

УДК 631.23

ДВОФАЗНА СОШНИКОВА СИСТЕМА ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Л. В. Аніскевич, Ю. О. Росамаха

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Кореспонденція авторів: rosamaha.vchenyij@ukr.net.

Історія статті: отримано – вересень 2018, акцептовано – листопад 2018.

Бібл. 3, рис. 12, табл. 0.

Анотація. Побудовано математичну модель руху двофазної сошникової системи та проведено імітаційне моделювання її функціонування, що дало змогу визначити оптимальні параметри сошникової системи при наявності систематичних та випадкових похибок вимірювальних та контролюючих елементів.

Ключові слова. Якість сівби, двофазна сошникова система, твердість ґрунту, автоматизована система керування.

Постановка проблеми

Однією з необхідних умов отримання високих урожаїв просапних культур, поряд із підготовкою ґрунту, догляду за посівами, є забезпечення розподілу насіннєвого матеріалу у відповідності до агрономічних. Це сприяє забезпеченню рослин необхідною кількістю світла, вологи, тепла та поживними речовинами.

При роботі посівного агрегату зміна опору ґрунту і нерівності поверхні поля викликають коливання сошника в поздовжньо-вертикальній площині, що призводить до нестійкого руху останнього на заданій глибині. З підвищенням швидкості руху посівного агрегату зростає амплітуда коливання сошника в поздовжньо-вертикальній площині, що значно збільшує нерівномірність глибини загортання насіння. Існуючі конструкції сошникових систем сівалок не забезпечують достатнього ступеня точності розподілу насіннєвого матеріалу просапних культур в ґрунті.

Аналіз останніх досліджень

В процесі вирішення завдання покращення показників якості сівби просапних культур висунуто гіпотезу реалізації високоякісної сівби просапних культур, у відповідності до якої для покращення показників якості сівби насіння просапних культур необхідно застосувати двофазний спосіб заробки насіння [1].

При сівбі за таким способом процес заробки насіння відбувається за дві фази, кожна з яких включає дві стадії (рис. 1).

Послідовність чотирьох стадій реалізації способу виглядає наступним чином:

- перша стадія: конусний щілиноутворювач 1 входить в ґрунт і утворює щілину 2 зі сприятливими геометричними параметрами для самозаклинювання насіння між боковими стінками щілини без перекошування вздовж рядка;

- друга стадія: в щілину 2 подається насіння 3, яке в залежності від розмірів заклинюється в щілині на різній (але меншій, ніж задана) глибині і орієнтується вздовж осі щілини;

- третя стадія: вдавлюючий диск 4, з певними геометричними параметрами, рухається вздовж щілини, і своїми робочими кромками 5 зрізує бокові вологі стінки ґрунту; ґрунт при зрізанні, за рахунок форми жолоба диска 4 переміщується вниз і накриває насіння, що знаходиться в щілині, одночасно стискається навколо нього;

- четверта стадія: вдавлюючий диск 4 переміщує насіння із ущільненим шаром ґрунту на задану глибину сівби a ; загортання щілини виконується традиційним способом.

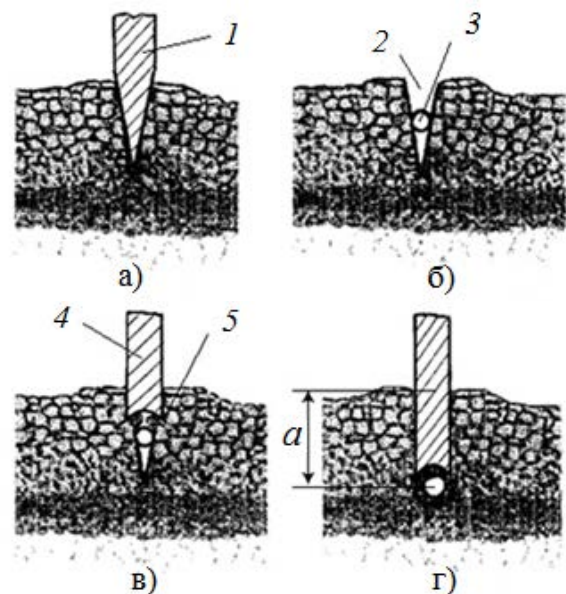


Рис. 1. Основні стадії заробки насіння двофазним способом: а, б – перша фаза; в, г – друга фаза заробки насіння; 1 – диск щілиноутворювач; 2 – щілина; 3 – насіння; 4 – вдавлюючий диск; 5 – робочі кромки вдавлюючого диска; а – глибина заробки насіння.

