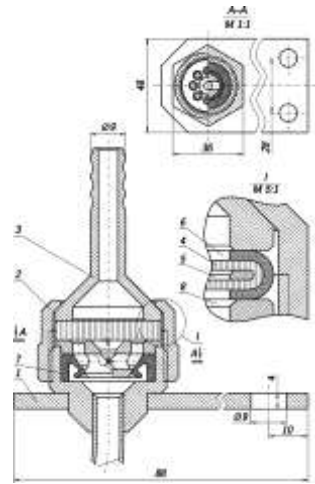


Рис. 12. Розроблений індивідуальний фільтр-клапан-відсікач: 1 — корпус; 2 — гайка накидна; 3 — ніпель; 4 — тканина фільтрувальна; 5 — кільце; 6 — окантовка; 7 — клапан-відсікач; 8 — сідло клапана

На рис. 13 показано розроблений робочий орган, який призначений для внесення рідких засобів хімізації із застосуванням технології розмазування. Його особливістю є наявність пруткового козирка 7, що складається із закріплених з дотиком, паралельних одне одному гнутих у вертикальній площині пружних прутків і який, по-перше, перешкоджає попаданню частинок ґрунту в зону дії розпилювача 6, а, по-друге, своїми загнутими донизу кінцями сприяє розмазуванню препарату по площині різання.

Агрегат для стрічкового внутрішньогрунтового внесення гербіцидів (рис. 14) складався із підживлювача-обприскувача 1 (ПОМ-630), трактора 2 (ЮМЗ-6), культиватора 3 (КРН-4,2), який було дообладнано послідовно встановленими долотами, розробленими робочими органами та шлейфами (по 6 шт.), а також двома розробленими щілювачами-направлювачами 4, згідно рис. 15.



Рис. 14. Агрегат для стрічкового внутрішньогрунтового внесення гербіцидів: 1 — підживлювач-обприскувач ПОМ-630; 2 — трактор ЮМЗ-6; 3 — культиватор КРН-4,2; 4 — щілювач-направлювач

Нарізку технологічних щілин в ґрунті виконували окремим агрегатом ДТ-75 + ЩП-00-000 або комбінованим агрегатом на базі трактора Т-70, який виконував нарізку щілин в ґрунті разом із стрічковим внутрішньогрунтовим внесенням гербіцидів.

Стрічкове внутрішньогрунтове внесення гербіцидів виконували як до посіву, так і у відповідності із розробленою технологією післяпосівного внесення. Для зменшення втрат вологи із ґрунту через технологічні щілини розроблено технологію і технічні засоби для нарізки технологічних щілин та водіння сільгосп агрегатів по одній щілині.

У шостому розділі наведено результати експериментального дослідження технології та технічних засобів для стрічкового внутрішньогрунтового внесення гербіцидів. Для випробування розпи-

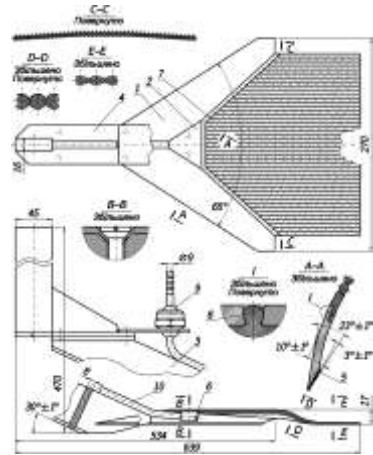


Рис. 13. Розроблений робочий орган: 1 — леміш; 2 — склепіння; 3 і 4 — похила та вертикальна частини стояка; 5 — наплавлений шар; 6 — розпилювач; 7 — пружковий козирок; 8 — фіксатор козирка; 9 — індивідуальний фільтр-клапан-відсікач; 10 — трубопровід

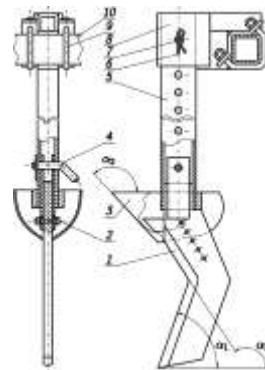


Рис. 15. Розроблений щілювач-направлювач

лювачів, шляхом одержання даних стосовно розподілу рідини по площині та подальшої їх інтерполяції (одержання нормованої характеристики), розроблено стенд (рис. 16). Він включає: матрицю 1 із пробірками, два стояки 2, рухому балку кріплення розпилювачів 3, обертовий відвідний пристрій 4, трубопровід 5 та ємність для робочої рідини, ресивер, манометр, кран для керування подачею робочої рідини до розпилювача і компресор.



Рис. 16. Стенд для випробування розпилювачів

При випробуванні на балці монтували розпилювач, відвідний пристрій переводили під нього і в ємність для робочої рідини наливали воду. Далі вмикали компресор. Коли робочий тиск в ресивері доходив до потрібних 0,2...0,6 МПа відкривали подачу робочої рідини до розпилювача і після виходу його на усталений режим роботи засікали час та швидко відводили відвідний пристрій за межі матриці. Через хвилину відвідний пристрій вертали в попереднє положення і припиняли подачу робочої рідини.

На рис. 17 показано характеристику розробленого розпилювача (рис. 9,В).

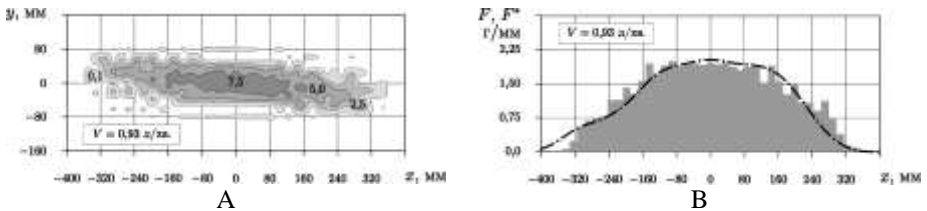


Рис. 17. Розподіл рідини розпилювачем №1, який виготовлено згідно рис. 9,В: А — нормована двомірна характеристика, ізолінії відповідають кількості робочої рідини (в г), що припадає на 18x18 мм²; В — гістограма відповідає кількості робочої рідини, що припадає на 1 мм ширини захвату при вертикальній орієнтації, а графік — при орієнтації розпилювача під кутом 45° до робочої поверхні

На рис. 18 показано узагальнені характеристики розроблених щільних розпилювачів, виготовлених у відповідності із рис. 9,В.

Для вивчення кінцевого розподілу робочої рідини під шаром ґрунту, що досягався застосуванням розроблених технічних засобів і технологій, використовували радіоізотопний метод досліджень. Такий метод дозволив одержати оцінки параметрів розподілу не вдаючись до виймання проб із ґрунту. Для його реалізації створено польовий дослідницький агрегат (рис. 19).

