

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА СТРУКТУРИ КОМБІНОВАНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ОБРОБІТКУ КУКУРУДЗЯНОЇ СТЕРНІ

М. К. Лінник, академік НААН, доктор сільськогосподарських наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України

В. А. Вольський, кандидат технічних наук

ORCID ID: 0000-0002-7639-4216

Р. В. Коцюбанський, аспірант

ORCID ID: 0000-0002-4114-3951

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» (ННЦ «ІМЕСГ»)

Дослідження спрямоване на підвищення якості та зменшення енерговитрат у технологічних операціях подрібнення та зароблення рослинних залишків на основі обґрунтування раціональної технологічної схеми комбінованої машини для обробки кукурудзяної стерні. Зазначається, що розкриття суті процесу подрібнення та засипання кукурудзяної стерні пов'язане із уточненням параметрів умов початкового стану ґрунту з рослинними залишками (кукурудзяна стерня) шляхом визначення технологічної структури машини, взаємозв'язків та взаємодії робочих органів; встановлення технологічних режимів роботи машини; дослідження впливу всіх цих факторів на результат її роботи.

Ключові слова: комбінована машина, технологічна схема машини, структура машини, технологічний процес, обробіток ґрунту, подрібнення та загорання рослинних решток.

Постановка проблеми. Зміна клімату, що спостерігається останніми десятиріччями, є незаперечним фактом. Ці процеси зумовлюють нові виклики для суспільства, особливо у розрізі забезпечення продовольчої незалежності [1].

Стабільне високоефективне землекористування потребує науково обґрунтованих, адаптованих до природно-кліматичних зон технологій виробництва різноманітної сільськогосподарської продукції. Ключове місце у всіх сценаріях реалізації аграрної політики займає ґрунт. Саме тому, пошук способів і прийомів, які б максимально уможливили виконання першочергових, актуальних не тільки для нинішнього, а й майбутніх поколінь рішень щодо збереження і відновлення родючості ґрунтів, набувають пріоритетного значення.

Питання вологозбереження є ключовими серед них. Застосування альтернативних основному способу обробітку ґрунту – плоскорізного, поверхневого, нульового, пунктирного способів, що не передбачають щорічного перевертання орного шару ґрунту, набуває все більшого поширення. У відмічених способах мульча, розкидана по поверхні або зароблена у ґрунт, створює умови для накопичення і раціонального

використання рослиною протягом усього періоду її розвитку дефіцитної вологи [2, 3].

Змінення клімату призводить до розширення форм і видів шкідників і хвороб рослин. За умов вирощування кукурудзи все гостріше стає питання боротьби із кукурудзяним метеликом. Тільки хімічних засобів не достатньо для вирішення цієї проблеми. Для ефективної боротьби з кукурудзяним метеликом від подрібнювача стебел кукурудзи не варто відмовлятися – навіть якщо використовується плуг. Справа в тому, що навіть при оранці частина довгих стебел залишається не пошкодженою і може служити середовищем для проживання метеликів. Якщо у господарстві практикують безвідвальні системи землекористування, то наполегливо рекомендуються альтернативні способи механічної боротьби з метеликом.

Збереження та відновлення родючості ґрунту можливе завдяки дбайливому ставленню до нього, використанню сучасних техніко-технологічних рішень, науково обґрунтованих технологій вирощування з дотриманням рекомендацій щодо раціональних способів і прийомів вологонакопичення.

Аналіз актуальних досліджень. Розроблення систем обробітку ґрунту здійснюється з урахуванням біологічних особливостей певної сільськогосподарської культури, аналізу полів, попередників, ефективності систем живлення, добрив, захисту від бур'янів та шкідників, агрофізичних показників ґрунту та природно-кліматичних умов вирощування. Особливої ваги за таких умов набувають фінансово-економічне та техніко-технологічне забезпечення господарства [4].