Такий двофазний спосіб сівби просапних культур дозволить забезпечити заробку насіння 1 (рис. 2) у вологий шар ґрунту 4. Навколо насінини формується ядро 2 ущільненого до $1,3 \text{ г/см}^3$ і зволоженого ґрунту, а зверху можливо утворити дрібнозернисту структуру 3. Насіння залягає на заданій (з допустимим відхиленням) глибині a незалежно від стану нерівностей і твердості ґрунту. Не порушується і рівномірність розподілу насіння вздовж рядка, яку забезпечує висівний апарат та до мінімуму зводиться відхилення насіння від осової лінії рядка.

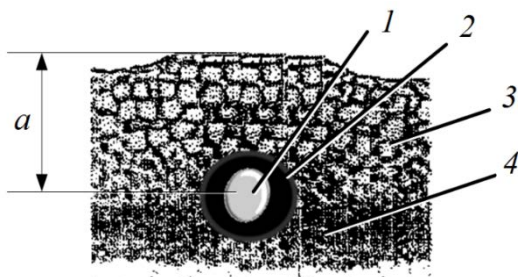


Рис. 2. Зображення насінини загорнутої в ґрунт: 1 – насінина; 2 – ядро ущільненого і зволоженого ґрунту; 3 – дрібнозерниста структура; 4 – вологий шар ґрунту; a – глибина заробки насіння.

Мета досліджень

Для реалізації запропонованого двофазного способу заробки насіння просапних культур розроблено відповідну конструкцію сошникової системи [2]. Визначено, що сила опору ґрунту при заглибленні диска є впливовим фактором на глибину ходу вдавлюючого диска і залежить від типу ґрунту та його фізико-механічних властивостей тощо. Причому, величина наведених властивостей значною мірою змінюється по площі поля, в залежності від координат знаходження посівного агрегату в полі. Це означає, що необхідно враховувати місцевизначені характеристики стану ґрунту, зокрема його місцевизначену щільність.

Результати досліджень

В подальшому аналізі сошникової системи враховується місцевизначена інформація про щільність ґрунту з можливістю автоматизованої корекції положення вдавлюючого диска (рис. 3), що повинно забезпечити ефективність роботи коригуючого пристрою і сошникової системи в цілому для широкого діапазону технологічних умов функціонування [3].

Положення щілиноутворювача контролюється датчиком положення D , сигнал від якого подається на суматор s . До суматора подається також сигнал ручного налаштування U_3 , а на виході маємо сигнал $\lambda(t)$, який подається до модуля управління сервоприводом. До цього модуля також подається сигнал зворотного зв'язку $\hat{Z}(t)$ від датчика положення

вдавлюючого диска, а також сигнал $R(x, y)$ від блоку розрахунку місцевизначеної щільності ґрунту. Останній функціонує на підставі інформації про поточні координати посівного агрегату в полі та картограми місцевизначеної щільності ґрунту.

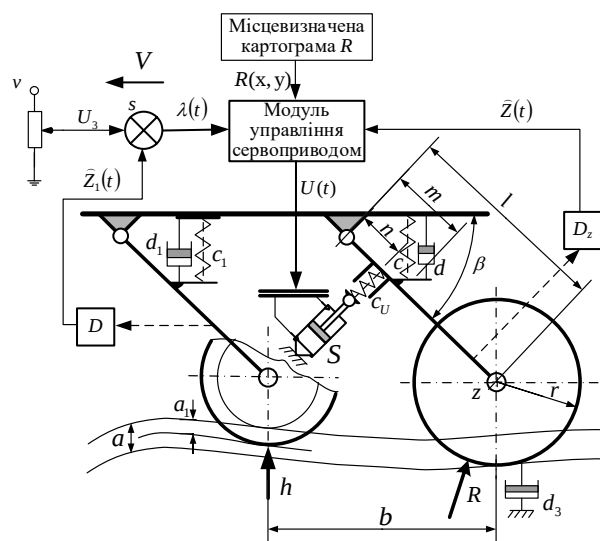


Рис. 3. Схема двофазної сошникової системи з автоматизованою системою корекції положення вдавлюючого диска.

Структурну схему автоматизованої системи корекції положення вдавлюючого диска представлено на рис. 4.

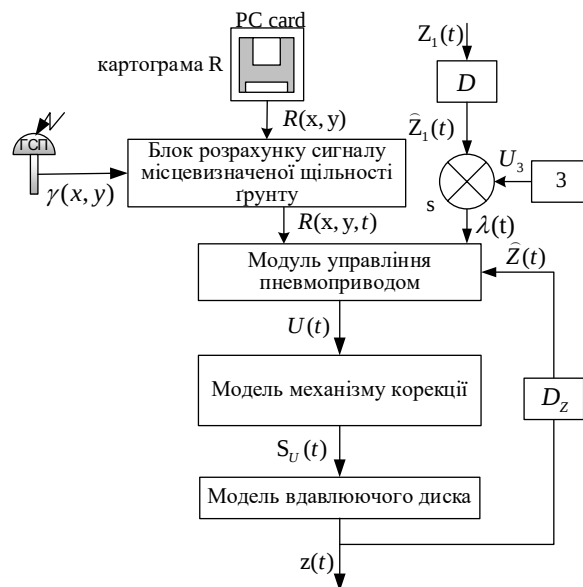


Рис. 4. Структурна схема автоматизованої системи корекції положення вдавлюючого диска.