Розроблений дослідницький агрегат передбачав водіння по технологічним щілинам у ґрунті. В якості робочої рідини використовували або воду (до виходу на усталений режим), або мічений ізотопом розчин. До робочих органів рідина подавалась за рахунок тиску повітря, що надходило від компресора трактора.

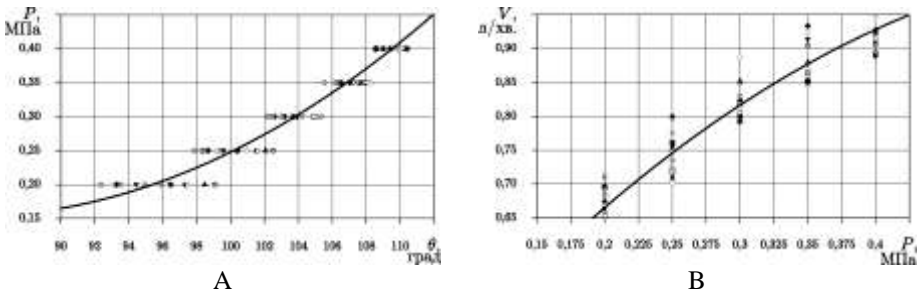
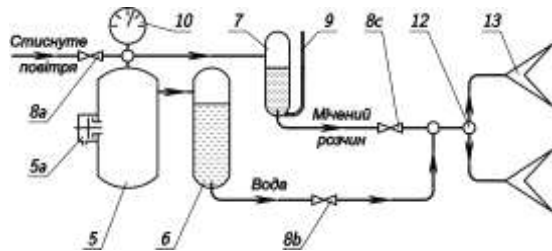


Рис. 18. Залежності між кутом θ розхилу факела розпили (А), хвилинними витратами V робочої рідини (В) та робочим тиском P

В якості основного приладу для оцінки законів розподілу міченої радіоізотопом робочої рідини використовували радіонуклідний аналізатор NC-482В болгарського виробництва із сцинтиляційним детектором ND-484В. На його основі створено польовий вимірювальний комплект, рис. 20.



А



В

Рис. 19. Польовий агрегат (А) та принципіальна схема навіпної дослідницької машини: 1 — рама; 2 — секція культиватора КРН-4,2; 3 — щіловач-направлювач; 4 — робоче місце оператора; 5 — ресивер; 5а — запобіжний клапан; 6 і 7 — смоністі для води та міченого ізотопом розчину; 8 — крани керування подачею стиснутого повітря (8а), води (8б) та міченого розчину (8с); 9 — показчик рівня; 10 — манометр; 11 — трубопровід подачі стиснутого повітря; 12 — система трубопроводів для подачі робочої рідини до робочих органів; 13 — робочий орган для стрічкового внутрішньогрунтового внесення гербіцидів

В двохкоординатному режимі вимірювальна рамка дозволяла сканувати ґрунт, переміщуючи детектор по площині із кроком 20 мм. Однокоординатний режим передбачав сканування проби, що міститься в пробнику, шляхом переміщення детектора подовж прорізи в ньому. Для виймання проб із ґрунту передбачено спеціальне знаряддя (рис. 20,Е). Двокоординатні вимірювання давали змогу вивчити розподіл хімікату по площині, а одно-координатні — по глибині.

Для оцінки роботоздатності комплекту апаратури створена лабораторна вимірювальна установка (рис. 21) з можливістю переміщення детектора (2) по

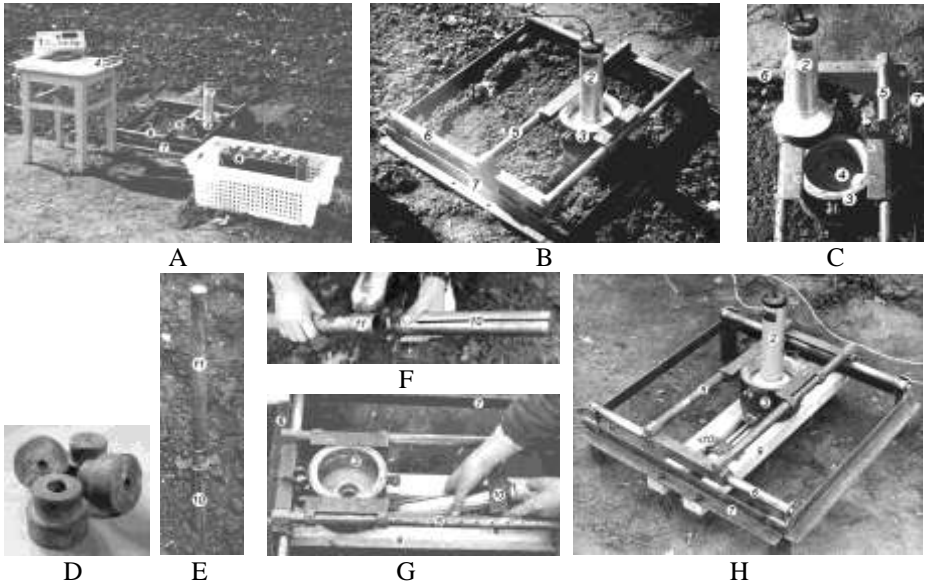


Рис. 20. Польовий вимірювальний комплект (А) та вимірювальна рамка (В — загальний вид; С — із вийнятим детектором), які налаштовано на двохкоординатні вимірювання, а також коліаторні вставки (D), знаряддя для виймання проб із ґрунту (Е і F — в стані виймання і відокремлення проби), вимірювальна рамка (G і H — в процесі налаштування та готовому стані для однокоординатних вимірювань): 1 — радіонуклідний аналізатор NC-482B; 2 — сцинтиляційний детектор ND-484B; 3 — каретка; 4 — коліаторна вставка; 5 — балка рукохима; 6 — напрямна; 7 — рамка; 8 — акумуляторна батарея 6СТ-132; 9 — ложе; 10 — пробник; 11 — рукоять

висоті. Для того, щоб моделювати різну товщину покривного шару ґрунту, використовували надставні кільця 8 (10 шт.) висотою по 10 мм кожне. Наявний комплект (5, 7, 10 і 14 мм) коліаторних вставок дозволив визначитися із діаметром отвору коліатора.

Для налаштування та оцінки кута нахилу розпилувача створено пристрій (рис. 22,А). Принцип його застосування зрозуміло із схеми (рис. 22,В).