Вимоги щодо виконання операції лушення добре відомі [4, 5]. Серед основних із них виділимо такі: розпушування верхнього шару ґрунту, що уможливило збереження наявних запасів вологи, накопичення вологи в ґрунті завдяки опадам, надходження повітря в ґрунт, поліпшення життєдіяльності мікроорганізмів та поживного режиму; повне підрізування і механічне знищення багаторічних та однорічних бур'янів, неглибоке загортання насіння бур'янів у ґрунт, подрібнення кореневищ пирію та коренів осотів.

Рекомендовано проводити лушення стерні відразу після завершення збирання попередника. За таких умов втрати вологості будуть мінімальними, що уможливить здійснити основний обробіток ґрунту без брил [4, 5].

За умов механічного обробітку кукурудзяної стерні ступінь подрібнення стебел – важливий показник якості виконання технологічної операції. За критерій оцінювання встановлюють кількість непошкоджених частин стебел завдовжки понад 5 см, в яких можуть зимувати лялечки кукурудзяного метелика, із яких навесні утворюються дорослі особи. Відомо, що розподілення личинок по стеблу нерівномірне: 47% знаходиться вище другого вузла, 27% – на другому міжвузлі, 22% – на першому, і 4% – на кореневій шийці [6]. Технологічні операції збирання забезпечують зменшення кількості личинок. Тільки завдяки правильному вибору висоти зрізування популяція шкідника може бути зменшена на 50%. Проте, кількості личинок, що лишається, достатньо, щоб на корені повністю знищити всю плантацію майбутнього року. Тому рекомендовано під час наступних обробітків подрібнити стебла, що залишилися, перемішати їх на достатню глибину (понад 10см) [7, 8].

Використання спеціальних машин, до складу яких входять катки-подрібнювачі, доцільно лише за умови їх великого завантаження. Відмітимо, що крім кукурудзяної стерні, доцільно здійснювати також операції подрібнення і заробляння сидератів, обробку стерні рапсу, зернових культур тощо. Каток-подрібнювач в поєднанні з дисковою бороною – дуже ефективно знаряддя на такому агрофоні, оскільки дозволяє

не тільки подрібнювати рослинні рештки, але й отримувати добре замульчований верхній шар ґрунту з агрономічно цінною структурою. Основне призначення катка-подрібнювача – боротьба із кукурудзяним метеликом.

Мульчувачі або катки-плющілки в соло варіанті, не зважаючи на їх високу ефективність в руйнуванні стебел, навпаки, не володіють наведеними вище додатковими перевагами. Навпаки, їх безсистемне застосування може призвести до накопичення великих мас рослинних решток на поверхні ґрунту, що сповільнює його прогрівання весною. Рівномірне перемішування рослинних рештків з ґрунтом також доцільно і з точки зору їх швидкого розкладання, утворення сприятливих умов для посіву і попередження ранньої засміченості.

Крім сидератів, інтенсивне подрібнення рослинних рештків у поєднанні з поверхневим обробітком дуже важливо і за умов оброблення стерні ріпаку. Тонкий шар мульчі на поверхні добре акумулює вологу і сприятливий для виникнення швидких сходів насіння падалиці. Для господарств з високою концентрацією цієї культури каток-подрібнювач є таким же важливим інструментом для підтримання гідної культури землеробства, як і для надійного подрібнення стебел кукурудзи [9, 10].

Саме тому актуальним є розроблення спеціальних машин, які містять катки-подрібнювачі в поєднанні з дисковими боронами, що уможливають застосовувати їх для ефективного виконання операцій поверхневого обробітку ґрунту з інтенсивним його перемішуванням, лушення стерні кукурудзи, ріпаку, сидеральних залишків, обробітку кукурудзяних полів із великою кількістю рослинних решток (боротьба з метеликом), передпосівного обробітку ґрунту та загортання органічних добрив.

Мета досліджень – забезпечення високої якості та зниження енергетичних витрат на технологічних операціях подрібнення і загортання рослинних решток на підставі обґрунтування раціональної технологічної схеми комбінованої машини для обробітку кукурудзяної стерні.