До блоку розрахунку сигналу місцевизначеної щільності ґрунту від блоку зчитування (PC card) картограми стану ґрунту надходить сигнал $R(x, y)$. До цього ж блоку надходить сигнал $\gamma(x, y)$ від датчика глобальної системи позиціонування. Вихідним сигналом цього блоку є нормалізований по амплітуді і синхронізований із світовими координатами сигнал

$R(x, y, t)$. В якості сигналу для слідкування (цілі функціонування) виступає вихідний сигнал $\lambda(t)$. Цей сигнал формується як результат подачі до суматора сигналів $\hat{Z}_1(t)$ датчика D контролю положення щілиноутворювача та $\hat{Z}(t)$ від датчика зворотного зв'язку D_Z , що контролює положення вдавлюючого диска. Для ручного регулювання положення вдавлюючого диска відносно щілиноутворювача слугує задатчик 3 із вихідним сигналом U_3 . Ціль функціонування досягається, з одного боку, шляхом організації руху щілиноутворювача на глибині a_1 , а також шляхом дії пневмопривода на повідець радіального підвісу вдавлюючого диска (контролюється датчиком D_Z з вихідним сигналом зворотного зв'язку $\hat{Z}(t)$). В результаті на виході системи маємо кінцеву глибину заробки насіння $z(t)$.

Основною задачею системи керування є розрахунок оптимального значення керуючої дії $U(t)$, яка подається на механізм корекції положення вдавлюючого диска. Шток пневмопривода S (див. рис. 3) корегує положення вдавлюючого диска відносно щілиноутворювача в залежності від заданих регулювань, стану нерівностей поверхні поля, а також величини опору ґрунту у відповідності до координат місцеположення посівного агрегату в полі і величини занурення вдавлюючого диска. В результаті на виході системи маємо конкретне положення вдавлюючого диска $z(t)$, як функцію сигналу керуючої дії $U(t)$, що надходить від модуля управління пневмоприводом.

Передаточну функцію моделі вдавлюючого диска знайдемо шляхом складання диференціального рівняння руху вдавлюючого диска. Для складання рівнянь динаміки руху сошникової системи по нерівностях поверхні поля скористаємось рівняннями динаміки Лагранжа 2-го роду:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} = Q_{q_i} \quad (1)$$

де T і Π – кінетична та потенціальна енергії відповідно; Φ – дисипативна функція; Q_{q_i} – узагальнені координати; Q_{q_i} – узагальнена сила.

Після знаходження необхідних складових і підстановки у рівняння динаміки (1) і проведення необхідних перетворень отримаємо диференціальне рівняння руху вдавлюючого диска по нерівностях поверхні поля:

$$\ddot{z} \left(\frac{I \tan(\beta)^2}{R^2} + M(1 + \tan(\beta)^2) \right) + \dot{z} \left(\frac{dm + ld_3}{l} + z \left(\frac{cm}{l} + \frac{n^2 \sin(\beta)^2 c_U}{l^2} \right) \right) - Q_v = S_v \left(\frac{n \sin(\beta) c_U}{l} \right) \quad (3)$$

Передаточна функція моделі вдавлюючого диска сошникової системи має вигляд:

$$W_{vd} = \frac{A_4}{A_1 \tau^2 + A_2 \tau + A_3}, \quad (4)$$

де $A_1 = \frac{I \tan(\beta)^2}{R^2} + M(1 + \tan(\beta)^2)$; $A_2 = \frac{(dm + ld_3)}{l}$; $A_3 = \frac{cm}{l} + \frac{n^2 \sin(\beta)^2 c_U}{l^2}$; $A_4 = \frac{n \sin(\beta) c_U}{l}$; τ – символ диференціювання по часу.

Передаточна функція моделі сервомеханізму корекції положення вдавлюючого диска має вигляд:

$$W_{np} = \frac{K_k}{T_k^2 \tau^2 + 2T_k \xi_k \tau + 1} \quad (5)$$

де K_k , ξ_k та T_k – відповідно коефіцієнт підсилення, затування та стала часу механізму корекції положення.

Передаточна функція моделі датчика положення вдавлюючого диска буде мати вигляд:

$$W_d = \frac{A_d}{T_d \tau + 1} \quad (6)$$

де $A_d = 1 + \Delta_d(t) + \xi_d(t)$; $\Delta_d(t)$ та $\xi_d(t)$ – систематична та випадкова складові відносної помилки функціонування датчика; T_d – стала часу датчика.