Ізотопні випробування проводились у два етапи: перший — у співпраці із відділом радіохімії і радіоекології НДІ хімії Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна; дру-

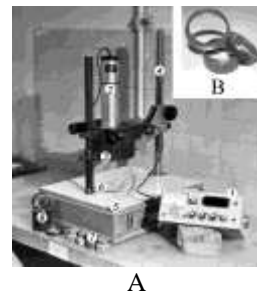
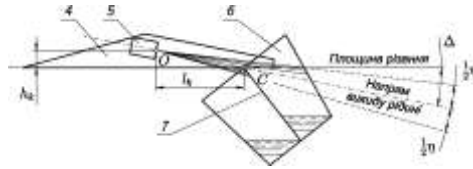


Рис. 21. Лабораторна установка (А) та надставні кільця (В): 1 — аналізатор NC-482B; 2 — сцинтиблок ND-484B; 3 — каретка; 4 — стояк; 5 — стіл; 6 — проба; 7 — коліаторні вставки; 8 — кільця надставні



А



В

Рис. 22. Пристрій для регулювання кута нахилу розпилювача в дії (А) та схема його застосування (В): 1 — робочий орган; 2 — пристрій для регулювання кута нахилу розпилювача в зборі; 3 — мірний стакан; 4 — стрілочата лапа; 5 — розпилювач; 6 — ємкість (відро); 7 — перегородка

гий — із НТК “Інститутом монокристалів” НАН України. На першому етапі в якості радіонукліда було вибрано чистий бета-випромінювач фосфор-32 (^{32}P) в складі водного розчину ортофосфорної кислоти. До уваги приймалось зареєстроване тормозне гама-випромінювання. Такий підхід недостатньо точний. Тому на другому етапі використовували гама-випромінювач ^{99m}Tc — це ядерний ізомер технецію-99. Його період піврозпаду складає 6,02 год., а в спектрі домінують гама-кванти енергією 140,466 KeV. Радіонуклід технецій-99m у формі пертехнетату натрію $NaTc_4$ в складі водного розчину хлориду натрію $NaCl$ найшов широке застосування в діагностичній медицині. Розроблено достатньо дешеві методи одержання ^{99m}Tc “на місці”, тобто безпосередньо у профільній установі.

Співпраця із Інститутом монокристалів НАН України продовжується понад 15 років. За цей час створено серію спеціалізованих твердотільних детекторів на основі лужногалоїдних сцинтиляторів $NaI(Tl)$, $CsJ(Na)$ та $CsJ(Tl)$.

Розроблена методика розрахунку необхідної початкової активності (Бк) препарату наведена в [2] (результати в табл. 1). Методика проведення експериментів та обробки результатів передбачає врахування поправки на піврозпад.

Результати оцінки розподілу робочої рідини під шаром ґрунту (рис. 23, А і В, та D і E) свідчать, що горизонтальна орієнтація розпилювача в робочому органі для стрічкового внутрішньогрунтового внесення гербіцидів призводить до посилення нерівномірності розподілу. На користь похилої орієнтації розпилювача також указують результати виміру глибини заробки препарату при його внесенні розробленими робочими органами у випадку похилої та горизонтальної орієнтації розпилювача одразу після внесення без імітації посіву. В цілому при кутах нахилу розпилювача $5,7 - 7^\circ$ в 2,63 – 3,67 разів зменшується коефіцієнт варіації щільності розподілу препарату уздовж осі смуги внесення і в 3 рази — для середньої глибини внесення препарату.

Коли глибина посіву перевищує глибину внутрішньогрунтового внесення гербіцидів, то проведення посіву після виконання операції внесення гербіцидів також призводить до погіршення рівномірності розподілу робочої рідини під шаром ґрунту (рис. 23, А і С, та D і F). Враховуючи вищесказане, програмованого розподілу робочої рідини під шаром ґрунту можна досягти за двох умов: розпилювач встановлюється під кутом до дна борозни; операція внесення гер-

Розрахунок необхідної для проведення експериментів активності препарату на основі натрію пертехнетату ^{99m}Tc екстракційного

Найменування параметру		Позначення	Числове значення	Одиниці виміру
Основні вихідні величини				
1	Швидкість руху робочого органу	v	2,01	м/с
2	Витрати робочої рідини одним розпилювачем	V	0,99	л/хв.
3	Ширина смуги внесення	b	24,00	см
4	Глибина заробки препарату	h_{nc}	4,0	см
5	Висота розташування детектора	h	7,5	см
6	Радіус коліматора	r	0,5	см
7	Інтенсивність фонового випромінювання	Ω_f	1,2	імп./с
8	Коефіцієнт перевищення сигналу над фоном	k_f	7,0	
9	Лінійний коефіцієнт поглинання	μ	0,215	см ⁻¹
10	Коефіцієнт запасу активності	k_a	2,0	
11	Ефективність вимірювань	η_a	0,9	
12	Інтервал часу, між моментами одержання препарату та завершення i -того ($i=1, 2, 3$) досліджу:	$t_1; t_2; t_3$	15; 18; 21	г
13	Тривалість кожного досліджу	Δ_{ti}	3,0	г
Розрахункові величини				
14	Витрати робочої рідини на кожний дослід	Q	82,09	мл
15	Загальна площа, яка обробляється в досліді	S	$2,4 \times 10^4$	см ²
16	Кількість робочої рідини, яка припадає на одиницю обробленої площі	\bar{q}_s	$3,42 \times 10^{-3}$	мл/см ²
17	Початкова активність препарату, яка необхідна для проведення i -того ($i=1, 2, 3$) досліджу:	$A_{0\Sigma}^1; A_{0\Sigma}^2; A_{0\Sigma}^3$	5,9;8,3;11,7	ГБк
18	Сумарна активність препарату в кінці i -того ($i=1, 2, 3$) досліджу:	$A_{t\Sigma}^i$	1,469	ГБк
19	Активність препарату під коліматором перед початком досліджу	A_t	34,03	КБк
20	Питома активність шару випромінювання, перед початком досліджу	A_{ts}	43,33	КБк/см ²

біцидів виконується після посіву шляхом застосування комбінованих робочих органів, машин чи агрегатів, або шляхом застосування окремих агрегатів, що рухаються із використанням технологічних щілин у ґрунті. Оскільки останній варіант реалізувати найважче, то досліджувався саме він.

Щоб в'яснити, якою повинна бути різниця Δ_h в глибині заробки попере-

дно висіяного насіння корисних культур (кукурудзи, соняшника, цукрового буряку та ін.) та внесення гербіцидів у разі застосування розробленої технології післяпосівного стрічкового внутрішньогрунтового їх внесення розроблена методика оцінки розподілу насіння подовж та поперек стрічки розсіву. При її розробці задіяно теоретичний метод Монте-Карло та польові досліді. Вона передбачає визначення відхилення рослин від лінії рядка методом ковзного середнього по п'яти рослинам та внесення поправок у параметри розподілу рослин по ширині стрічки розсіву в залежності від параметрів розподілу рослин подовж вісі рядка. Для цього одержано відповідні математичні вирази та таблиці коефіцієнтів. Дослідами встановлено, що при застосуванні розробленої технології стрічкового післяпосівного внесення гербіцидів, яка виконується самостійним агрегатом, Δ_h складає не менше 20 мм.