Виклад основного матеріалу. Виконання технологічного процесу комбінованої машини для обробітку кукурудзяної стерні характеризується прогнозованою зміною агрофізичного стану ґрунту в результаті комплексної дії всіх робочих органів. Ключові питання, стосовно яких ведеться дискусія, стосуються операцій подрібнення і зароблення рослинних решток. Відмітимо, що у існуючих технологіях обробітку ґрунту ці операції можуть

здійснюються незалежно одна від іншої. Так, за мульчуючою технологією рослинні рештки подрібнюються і рівномірно розподіляються по поверхні ґрунту. Із назви наступної технології – поверхневий обробіток ґрунту витікає, що крім безпосередньо операції подрібнення рослинних решток необхідно забезпечити і обробіток ґрунту з одночасним заробленням відмічених решток наперед задану глибину обробітку. За умов виконання останньої технології відбувається синтез певної кількості технологічних операцій: подрібнення рослинних решток, обробіток ґрунту на задану глибину, переміщення рослинних решток у ґрунт, фіксація (прикочування) ґрунту із рослинними рештками.

Відмічено відсутність наукових досліджень процесу адаптування широкого спектра існуючих техніко-технологічних пропозицій до вимог конкретного господарства з урахуванням його природно-кліматичних умов виробництва, культури землекористування.

У загальному, схемою будь-якого технологічного процесу, незалежно від призначення машини, може бути схема, побудована за принципом “вхід-вихід”. Відмітимо, що в якості вхідних змінних застосовують зовнішні чинники обставин (умови роботи) та керування (регламенти технологічних режимів). Характерною ознакою відмічених чинників є можливість змінюватися в часі:

$$X = \{x_1, x_2(t), \dots, x_\omega(t)\}, \omega \in \Omega \quad (1)$$

$$U = \{u_1, u_2(t), \dots, u_\theta(t)\}, \theta \in \Theta \quad (2)$$

де Ω , Θ – множини вхідних чинників умов роботи та керованих технологічних режимів роботи машини, відповідно.

Вихідні змінні також можна представити сукупністю параметрів, які визначають якість роботи, енергетичні, техніко-економічні показники роботи машини на заданому полі:

$$Y = \{y_1(t), y_2(t), \dots, y_\psi(t)\}, \psi \in \Psi \quad (3)$$

де Ψ – множина вихідних параметрів.

Основним компонентом процесу подрібнення і зароблення рослинних решток є комбінована машина для обробітку кукурудзяної стерні – складна технічна система, що містить окремі вузли і механізми з конструкційно-технологічними взаємозв'язками. Технологічна структура комбінованої машини для обробітку кукурудзяної стерні відображається множиною Z , яка описується множиною окремих робочих органів, об'єднаних в модулі з певною послідовністю їх компонування:

$$Z = \{\{M\}\{K\}\}. \quad (4)$$

Розглядаючи функціонування комбінованої машини для обробітку кукурудзяної стерні у технологічному процесі подрібнення і зароблення рослинних решток у ґрунт, проведемо професійно-логічний аналіз причинно-наслідкового зв'язку показників вихідних вимог до систем основних обробітків ґрунту за схемою: об'єкт впливу – вплив – результат (рис.).

Об'єктом впливу при виконанні технологічних процесів подрібнення і зароблення рослинних решток в кожному випадку буде конкретна ділянка поля зі своїм рельєфом, мікрорельєфом, фактичним станом ґрунту, кількістю і фізико-механічними характеристиками рослинного середовища, що визначає умови функціонування технічного засобу, який, виконуючи певний агрозахід, буде змінювати стан ґрунту.

Відмітимо, що необхідний (бажаний) результат визначається компромісом між варіантами ефективного використання високопродуктивних технічних засобів, узгоджені із агротехнічними вимогами рослин.

Функціональна область обставин технологічних процесів подрібнення і зароблення рослинних решток задається множиною географічно-кліматичних та ґрунтово-фізичних параметрів. Для конкретного випадку, що розглядається, увагу звертають на чинники, які приймають певне фіксоване значення. Такий аналіз дозволяє встановити умови доцільності виконання даного технологічного процесу взагалі.