Рівняння (4), (5), (6) складають модель функціонування двофазної сошникової системи. Аналіз такої моделі дає можливість обрати структуру та значення параметрів керуючої дії $U(t)$ (закону регулювання), які забезпечують досягнення усталеності процесу функціонування системи, а також її роботу при допустимих значеннях помилки слідкування за виконанням завдання.

З метою визначення можливостей двофазної сошникової системи виконувати заданий режим роботи при зміні таких параметрів функціонування, як, наприклад, амплітуда і частота надходження нерівностей до сошникової системи, маса щілиноутворювача та вдавлюючого дисків, коефіцієнта затування ξ , коефіцієнта підсилення K тощо, при наявності систематичних та випадкових похибок вимірювальних та контролюючих елементів було проведено імітаційне моделювання.

На першому етапі моделювання проаналізовано вплив систематичної і випадкової складових відносної помилки функціонування датчиків положення щілиноутворювача та вдавлюючого диска без урахування складової реакції ґрунту. В результаті виявлено, що для якісної заробки насіння на задану глибину необхідно використовувати датчики з мінімальними значеннями систематичної і випадкової помилок функціонування.

Наступним кроком імітаційного моделювання стала задача оцінки впливу твердості ґрунту (основна складова реакції ґрунту на щілиноутворювач) на якість функціонування вдавлюючого диска. Цей вплив важливо проаналізувати, тому що під час виконання лабораторно-польових досліджень з вимірювання твердості ґрунту на глибині заробки насіння в польових умовах визначено, що цей показник варіює в діапазоні 100...1300 кПа.

За умов використання вказаних вище значень динамічних параметрів двофазної сошникової системи, результат розв'язку процесу її

функціонування у відповідності до структурної схеми автоматизованої системи корекції положення вдавлюючого диска (див. рис. 5) представлено на рис. 5.

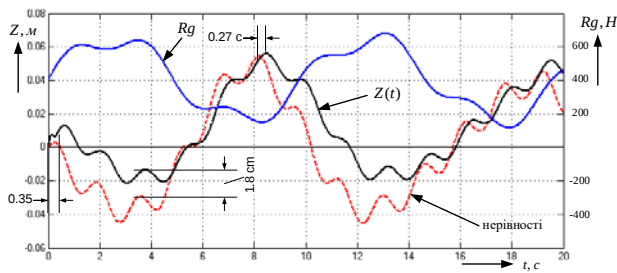


Рис. 5. Зображення процесу функціонування двофазної сошникової системи: $Z(t)$ – координата положення вдавлюючого диска; R_g – величина сили опору ґрунту.

Із рис. 5 видно, що механізм функціонування вдавлюючого диска (координата $Z(t)$) має на початку роботи перехідний процес у 0,35 с. Крім того має місце фазовий зсув у копіюванні нерівностей поверхні поля у 0,27 с, що, наприклад, при швидкості руху сівалки 2 м/с відповідає копіюванню зі зсувом близько у 0,54 м. Не витримується, також, задана амплітуда коливань вдавлюючого диска. Наприклад, на відрізку часу з 3 по 9 секунду амплітуда коливань нерівностей складає 9,8 см, в той час як амплітуда коливань вдавлюючого диска на цьому ж проміжку часу складає всього 7,5 см. Але найбільш суттєвим моментом є негативний вплив реакції ґрунту R_g на процес копіювання нерівностей. Як бачимо із рис. 5, відбувається виглиблення вдавлюючого диска з порушенням процесу копіювання до 1,8 мм.

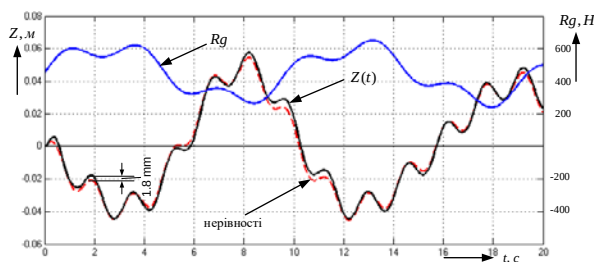


Рис. 6. Зображення процесу функціонування оптимізованої двофазної сошникової системи: $Z(t)$ – координата положення вдавлюючого диска; R_g – величина сили опору ґрунту.

Бажано мати інваріантну до дії реакції ґрунту на вдавлюючий диск систему з усталеними і заданими режимами копіювання нерівностей поверхні поля. Комп'ютерне імітаційне моделювання дозволило визначити впливові фактори для досягнення поставленого завдання. Основними з таких факторів стали жорсткість пружини C_U (див. рис. 3), зменшення коефіцієнта демпфування d , а також стала часу, коефіцієнти затухання і підсилення модуля управління пневмоприводом. При величинах C_U

$=360$ кг/см, $d=120$ Н с/м, $T=0,1$ с, $\xi=0,1$, $K=4.9$ процес функціонування системи представлено на рис. 6.