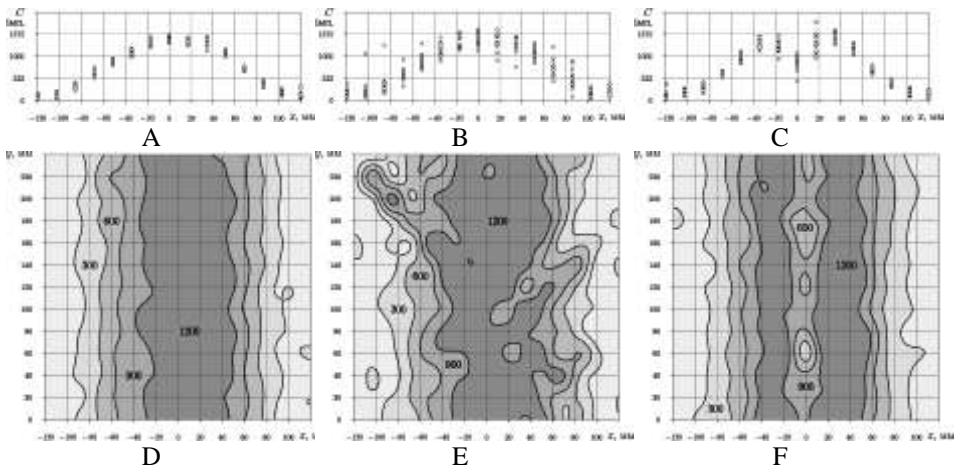


Рис. 23. Результати експериментів з оцінки розподілу препарату під шаром ґрунту розробленим робочим органом: А, В, С — по ширині оброблюваної смуги; D, E, F — по поверхні обробки; А, D та В, Е — при похилій (5,5°) та горизонтальній орієнтації розпилювача одразу після внесення; С, F — при похилій (5,5°) орієнтації розпилювача, після проходу (20 мм глибше) сошника сівалки; x та y — декартові координати, перша вимірюється впоперек вісі рядка, а друга — подовж нього; 300, 600, 900 і 1200 — інтенсивність випромінювання (позначена полями одного відтинку), що пропорційна кількості препарату, яка припадає на одиницю площі

Дослідження твердості ґрунту F в залежності від глибини h (рис. 24) показали, що виконання самостійної операції післяпосівного внутрішньогрунтового внесення гербіцидів додатково призводить до ущільнення ґрунту в зоні заробки насіння корисних рослин та одночасного рихлення приповерхневого шару. В умовах недостатнього зволоження, що характерно для більшості райо-

нів України, це позитивний момент і сприяє підвищенню ефективності гербицидної дії (табл. 2) в 2,0 – 6,0 разів, дружності появи сходів та урожайності.

Таблиця 2

Динаміка росту бур'янів у посівах кукурудзи в залежності від способу внесення гербициду ерадикан (80%-вий)

Фаза розвитку рослин кукурудзи	Кількість бур'янів на трьох дослідних ділянках (шт. на 1 м ² / маса, в г на 1 м ²)		
	№1	№2	№3
Базовий варіант			
2 – 3 листки	16,2 / —	23,7 / —	14,1 / —
8 – 9 листків	26,4 / 67,1	31,2 / 75,4	18,7 / 83,0
Молочної стиглості зерна	24,7 / 59,8	26,5 / 76,1	23,4 / 98,8
Розроблений варіант			
2 – 3 листки	5,3 / —	4,9 / —	7,1 / —
8 – 9 листків	6,1 / 11,2	7,5 / 14,2	9,4 / 22,1
Молочної стиглості зерна	6,7 / 14,8	9,1 / 15,1	9,9 / 36,0

Оскільки експериментами встановлено, що оптимальна глибина заробки гербицидів складає 4 – 5 см і менше, то це в значній мірі полегшує можливість проведення операції внутрішньогрунтового внесення гербицидів після посіву.

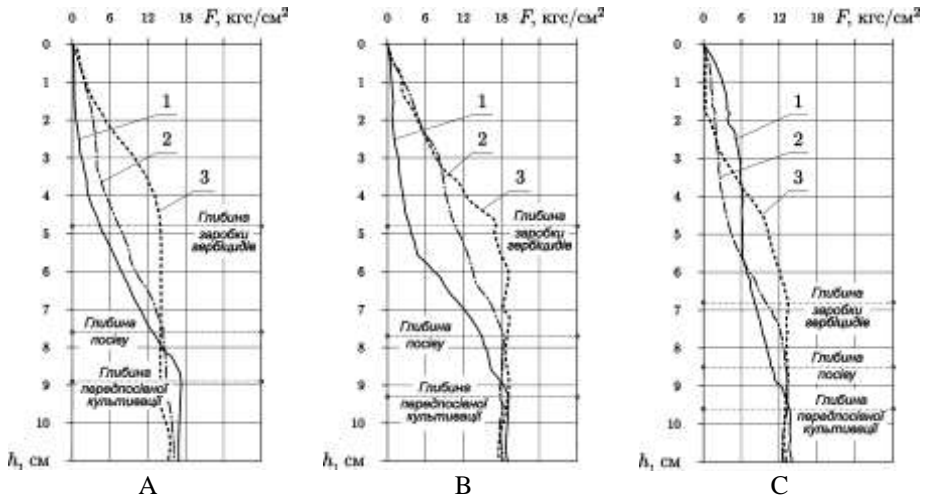


Рис. 24. Типові графіки твердості ґрунту в залежності від глибини для трьох полів (А, В, С) після виконання трьох операцій: 1 — передпосівної культивування; 2 — посіву кукурудзи; 3 — розробленого післяпосівного внутрішньогрунтового внесення гербицидів

Із наведеного витікає висновок про перевагу післяпосівного внесення гер-

біцидів шляхом застосування комбінованих знарядь, у яких робочі органи для внесення гербіцидів розташовуються на власних підвісках позаду посівних секцій, або комбінованих агрегатів, які тим чи іншим чином об'єднують сівалку і машину для внутрішньогрунтового внесення гербіцидів. Тільки так буде досягтися, по-перше, програмований розподіл гербіцидів під шаром ґрунту і, по-друге, доущільнення останнього в зоні заробки насіння корисних культур.

Результатами випробувань із застосуванням розробленого у Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна методу внутрішньоклітинного мікроелектрофорезу встановлено, що він може слугувати основою для розробки ефективних методів для експрес-оцінки безпечності та ефективності гербіцидної дії.

Застосування розроблених технологій та технічних засобів дозволяє досягти економії препаратів, а відтак і зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище, до 74 %. Для 1 тис. га площі кукурудзи на зерно тільки за рахунок економії препаратів річний економічний ефект складає, щонайменше, 76 тис. грн., а термін окупності додаткових капіталовкладень — 2,6 років. Річний економічний ефект від впровадження розроблених технічних засобів у виробництво ВАТ “Галещина, машзавод” (м. Нова Галещина) склав 5,4 млн. грн.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової проблеми, що виявляється: в розвитку теорії розподілу рідин під шаром ґрунту, зокрема теорії їх розпилювання з представленням факела розпилю в вигляді векторного поля; у розвитку теорії ґрунтообробки з представленням ґрунту як вагового непружного ідеально-зв'язного суцільного середовища, напружений стан якого описаний квазілінійною системою рівнянь в частинних похідних гіперболічного типу. Це дозволило створити нові робочі органи для внутрішньогрунтового внесення рідких засобів хімізації і розробити нові технології післяпосівного внесення гербіцидів на посівах просапних культур, які підвищують якість розподілу хімікатів по оброблюваних поверхнях і покращують їх екологічність та ергономічність.