Це стосується в першу чергу погодних умов, характеристик рослинного матеріалу, що покриває ґрунт, рельєфу і мікрорельєфу поля.

Умови функціонування за стабільністю показників розділяють на три типи: незмінні; стабільні – на період виконання подрібнення і зароблення рослинних решток; змінні – внаслідок впливу машини. Незмінними у процесі роботи комбінованої машини для обробітку кукурудзяної стерні у технологічному процесі подрібнення і зароблення є рельєф, мікрорельєф, склад ґрунту; відносно стабільними на період обробітку можна вважати температуру повітря і ґрунту, вологість ґрунту, фізико-механічні характеристики рослинного середовища та інше. Вплив машин призводить до суттєвого змінення щільності, агрегатно-фракційного складу ґрунту, вирівнюваності поля тощо.

Незалежні від часу умови роботи комбінованої машини для обробітку кукурудзяної стерні, що здійснюють технологічні процеси подрібнення і зароблення з урахуванням зональних класифікацій ґрунтів, можна звести узагальнено до такого переліку параметрів: питомий тяговий опір при подрібненні і заробленні, ступінь подрібнення стебел.

Стан ґрунту перед операціями подрібнення і зароблення також підлягає конкретизації, оскільки він, згідно з технологічними регламентами, повинен бути доведений до певних умов. Охарактеризувати такий стан можна двома основними параметрами – вологістю і твердістю ґрунту, котрі й приймаються агротехнічними службами для аналізу. Інші показники умов (вирівняність поверхні поля, забур'яненість,

щільність ґрунту, агрегатний стан), пов'язані з вологістю і твердістю або при виконанні необхідних операцій подрібнення і зароблення кукурудзяної стерні досягають значень, які не впливають суттєво на функціонування комбінованої машини для обробітку кукурудзяної стерні, а виступають параметрами результату їх дії.