Похибка I відхилення оцінки глибини ходу вдавлюючого диска від заданої на заліковому періоді T функціонування сошника склала $1,5 \times 10^{-4}$.

В цілому, завдання з дотримання заданої глибини ходу вдавлюючого диска двофазної сошникової системи виконується задовільно. Динамічні параметри системи підібрані таким чином, що зміни місцевизначеної щільності ґрунту (через параметр R_g) не мають суттєвого впливу на стабільність ходу вдавлюючого диска, виглиблення якого зведено до мінімуму і не перевищує 1,8 мм. Відсутній також фазовий зсув у копіюванні нерівностей поверхні поля.

Для проведення лабораторних і лабораторно-польових досліджень було спроектовано і виготовлено лабораторно-польову установку (рис. 7).

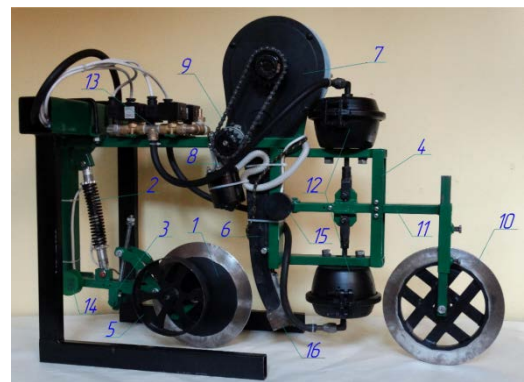


Рис. 7. Загальний вигляд лабораторно-польової установки: 1 – диск щілиноутворювач; 2 – амортизатор; 3 – повідок; 4 – рама; 5 – опорно-ходові колеса; 6 – насіннепровід; 7 – висівний апарат; 8 – електродвигун-редуктор; 9 – ланцюгова передача; 10 – вдавлюючий диск; 11 – повідок; 12 – пневмоциліндри; 13 – клапанно-розподільний механізм; 14, 15 – датчики положення повідків; 16 – індуктивний датчик.

Лабораторно-польова установка є двофазною сошниковою системою, що складається із диска щілиноутворювача 1, який через підпружинений амортизатор 2 повідок 3 закріплений шарнірно до рами 4, глибина ходу диска щілиноутворювача регулюється опорно-ходовими колесами 5. Послідовно, в повздовжньому напрямку, встановлений висівний апарат 7 із насіннепроводом 6. Вдавлюючий диск 10, встановлений на повідку 11, який шарнірно приєднаний до рами. Висівний апарат приводиться в рух за допомогою електродвигуна-редуктора 8 через ланцюгову передачу 9.

Двофазна сошникові система має автоматизовану систему регулювання і контролю положення вдавлюючого диска, яка, в свою чергу, складається із двох пневмоциліндрів 12, клапанно-розподільного механізму 13, датчиків 14 і 15 положення повідків, зовнішнього джерела стисненого повітря (на рис. не показано) та контролера Мікрол МІК 121, який крім того керує роботою висівного апарата. Для фіксації моменту прольоту насінини в нижній частині насіннепровода встановлено індуктивний датчик 16.

При проведенні лабораторно-польових досліджень пропонувану сошникову систему було встановлено замість серійної секції тринадцятого ряду на сівалку John Deere 7000 (рис. 8), що має шістнадцять рядків і агрегувалась із трактором John Deere 8400. Висівні апарати на всіх секціях сівалки були однакові (пневматичні, вакуумного типу, з індивідуальним електроприводом) і налаштовані на однакову норму висіву.



Рис. 8. Двофазна сошниковая система на сівалці John Deere 7000.

Всі досліди було проведено за стандартною методикою проведення повного факторного експерименту. Критеріями оптимізації прийняли: рівномірність відстаней між насінинами вздовж рядка, рівномірність глибини заробки, щільність ґрунту в зоні розміщення насіння та схожість насіння. Обробка експериментальних даних проводилася із застосуванням пакету прикладних програм «Statistica».

Виконані попередні дослідження показали, що твердість ґрунту по площі поля, яке підготовлене до сівби сільськогосподарських культур, змінюється в широких межах (до 1300 кПа) і не має домінуючих частот зміни вздовж лінії гону. Ці результати було враховано при визначенні вихідних умов для виконання імітаційного моделювання процесів функціонування двофазної сошникової системи.