Головним підсумком виконаної роботи є такі результати:

1. Проведеним узагальненням відомих досліджень застосування рідких засобів хімізації в рослинництві встановлено: найбільш ефективними є методи їх внутрішньогрунтового локального внесення; із гербіцидів найбільш результативними і найбезпечнішими в екологічному сенсі є ґрунтові препарати; має місце багаторічна тенденція до зниження норм витрат препаратів та відповідного зростання вимог на точність і програмованість їх розподілу в межах оброблюваних поверхонь. Відсутність методів вирішення зазначених проблем привела до збільшення розриву між можливим і тим, що вимагається. Вирішення проблем внутрішньогрунтового внесення рідких засобів хімізації неминуче пов'язане із розвитком теорій ґрунтообробки і розподілу рідин гідравлічними

розпилювачами. Проведеним аналізом наявних положень із теорій ґрунтообробки, пластичності і граничної рівноваги суцільних середовищ встановлено, що для підвищення адекватності моделювання взаємодії робочих органів із ґрунтом необхідно досліджувати і розвивати методи розв'язування основних систем рівнянь, які описують ці моделі. Розробка складніших і формально більш адекватних математичних моделей призводить до зниження адекватності їх конкретного застосування. При вирішенні проблем ґрунтообробки за основу необхідно прийняти уявлення про ґрунт як вагове непружне ідеально-зв'язне суцільне середовище, яке проявляє зовнішнє тертя і підпорядковується теорії граничної рівноваги. Для орного шару чорнозему щільність складає $1,0 - 1,5 \times 10^{-5} \text{ Н/мм}^3$, а коефіцієнт зчеплення менший $0,15 \text{ Н/мм}^2$. Коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту по сталі дорівнює $0,45 - 0,70$ і з урахуванням налипання для глинистих ґрунтів може досягати $0,60 - 0,95$.

2. В розвиток зазначених уявлень про ґрунт його стан граничної рівноваги описано квазілінійною системою рівнянь в частинних похідних гіперболічного типу, розроблено метод розв'язання системи (переходу на сітку характеристик), який базується на прямій заміні незалежних змінних і який дозволив одержати математичні вирази, що виконуються уздовж прямих, паралельних осям декартових координат, і зв'язують між собою параметри напруженого стану та незалежні координати.

3. Узагальненням одержаних теоретичних результатів і положень теорій пластичності та граничної рівноваги суцільних середовищ вперше сформульовано правило знаків дотичних напружень, яке складається з двох частин. Відповідно до першої — визначається напрям дії вектора дотичної компоненти повного напруження незалежно від знаку його модуля, а вже потім, відповідно до другої — визначається її знак. При цьому враховується діюче правило відносно знаків і ранжирування головних нормальних напружень.

4. Теоретичними дослідженнями вперше встановлено, що розвиток випереджаючої тріщини, що утворюється попереду ґрунтообробного робочого органу, відбувається шляхом перемикання між поверхнями (у вертикальному перетині — лініями) ковзання. Пара ліній ковзання, які зароджуються біля ріжучої кромки та перетинаються під прямим кутом, відходять вгору та вниз. В реальних середовищах, у яких місця переходів із сімейства на сімейство визначаються неоднорідностями, форма тріщини має ймовірнісний характер і може бути вельми складною. Стосовно робочих органів для внутрішньоґрунтового внесення рідких засобів хімізації форма і розміри випереджаючої тріщини визначають геометрію області руйнування і, як наслідок, форму і розміри простору, який утворюється в кінематичній тіні робочого органу в процесі його руху і використовується для розташування розпилювача та його факелу розпилю.

5. Для управління і розрахунку об'єму порожнини, яка утворюється в кінематичній тіні робочих органів, достатньої для розміщення в ній розпилювача і його факела розпилю, одержано вперше математичні вирази, що зв'язують кінематичні і режимні параметри плоскоріжучих стрілочастих робочих органів для

внутрішньогрунтового внесення гербіцидів. Якщо плоскоріжучий стрілочастий робочий орган має ширину захвату 270 мм, максимальну висоту склепоутворюючої частини 17 мм, кут розхилу лемешів біля ріжучої кромки 65 град., кут кришення лемешів, що змінюється від 23 град. (біля ріжучої кромки) до 10 град. (біля верхнього обрізу лемешів), то для внесення робочої рідини на глибину 5 – 8 см мінімальна робоча швидкість повинна складати 1,8 – 2,38 м/с.

6. Для прогнозування кінцевого розподілу рідини розпилювачами з різним розташуванням і орієнтацією в конструкціях робочих органів для внутрішньогрунтового внесення рідин розроблені вперше: математичні методи подання нормованої характеристики (розподілу рідини в межах плями розпилу) будь-якого гідравлічного розпилювача на основі інтерполяції експериментальних даних за допомогою бікубічного сплайну; математичні методи, які на основі нормованої характеристики розпилювача і уявлення про факел розпилу як про векторне поле дозволяють розрахувати розподіл рідини по площині загального положення і, зокрема, по площині різання розроблених робочих органів для внесення рідин.

7. Для стрічкового внутрішньогрунтового внесення гербіцидів розроблено три типи конструкцій робочих органів різного призначення. В конструкції, яка призначена для роботи на грудкуватих ґрунтах, необхідно застосовувати склепоутворюючу частину, що складається із прутиків. З метою зниження норм витрат препаратів (<50 л/га) з одночасним поліпшенням показників рівномірності їх розподілу під шаром ґрунту запропонована технологія розмазування. Реалізується вона шляхом застосування криволінійних в вертикальній площині прутиків, які в робочому режимі притискаються ґрунтом до дна борозни і так сприяють розмазанню препарату, попередньо нанесеного на дно розпилюванням. З метою підвищення ергономічності застосування та обслуговування розроблених робочих органів створено зсувні (по спрямовуючим) безнарізкові конструкції кріплення розпилювачів.

8. Створено технології стрічкового внутрішньогрунтового внесення рідких засобів хімізації, які базуються на використанні самостійних машин і комбінованих агрегатів, машин або робочих органів. Для першого варіанту, коли стрічкове внесення рідких засобів хімізації здійснюється як самостійна операція за допомогою водіння агрегатів по спрямовуючим щілинам в ґрунті, з метою мінімізації втрат вологи із них, розроблено низку пристроїв для водіння агрегатів по одній спрямовуючій щілині, а також — для нарізки таких щілин.