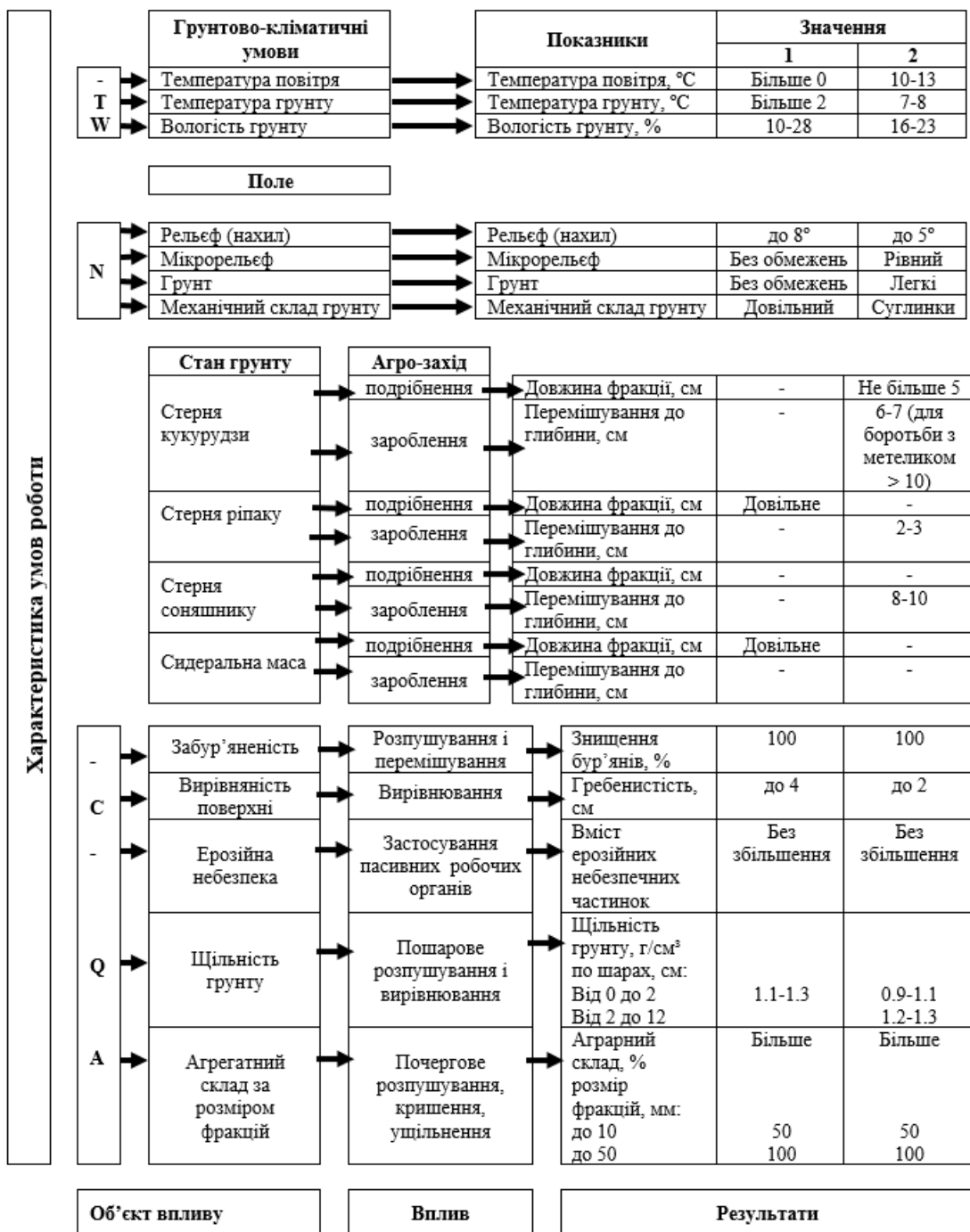


Рис. Схема формування вихідних вимог обробітку рослинних матеріалів (кукурудзяної стерні, стерні ріпаку, стерні соняшнику, сидеральної маси) у технологічному процесі подрібнення і зароблення рослинних решток: 1 – нормативні значення показників; 2 – значення вихідних вимог до показників технологічного процесу подрібнення і зароблення рослинного матеріалу

Відмітимо, що агротехнічні вихідні вимоги до операцій подрібнення і зароблення (луцення) стерні кукурудзи є базисними характеристиками. Акцентуємо увагу на показниках якості виконання технологічного процесу комбінованою машиною для обробітку кукурудзяної стерні. Серед визначених агротехнічними вимогами показників приймемо до аналізу найбільш вагомі – глибина луцення, ступінь подрібнення стебел, ступінь загортання післяжнивних решток.

Інші показники якості виконання технологічного процесу (повнота підрізування бур'янів і подрібнення кореневищ пирію, коренепаростків осотів, якість обробітку поворотних смуг і меж поля, ступінь розпушення ґрунту на злушеному полі, відсутність огривів, вирівняність поверхні поля) залишимо як інформативні.

Енергетичні показники доцільно представити тяговим опором комбінованої машини для обробітку кукурудзяної стерні. Це обумовлено тим, що залежно від робочої швидкості і глибини обробітку він визначає ступінь завантаження двигуна трактора, витрати пального, буксування рушіїв тощо. Експлуатаційно-технологічні показники машин, призначених для обробітку кукурудзяної стерні, задаються технологічними регламентами – робочою швидкістю, глибиною обробітку і шириною захвату.

У результаті проведеного аналізу, параметричний запис моделі комбінованої машини для обробітку кукурудзяної стерні виконання технологічного процесу подрібнення і зароблення можна записати у вигляді функції:

$$Y\{y_1(t), y_2(t), y_3(t), y_4(t), y_5(t), y_6(t)\} = F[X\{x_1, x_2(t), x_3(t)\}, U\{u_1, u_2(t), u_3(t), u_4(t)\}, Z\{\{M\}, \{K\}\}], \quad (5)$$