У ґрунтовому каналі було проведено дослідження для перевірки якості заробки насіння двофазним способом та визначення характеру зони ущільнення ґрунту вдавлюючим диском. Вологість ґрунту на момент проведення досліджень приводили до $20 \pm 2\%$, контролювали вологоміром FIELDSCOUT TDR 300 Soil. На поверхні ґрунту утворювали щілину за допомогою виготовленого диска щілиноутворювача і доставляли в неї насінину, після чого, вздовж щілини протягували вдавлюючий диск, який зрізав ґрунт зі стінок борозни і накривав насінину (рис. 9 а). Як бачимо, після проходження вдавлюючого диска утворювалася зона ущільненого ґрунту (рис. 9 б) – вид зверху, та в розрізі (рис. 9 в).

За допомогою виготовленої лабораторно-польової установки в ґрунтовому каналі визначили різницю глибини ходу Δh щілиноутворювача і вдавлюючого диска, що необхідна для утворення в зоні залягання насіння щільності ґрунту Q в межах $1,1 \dots 1,3 \text{ г/см}^3$.

Перед початком досліду ґрунт доводили до вологості $20 \pm 2\%$ і розпушували до середньої щільності 1 г/см^3 . Щільність, що утворювалася в зоні залягання насіння, визначали за методом Качинського, проте використовували спеціально створений бур об'ємом 8 см^3 .



а)



б)



в)

Рис. 9. Зображення реалізації двофазного способу заробки насіння: а – робота вдавлюючого диска; б – зона ущільненого ґрунту (вид зверху); в – розріз ґрунту.

Показник Δh змінювали на трьох рівнях: 1 см, 2 см і 3 см.

Одночасно з цим перевірили вплив швидкості руху V двофазної сошникової системи на параметр оптимізації Q .

Показник V змінювали на трьох рівнях: 1 м/с, 1,7 м/с і 2,4 м/с.

Було побудовано поверхню відгуку зміни щільності ґрунту Q в залежності від показника Δh та швидкості руху V двофазної сошникової системи (рис. 10).

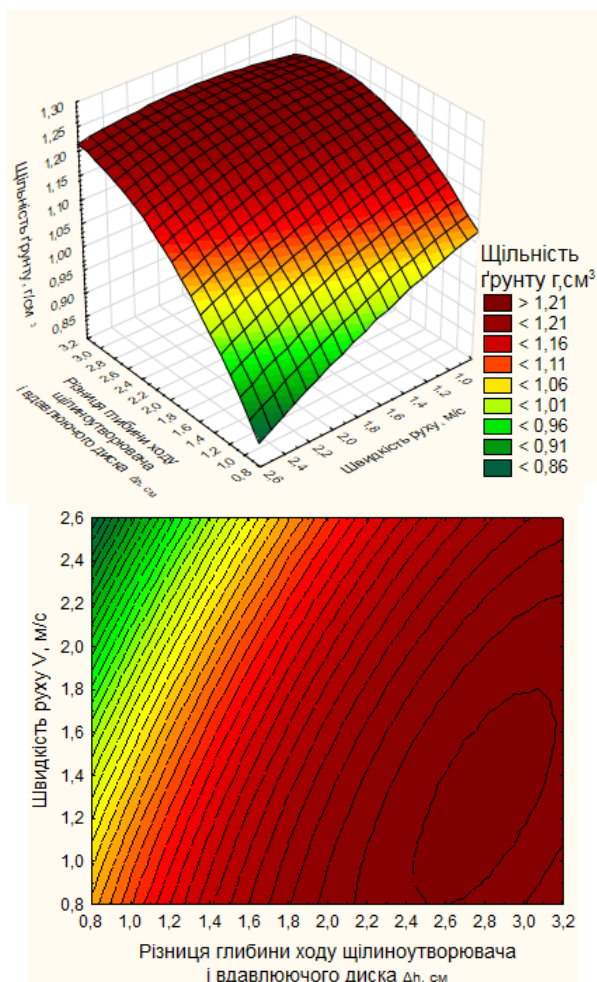


Рис. 50. Поверхня відгуку зміни щільності ґрунту Q в залежності від показника Δh та швидкості руху V .

В результаті проведеного повного факторного експерименту 3^2 отримано рівняння регресії в натуральних значеннях.

Отримане рівняння регресії встановлює залежність між параметром оптимізації Q і наступними параметрами: швидкістю руху сошникової системи V та різницею глибини ходу щілиноутворювача і вдавлюючого диска, що є найбільш впливовим фактором. За визначених умов оптимальні значення $\Delta h_{opt}=2,802$ см, $V_{opt}=1,29$ м/с.

Для вивчення зміни коефіцієнту варіації глибини заробки насіння в залежності від швидкості руху сівалки та глибини ходу сошника було проведено лабораторно-польові дослідження. Дослідження проводили на полі № 6 «Агрономічної дослідної станції» під час сівби кукурудзи. Ґрунт – чорнозем звичайний малогумусний, вологість коливалась в межах 18...22 %. Глибину заробки визначали після отримання сходів методом вимірювання етильованої частини рослини. Дослід проводили із двома факторами на трьох рівнях. Швидкість руху сівалки V встановлювали на трьох рівнях: 1 м/с, 2 м/с і 3 м/с, глибину ходу сошника H встановлювали 3 см, 5 см і 7 см. В результаті обробки даних побудовано поверхню відгуку (рис. 11).