9. Стосовно розроблених робочих органів для внутрішньогрунтового внесення гербіцидів теоретичними і експериментальними ізотопними дослідженнями доказано, що програмованого розподілу рідини під шаром ґрунту можна досягти тільки у разі похилої по відношенню до дна борозни орієнтації розпилювача. При кутах нахилу розпилювача 5,7 – 7° в 2,63 – 3,67 разів зменшується коефіцієнт варіації щільності розподілу препарату уздовж осі смуги внесення і в 3 рази — для середньої глибини внесення препарату. Розробленими ізотопними методами доведено, що у разі, коли посів виконується на більш ніж 20 мм глибше, ніж стрічкове внутрішньогрундове внесення гербіцидів, то гербіциди

краще вносити після посіву. Тільки в такому випадку вдається одержати програмований розподіл препарату під шаром ґрунту.

10. Для експрес-оцінки ефективності і безпечності (для людини) гербіцидної дії обґрунтовано використання методу внутрішньоклітинного мікроелектрофорезу та доведена його висока перспективність. Екологічність та ергономічність реалізовані в розроблених конструктивно-технологічних рішеннях. Польовими експериментами підтверджено перевищення в 2,0 – 6,0 разів ефективності дії препарату ерадикан (80%-вий) при його стрічковому внутрішньогрунтовому внесенні на глибину 4 – 5 см в порівнянні з традиційним поверхневим способом його внесення з подальшою заробкою дисковими знаряддями на посівах кукурудзи. Тільки за рахунок економії препарату економічна ефективність післяпосівного стрічкового внутрішньогрунтового внесення ерадикану на посівах кукурудзи на зерно для 1 тис. га склала 76 тис. грн, а термін окупності додаткових капіталовкладень — 2,6 років. При цьому витрачено в 3,9 разів менше гербіцидів, виключено їх вивітрювання, фотохімічний розпад і змив, а відтак, в що найменше стільки ж разів, зменшено негативний вплив на довколишнє середовище. Річний економічний ефект від впровадження розроблених технічних засобів у серійне виробництво ВАТ “Галещина, машзавод” (м. Нова Галещина) склав 5,4 млн. грн.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мельник В. И. Предельное равновесие сплошных неупругих сред: [монография] / В. И. Мельник. — Харьков: КП Типография № 13, 2006. — 368 с.
2. Мельник В. И. Внутрипочвенное внесение жидкостей в растениеводство: [монография] / В. И. Мельник. — Харьков: “Міськдрук”, 2010. — 439 с.
3. Мельник В. И. Некоторые результаты применения опытных технических средств для ленточного предпосевного внесения гербицидов / В. И. Мельник, Н. Ч. Куринный // Механизация работ в полеводстве: Сб. научн. тр. / Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства. — М.: МИИСП, 1986. — С. 37 – 40. (Здобувачем обґрунтовано причини низької роботоздатності відомих та ефективність і принцип дії нових робочих органів).
4. Макеев Н. З. Агрегат для внутрипочвенного внесения гербицидов / Н. З. Макеев, В. И. Мельник // Кукуруза и сорго. — 1989. — № 3. — С. 36 – 40. (Здобувачем обґрунтовано принцип дії робочих органів та процесів стрічкового внутрішньогрунтового внесення гербіцидів).
5. Мельник В. И. Внутрипочвенное внесение / В. И. Мельник // Кукуруза и сорго. — 1991. — № 2. — С. 39 – 43.
6. Мельник В. И. Экология, эргономика и внутрипочвенное внесение гербицидов / В. И. Мельник // Кукуруза и сорго. — 1994. — № 2. — С. 5 – 7.
7. Мельник В. И. Рабочий орган для внутрипочвенного внесения гербицидов / В. И. Мельник // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 1994. — № 3. — С. 15 – 19.

8. Мельник В. И. Lentочное внесение / В. И. Мельник // Кукуруза и сорго. — 1995. — № 2. — С. 12 – 14.
9. Makeev N. Z. Ob obtekanii prepyatstviya pochvoy. / N. Z. Makeev, V. I. Melnik // Tekhnika v sel'skom khozyaystve. — 1996. — № 4. — С. 23 – 26. (Здобувачем створено математичну модель взаємодії ґрунту із перешкодою).
10. Мельник В. И. Экспресс-оценка безопасности и хозяйственной эффективности применения гербицидов / В. И. Мельник // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. — Харків: ХДТУСГ, 2000. — Вип. 1. — С. 134 – 142.
11. Мельник В. И. Преобразование независимых переменных по характеристическому решению гиперболических квазилинейных систем двух уравнений / В. И. Мельник // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Динаміка і міцність машин. — Харків: НТУ “ХПІ”. — 2001. — № 25. — С. 118 – 125.
12. Grinev V. V. Crystal shape variation as a way to improve the axial directionality of scintillation gamma detectors / V. V. Grinev, V. I. Melnik, V. Yu. Pedash // Functional materials. — 2002. — Vol. 9. — No. 3. — P. 467 – 470. (Здобувачем обґрунтовано оптимальну форму сцинтилятора).
13. Мельник В. И. Стенд для испытания малорасходных гидравлических распылителей полевых сельскохозяйственных машин / В. И. Мельник, М. А. Цыганенко, А. Н. Шкрегаль // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. — Харків: ХДТУСГ, 2002. — Вип. 11. — С. 121 – 127. (Здобувачем обґрунтовано принцип дії стенда для випробування розпилювачів).
14. Мельник В. И. Соотношения на декартовых координатах для условий предельного равновесия идеально-вязкой среды / В. И. Мельник // Вібрації в техніці та технологіях. — 2002. — № 3(24). — С. 72 – 81.
15. Мельник В. И. Уплотнение идеально-вязкой среды между параллельными вертикальными стенками — вывод основных уравнений / В. И. Мельник // Вібрації в техніці та технологіях. — 2003. — № 6(32). — С. 68 – 76.
16. Мельник В. И. Уплотнение идеально-вязкой среды между параллельными вертикальными стенками — анализ граничных условий и алгоритм расчета / В.И. Мельник // Вібрації в техніці та технологіях. — 2004. — № 4. — С. 81 – 90.
17. Мельник В. И. Изменение характера распределения жидкости распылителем по обрабатываемой поверхности в зависимости от их взаимной ориентации / В. И. Мельник // Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні: Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. — Харків: ХДТУСГ, 2004. — Вип. 23. — С. 287 – 301.
18. Мельник В. И. К вопросу о знаках касательных напряжений / В. И. Мельник // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. — Харків: Видавництво СПДФО Червяк В.Є., 2005. — Вип. 41. — С. 259 – 264.