де $y_1(t)$ вихідний параметр тягового опору (R_{t1}); $y_2(t)$ вихідний параметр кришення ґрунту (A); $y_3(t)$ вихідний параметр щільності ґрунту (Q); $y_4(t)$ вихідний параметр глибини луцення (C); $y_5(t)$ вихідний параметр ступеня подрібнення стебел (C_1); $y_6(t)$ вихідний параметр ступеня загортання післяжнивних решток (C_2); x_1 вхідний параметр питомого опору ґрунту (N); $x_2(t)$ вхідний параметр твердості ґрунту (T); $x_3(t)$ вхідний параметр вологості ґрунту (W); $u_1(t)$ вхідний параметр робочої швидкості (V); $u_2(t)$ вхідний параметр робочої ширини (B); $u_3(t)$ вхідний параметр глибини обробітку (H); $u_4(t)$ вхідний параметр фізико-механічних характеристик рослинного середовища (H_1); Z параметри технологічної структури машини.

Розкриття технологічної схеми, перехід до блочно-модульного опису комбінованої машини для обробітку кукурудзяної стерні та визначення

характеристик робочих органів пов'язане з конкретизацією параметрично-технологічної структури машини Z . Відмітимо, що дослідження і встановлення значень компонентів параметрів Z , внаслідок їх великої кількості, можливе завдяки поєднанню теоретичного аналізу та практичного вивчення особливостей їх взаємодії і впливу на ґрунтово-рослинне середовище.

Аналітична модель, як відомо, не враховує ряд чинників, а окремі розглядає наближено. Через це для визначення її достовірності необхідно здійснити експериментальну ідентифікацію. Тому, для моделювання такого складного технологічного процесу, як подрібнення і зароблення рослинних решток, будемо використовувати об'єднану аналітично-експериментальну модель, реалізація якої дозволить вирішити основні задачі моделювання – аналіз, синтез і оптимізацію.

Задача аналізу – прогнозування вихідних якісно-енергетичних показників для певних умов роботи і визначених параметрів комбінованої машини для обробітку кукурудзяної стерні, вирішує питання використання в реальних умовах конкретних машин.

Задачу синтезу комбінованої машини для обробітку кукурудзяної стерні у повному обсязі теоретично вирішити складно через невизначеність взаємозв'язків різних типів робочих органів, режимів і умов їх роботи. Як варіант виходу із цієї ситуації, пропонується задачу синтезу поєднати із задачею оптимізації стосовно встановлених умов і потрібних результатів роботи ($y_1 y_2 \rightarrow \min$; $y_2 y_4 \rightarrow \text{опт}$). У результаті, на підставі залежності (5) функціонально-параметрично-структурну організацію машини запишемо у такому вигляді:

$$Z = F[Y, X, U]. \quad (6)$$

Значення конкретних конструкційно-технологічних показників різних робочих органів у такому випадку визначається за результатами вирішення задачі оптимізації в межах одного модуля за умов встановлення внутрішніх факторних зв'язків і взаємозв'язків, які утворюються під час взаємодії робочих органів з рослинним середовищем і ґрунтом.

Аналізуючи залежності (5) і (6), відмітимо доцільність системного урахування низки чинників (діапазону змінення параметрів умов початкового стану ґрунту із рослинними залишками, структурної технологічної схеми машини, взаємозв'язків та взаємодії її робочих органів, технологічних режимів, впливу всіх перелічених факторів на результат її роботи), які уможливають науково обґрунтоване розкриття

природи і сутності технологічних процесів подрібнення і зароблення кукурудзяної стерні.

Висновки. 1. Встановлено математичну залежність (5), яка на етапах проектування уможлиблює використати моделювання для аналізу структури комбінованих, універсальних, адаптованих до різних природно-кліматичних умов експлуатації машин для обробітку рослинних матеріалів (стерні кукурудзи, ріпаку, сидеральних залишків).

2. Розкриття суті технологічних процесів подрібнення і зароблення запропоновано здійснювати за критеріями оцінювання якості механічного оброблення кукурудзяної стерні катками-подрібнювачами в поєднанні з

дисковими боронами до яких віднесено: кількість непошкоджених частин стебел кукурудзи довжиною понад 5 см, глибина зароблення подріднених стебел понад 10 см.