Отримано рівняння регресії, що встановлює залежність між параметром оптимізації W і такими параметрами: швидкістю руху V сошникової системи

та глибиною H заробки насіння. В даному випадку найбільш впливовим фактором є швидкість V .

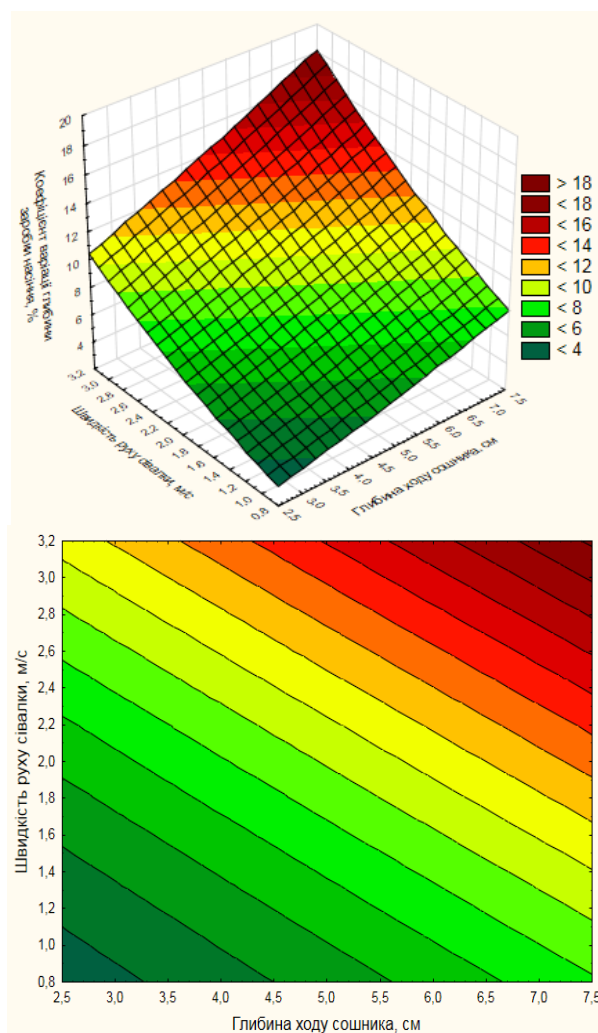


Рис. 61. Поверхня відгуку коефіцієнта варіації глибини заробки насіння W від швидкості руху сівалки V і заданої глибини ходу сошника H

Для порівняльної оцінки роботи двофазної сошникової системи в польових умовах визначали коефіцієнти варіації глибини заробки насіння, відстані між рослинами в рядку, польову схожість насіння та середню щільність ґрунту в зоні залягання насіння. Всі показники визначали після отримання сходів шляхом вимірювання тридцяти послідовно розміщених рослин на п'яти окремих ділянках. Порівнювали тринадцятий (двофазна сошниковая система) і чотирнадцятий ряди сівалки. Оброблені результати вимірювань представлені на рис. 11.

Із рис. 12 видно, що коефіцієнт варіації глибини заробки насіння зменшився близько у 2,1 раза, коефіцієнт варіації відстані між рослинами зменшився у 2,9 раза, а польова схожість зросла на 8,8 %. При цьому показник середньої щільності ґрунту в зоні залягання насіння зріс із $1,02$ г/см³ при проведенні сівби базовою сошниковою системою до $1,18$ г/см³ – пропонуваною, що знаходиться в межах оптимальних значень $1,1...1,3$ г/см³.

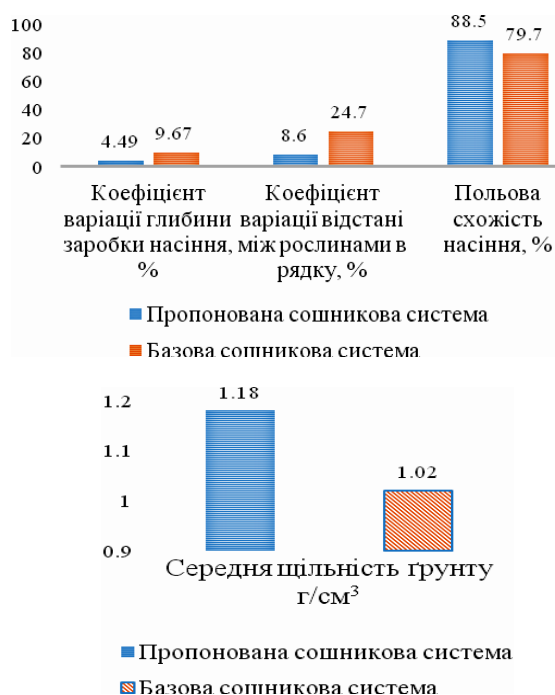


Рис. 72. Значення коефіцієнта варіації глибини заробки насіння, %; коефіцієнта варіації відстані між рослинами в рядку, %; польової схожості насіння, %; та середньої щільності ґрунту в зоні залягання насіння, г/см³.