19. Мельник В. И. Уплотнение идеально-связной среды между параллельными вертикальными стенками — построение сетки линий скольжения / В.И. Мельник // Вібрації в техніці та технологіях. — 2006. — № 1. — С. 79 – 86.
20. Мельник В. И. Задача о взаимодействии жесткой вертикальной пластины на почву — постановка, основные уравнения и граничные условия / В. И. Мельник // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: Друкарня ФОП Червяк В.Є., 2007. — Вип. 59, Т. 2. — С. 60 – 74.
21. Мельник В. И. Задача о воздействии жесткой вертикальной пластины на почву — обоснование методов расчета параметров почвы как среды / В. И. Мельник // Технічний сервіс АПК, техніка та технології в сільськогосподарському машинобудуванні: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. — Харків: Видавництво ЧП Червяк, 2007. — Вип. 67, Т. 2. — С. 3 – 16.
22. Мельник В. И. Задача о взаимодействии жесткой вертикальной пластины на почву, закономерности образования опережающей трещины / В. И. Мельник // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. — Харків: Друкарня ФОП Червяк В. Є., 2008. — Вип. 75, Т. 2. — С. 169 – 175.
23. Мельник В. І. Розпилувач для стрічкового внесення гербіцидів / В. І. Мельник, А. А. Гаврюшенко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. — Мелітополь: ТДАТУ, 2008. — Вип. 8, Т. 6. — С. 90 – 95. (Здобувачем обґрунтовано метод керування параметрами розподілу рідини гідравлічними розпилувачами).
24. Тищенко Л. Н. К изотопным исследованиям распределения химпрепаратов под слоем почвы / Л. Н. Тищенко, В. И. Мельник // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка (ХНТУСГ). — Харків: КП “Міська друкарня”, 2009. — Вип. 88. — С. 45 – 53. (Здобувачем обґрунтовано лабораторний та польовий інструментарій для проведення радіоізотопних досліджень).
25. Тищенко Л. Н. Методика выбора детектора, радионуклида и расчет его начальной активности для изотопных исследований распределения химпрепаратов под слоем почвы / Л. Н. Тищенко, В. И. Мельник // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. — Харків: Друкарня ФОП Червяк В.Є., 2010. – Вип. 93, Т. 2. — С. 5 – 17. (Здобувачем запропоновані методики вибору детектора та розрахунку початкової активності радіонукліда).
26. Тищенко Л. Н. Результаты изотопных исследований процесса внутривещного внесения гербицидов / Л.Н. Тищенко, В.И. Мельник // Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: Друкарня ФОП Воронюк В.В., 2010. — Вип. 96.

- С. 113 – 124. (Здобувач приймав участь в дослідях та обробці результатів).
27. Пат. 1276271 Российская Федерация, МПК⁴ А 01 В 35/26. Рабочий орган культиватора / Макеев Н. З., Мельник В. И.; заявитель Харьковский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. — № 3888130/30-15; заявл. 22.04.85; опубл. 15.12.86, Зарегистрировано в Госреестре СССР 15.08.86 г. Бюл. № 46. (Здобувачем обґрунтовано механізм самоочистки стояка).
28. Пат. 1386056 Российская Федерация, МПК⁴ А 01 В 13/16. Щелерез / Макеев Н. З., Мельник В. И.; заявитель Харьковский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. — № 3958700/30-15; заявл. 24.07.85; опубл. 07.04.88, Зарегистрировано в Госреестре СССР 08.12.87 г. Бюл. № 13. (Здобувачем обґрунтовано механізми взаємодії розробленого ножа із ґрунтом).
29. Пат. 1521323 Российская Федерация, МПК⁴ А 01 В 79/02. Способ возделывания пропашных культур / Муха В. Д., Макеев Н. З., Мельник В. И., Куринный Н. Ч.; заявитель Харьковский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. — № 4064257/30-15; заявл. 30.04.86; опубл. 15.11.89, Зарегистрировано в Госреестре СССР 15.07.89 г. Бюл. № 42. (Здобувачем запропоновано технологію післяпосівного внутрішньоґрунтового внесення гербіцидів та обґрунтовано її ефективність).
30. Пат. 1586530 Российская Федерация, МПК⁵ А 01 В 13/16. Орудие для нарезки щелей в почве / Макеев Н. З., Мельник В. И.; заявитель Харьковский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. — № 4601130/31-15; заявл. 04.11.88; опубл. 23.08.90, Зарегистрировано в Госреестре СССР 22.04.90 г. Бюл. № 31. (Здобувачем обґрунтовано ефективність послідовного застосування ножів різної форми та розмірів).
31. Пат. 1662396 Российская Федерация, МПК⁵ А 01 С 23/02. Комбинированный рабочий орган культиватора / Мельник В. И., Красноперова А. П., Гавриленко В. П.; заявитель Харьковский государственный университет им. А. М. Горького. — № 4703837/15; заявл. 09.06.89; опубл. 15.07.91, Зарегистрировано в Госреестре СССР 15.05.91 г. Бюл. № 26. (Здобувачем обґрунтовано механізм дії та ефективність склепіння із прутків).
32. Пат. 1743430 Российская Федерация, МПК⁵ А 01 С 23/02, А 01 С 23/00. Комбинированный рабочий орган почвообрабатывающего орудия / Мельник В. И.; заявитель Мельник В. И. — № 4783730/15; заявл. 18.01.90; опубл. 30.06.92, Зарегистрировано в Госреестре СССР 01.03.92 г. Бюл. № 24.
33. Пат. 1797767 Российская Федерация, МПК⁵ А 01 В 69/00. Сельскохозяйственный агрегат / Макеев Н. З., Мельник В. И.; заявитель Харьковский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. — № 4689148/15; заявл. 16.05.89; опубл. 28.02.93, Зарегистрировано в Госреестре СССР 08.10.92 г. Бюл. № 8. (Здобувачем обґрунтовано проблеми керування агрегатів із використанням технологічних щілин у ґрунті та методи їх вирішення).
34. Пат. 2025919 Российская Федерация, МПК⁶ А01В 49/06. Комбинированный рабочий орган культиватора / Мельник В. И.; заявитель и патентообладатель Мельник В. И. — № 4803939/15; заявл. 20.03.90; опубл. 09.01.95, Бюл. № 11.

35. Пат. 2025932 Российская Федерация, МПК⁶ А 01 С 23/02, А 01 В 49/06. Комбинированный рабочий орган культиватора / Мельник В. И., Красноперова А. П., Гавриленко В. П.; заявитель Харьковский государственный университет им. А. М. Горького; патентообладатель Мельник В. И. — № 4898480/15; заявл. 02.01.91; опубл. 10.01.95, Бюл. № 1. (Здобувачем обґрунтовано механізм дії та ефективність методу розмазування із застосуванням криволінійних подовжених прутків склепіння робочого органу).

АНОТАЦІЇ

Мельник В.І. Наукові основи екологічно ощадних технологій і технічних засобів для внесення рідких добрив та хімзахисту рослин. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 — машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. — Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2010.