3. Відмічено доцільність системного урахування низки чинників (діапазону змінення параметрів умов початкового стану ґрунту із рослинними залишками, структурної технологічної схеми машини, взаємозв'язків та взаємодії її робочих органів, технологічних режимів, впливу всіх перелічених факторів на результат її роботи), які уможлиблюють науково обґрунтоване розкриття природи і сутності технологічних процесів подрібнення і зароблення кукурудзяної стерні

Список використаних джерел:

1. Іващенко О.О. Шляхи адаптації землеробства в умовах змін клімату. Вісник аграрної науки. 2008. № 4. с. 15-21.
2. Іващенко О.О., Найд'юнов В.Г. Природні біологічні системи – ключ до успіху сучасного землеробства. Вісник аграрної науки. 2016. № 6. с. 5-11.
3. Кравченко М.С., Томашівський З.М. Практикум із землеробства. – К.: Мета, 2003. 318 с.
4. Чернілевський М.С., Білявський Ю.А., Кропивницький Р.Б., Ворона Л.І. Агротехнічні вимоги та оцінка якості обробітку ґрунту: навчальний посібник. Друге видавництво. 2012. с. 7-12.
5. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Гриник І.В. Науково обґрунтовані та практичні підходи використання соломи та рослинних решток у сільському господарстві. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету*. 2011. № 9.с. 62-68.
6. Гладковська Т.М. Шкідники сільськогосподарських культур / Міністерство освіти і науки України; Національний університет водного господарства природокористування. Рівне, 2010. 102 с.
7. Залужний В.І. Обґрунтування технологічної схеми та параметрів комбінованої машини для передпосівного обробітку ґрунту під льон: дис. на здобуття наук. ступеня к. т. н. Глеваха, 2006.
8. Безуглий М.Д., Гриник І.В., Булгаков В.М. Науково-практичні підходи до використання соломи та рослинних решток. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 3.
9. Верниченко Л.Ю., Мишустин Е.Н. Влияние соломы на почвенные процессы и урожай сельскохозяйственных культур / Использование соломы как органического удобрения. М.: Наука, 1980.
10. Лозовіцький П.С. Основи землеробства та рослинництва. Книга 1. Землеробство: посібник для вищих навчальних закладів. К., 2010. 268 с.

М. К. Линник, В. А. Вольский, Р. В. Коцюбанский. Системный подход к обоснованию технологической схемы и структуры комбинированной машины для возделывания кукурузной стерни

Исследование направлено на повышение качества и снижение энергозатрат при технологических операциях измельчения и заделывания растительных остатков в соответствии с рациональной технологической схемой комбинированной машины для обработки стерни кукурузы. Отмечено, что раскрытие сущности процесса измельчения и заделывания стерни кукурузы связано с уточнением параметров условий исходного состояния почвы с растительными остатками (стерня кукурузы) путем определения технологической структуры машины, отношения и взаимодействия рабочих органов; установление технологических режимов работы машины; изучение влияния всех этих факторов на результат ее работы.

Ключевые слова: комбинированная машина, технологическая схема машины, структура машины, технологический процесс, обработка почвы, измельчение и заделка растительных остатков.

M. Linnik, V. Volsky, R. Kotsiubynsky. Systematic approach to the substantiation of the technological scheme and structure of a combined machine for cultivating corn stubble

The study is aimed at improving the quality and reducing energy costs in the technological operations of grinding and planting plant residues based on the rationale rational technological scheme of a combined machine for processing corn stubble. It is noted that the disclosure of the essence of the process of grinding and embedding of corn stubble is associated with the specification of the parameters of the conditions of the initial state of the soil with plant residues (corn stubble) by determining the technological structure of the machine, the relationships and interactions of the working bodies; the establishment of technological modes of operation of the machine; a study of the influence of all these factors on the result of her work.

Keywords: *combined machine, technological scheme of the machine, structure of the machine, technological process, tillage, grinding and incorporation of plant residues.*



Ця робота ліцензована Creative Commons Attribution 4.0 International License