Висновки

1. Обґрунтовано перспективний напрям вдосконалення процесу сівби шляхом застосування двофазної сошникової системи на підставі проведеного аналізу існуючих способів і технічних засобів реалізації сівби просапних культур.

2. Розроблено математичну модель функціонування двофазної сошникової системи для просапних сіялок та проведено імітаційне моделювання процесу, що дозволило визначити впливові фактори для досягнення поставленого завдання. Основними з таких факторів стали жорсткість пружини $c_u=360$ кг/см, коефіцієнт демпфування $d=120$ Н с/м, стала часу $T=0,1$ с, коефіцієнти затухання $\xi=0,1$ і підсилення $K=4,9$ модуля управління пневмоприводом.

3. Проведено теоретичний та практичний аналіз процесу взаємодії робочих органів двофазної сошникової системи з ґрунтом, як цілісної динамічної системи, для якої обґрунтовано взаємозв'язок функціонування щілиноутворювача і вдавлюючого диска. Визначено оптимальне значення $\Delta h_{opt}=2,802$ см різниці глибини ходу щілиноутворювача і вдавлюючого диска, яка необхідна для утворення в зоні залягання насіння щільності ґрунту в межах $1,1 \dots 1,3$ г/см³.

4. Експериментальні дослідження впливу обґрунтованих конструктивних параметрів двофазної сошникової системи на формування розподілу насіння в ґрунті показали зниження коефіцієнту варіації глибини заробки насіння в два рази (до 4,49 %), зниження коефіцієнту варіації відстані між рослинами

майже в три рази (до 8,6 %), підвищення схожості насіння на 8,8 %, підвищення середньої щільності ґрунту в зоні залягання насіння з 1,02 до 1,18 г/см³ у порівнянні з базовою сошниковою системою.

Список літератури

1. *Аніскевич Л. В., Росамаха Ю. О.* Шляхи покращення сівби просапних культур у технологіях точного землеробства. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. 2014. Вип. 2 (45). Т. 4. Ч. 1. С. 157–162.

2. *Аніскевич Л. В., Росамаха Ю. О.* Конструктивні особливості сошникових систем сучасних сіялок та їх відповідність вимогам точного землеробства. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 241. С. 270–279.

3. *Аніскевич Л. В., Росамаха Ю. О.* Патент України на корисну модель № 107387 Україна, А01С 7/20. Сошникова система для сівби сільськогосподарських культур. Заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № у 201507814; заявлено 06.08.2015; опубліковано 10.06.2016. Бюл. № 11.

References

1. *Anishevich, V. L., Rosamaha, Yu. O.* (2014). Ways to improve the sowing of row crops in precision agriculture technologies. Bulletin of Zhytomyr national agroecological University. Vol. 2 (45). Vol. 4. Part 1. 157-162.

2. *Anishevich, V. L., Rosamaha, Yu. O.* (2016). Design features of Soshnikova systems of modern planters and their compliance with the requirements of precision agriculture. Scientific Bulletin of National University of life and environmental Sciences of Ukraine. Series: electronics and energetics, agriculture. Vol. 241. 270-279.

3. *Anishevich, V. L., Rosamaha, Yu. O.* (2015). Patent of Ukraine for useful model No. 107387 Ukraine, A01C 7/20. Soshnikova system for planting crops. Applicant and patentee of the national University of life and environmental Sciences of Ukraine. No. u 201507814.

ДВУХФАЗНАЯ СОШНИКОВА СИСТЕМА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Л. В. Анишкевич, Ю. А. Росамаха

Аннотация. Построена математическая модель движения двухфазной сошниковой системы и проведено имитационное моделирование ее функционирования, что позволило определить оптимальные параметры сошниковой системы при наличии систематических и случайных погрешностей измерительных и контролирующих элементов.

Ключевые слова. Качество сева, двухфазная сошниковая система, твердость почвы, автоматизированная система управления.

TWO-PHASE COULTER SYSTEM FOR PRECISION
AGRICULTURE TECHNOLOGIES

Aniskevich L. V., Rosamaha Yu. O.

Abstract. A mathematical model of the motion of a two-phase coulter system was constructed and a simulation modeling of its functioning was carried out, which made it possible to determine the optimal parameters of the coulter system in the presence of systematic and random errors of measuring and control elements.

Key words: seed quality, two-phase coulter system, hardness of soil, automated control system.