У дисертації вирішено науково-технічну проблему, що пов'язана із внесенням у ґрунт рідких засобів хімізації рослинництва. Розроблені наукові основи узгодження процесів взаємодії робочих органів із ґрунтом та функціонування гідравлічних розпилювачів. При цьому ґрунт розглянуто як суцільне середовище, яке описано системою квазілінійних рівнянь в частинних похідних гіперболічного типу, а факел розпилу робочої рідини як векторне поле. При моделюванні посіву просапних культур застосовано метод Монте-Карло. Розроблено технологію стрічкового післяпосівного внутрішньогрунтового внесення гербіцидів. Польові дослідження рівномірності розподілу рідких засобів хімізації під шаром ґрунту проведені із застосуванням ізотопних методів досліджень, з використанням сцинтиляційної техніки. Застосування розроблених технічних засобів та технологій дозволяє досягти економії препаратів, а відтак і зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище, до 74 %. Термін окупності додаткових капіталовкладень 2,6 років.

Ключові слова: екологічні технології, технічні засоби, рідкі добрива, гербіциди, внесення, ґрунтообробка, ефективність.

Мельник В.И. Научные основы экологически щадящих технологий и технических средств для внесения жидких удобрений и химзащиты растений. — Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко. Харьков, 2010.

В диссертации решена научно-техническая проблема, которая связана с процессами внесения в почву жидких средств химизации растениеводства.

Разработаны научные основы взаимодействия рабочих органов с почвой,

которая рассмотрена как весомая сплошная среда и описана системой квазилинейных уравнений в частных производных гиперболического типа. Для нее разработан новый метод поиска характеристического решения, который позволил получить соотношения, выполняющиеся вдоль декартовых координат, и, используя их, развить теорию образования трещин в грунте.

Разработана математическая модель процесса распыления рабочей жидкости гидравлическими распылителями. В ее основу положено представление о факеле распыла как о векторном поле. На основе применения такой модели сформулированы требования к распылителям, в частности обоснована необходимость получения их нормированной двумерной характеристики. Для ее получения разработан стенд и математический метод представления двумерного распределения жидкости распылителем в виде бикубического сплайна. Разработаны математические методы, позволяющие расчетным путем получать параметры распределения рабочей жидкости по обрабатываемой поверхности в случае произвольной ориентации распылителя.

Разработаны функциональные связи, позволяющие согласовывать конструктивные и режимные параметры рабочего органа, предназначенного для внутрипочвенного внесения жидких средств химзащиты растений.

Разработанные теоретические методы позволили создать ряд специализированных конструкций рабочих органов для ленточного внутрипочвенного внесения жидких средств химизации, в том числе предназначенных для работы на комковатых почвах и реализующих метод размазывания препарата по дну борозды. Разработана технология послепосевного ленточного внутрипочвенного внесения гербицидов, которая может быть реализована самостоятельными агрегатами, использующими метод их вождения по технологическим щелям в почве. Для осуществления такой технологии разработано ряд технических средств, предназначенных для нарезки технологических щелей и для вождения по ним агрегатов. Для случая, когда послепосевное ленточное внутрипочвенное внесение гербицидов осуществляется комбинированными машинами, орудиями или агрегатами, показано, что рабочие органы для внутрипочвенного внесения гербицидов должны располагаться на собственных подвесках и не иметь жестких связей с идущими впереди сошниками.

Полевые исследования неравномерности распределения химикатов под слоем почвы в случае применения разработанных технических средств и технологий проведены с использованием изотопных методов, в основном (где это было необходимо) без выемки проб из почвы. При этом применена сцинтилляционная исследовательская техника, в том числе и авторской разработки. В качестве радионуклида использовался фосфор-32 (бета-излучатель) и технеций-99m (гамма-излучатель). Обосновано, что в случае применения фосфора-32 удается регистрировать только тормозное гамма-излучение, что приводит к потере точности исследований. В этом смысле применение технеция-99m предпочтительнее, однако необходимо учитывать время на полураспад (6,02 ч.).

Реализация технологии послепосевного внутрипочвенного внесения гер-

бицидов влечет за собой вероятностное перераспределение ранее высеянных семян полезных растений. Проведены соответствующие исследования, для чего разработана специальная методика получения несмещенных оценок параметров распределения семян (растений) в пределах ленты рассева рядка. При этом использована разработанная модель посева. В ее основе лежит метод Монте-Карло. Параметры модели подтверждены полевыми исследованиями.

Для экспресс-оценки эффективности и безвредности (для человека) гербицидного действия обосновано использование метода внутриклеточного микроэлектрофореза и показана его высокая перспективность.

Экологичность и эргономичность реализованы в разработанных конструктивно-технологических решениях. Разработана специальная конструкция распылителя и метод его безрезьбового крепления.

Проведенными полевыми испытаниями подтверждена эффективность предложенных инженерно-технологических решений. Их применение позволило отказаться от выполнения самостоятельных технологических операций (предпосевная культивация, заделка гербицидов, послепосевное прикатывание кольчатошпоровыми катками) и снизить расход препаратов и вредное воздействие на окружающую среду до 74 %. Окупаемость дополнительных капиталовложений не превышает 2,6 года.

Ключевые слова: экологические технологии, технические средства, жидкие удобрения, гербициды, внесение, почвообработка, эффективность.

I.V. Melnik. Scientific grounds for developing ecologically sound techniques and devices for injecting liquid fertilizers into soil and chemically protecting plants. — Manuscript.

Dissertation for the Doctor of Technical Sciences degree. Specialty 05.05.11 — Machines and Devices for Agricultural Production Mechanization, — Petro Vasylenko Kharkov Technical University of Agriculture. Kharkov, 2010.

The dissertation solves a scientific and technical problem of injecting liquid chemicals into soil for plant-growing purposes. Scientific grounds are established for coordinating processes of interaction between working organs with soil and functioning of hydraulic sprayers. Soil is considered as a continuous matter described by a system of quasilinear partial derivative equations of hyperbolic type, and spray torch of working liquid as a vector field. Monte Carlo method is used for modeling the sowing of cultivated cultures. Technology is established for tape post-sowing in-soil injection of herbicides. The field studies of uniformity of the distribution of liquid chemicals inside a layer of soil had been conducted using radioisotope-based measurement methods and scintillation equipment. Application of the introduced devices and techniques allows to attain the economy of chemical agents, and therefore the decline of harmful influence on environment of up to 74%. Payback period for additional capital investments is 2.6 years.

Keywords: ecological technologies, devices, liquid fertilizers, herbicides, injecting, tillage, efficiency.

Підписано до друку 22.09.2010. Формат паперу 60x84, 1/16.
Папір офсетний. Гарнітура «Times New Roman». Друк ризографічний.
Обл. – вид. арк. 1,9. Наклад 100 прим. Замов. №609.

Надруковано з готових оригінал-макетів у типографії «Міськдрук»,
61002, г. Харків, вул. Артема, 44.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої діяльності до
Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції № 3613 ДК від 29.10.2009 р.