

УДК 681.513.6; 681.5.015

Ю.М. Пархоменко, асист.

Кіровоградський національний технічний університет

Теоретичне обґрунтування адаптивної системи автоматичного керування висівом зернових культур

У статті приведені результати теоретичного обґрунтування адаптивної системи автоматичного керування висівом зернових культур. Показано, що регульованою величиною є щільність зернового потоку, яка лінійно залежить від робочої довжини котушки висівного апарату. Щільність зернового потоку, відповідно агротехнічним вимогам, може бути забезпечена лише при адаптивному керуванні з реалізацією запропонованого найбільш ефективного закону.

система, адаптивне керування, висів, зернові культури, щільність потоку, критерій якості

Зерновий сектор України є стратегічною галуззю економіки держави, оскільки вона в останні роки посідає третє місце серед лідерів з експорту зерна на світовому ринку після США та Євросоюзу, а збільшення обсягів ВВП в аграрному секторі забезпечує вдвічі більший ефект порівняно з іншими сферами господарства. В той же час внаслідок слабкого матеріально-технічного забезпечення та пониженої ефективності праці, які не відповідають світовим стандартам і потребам галузі, валовий збір зерна в Україні знижується і в 2010 році вона посідає третє місце за обсягом експорту ячменю, четверте місце за експортом кукурудзи та шосте місце за обсягом експорту пшениці [1]. Урожайність зернових в Україні, всупереч усталеним твердженням про високу родючість українських ґрунтів, сьогодні значно поступається провідним країнам. За таких умов не здійснюється передбачений законодавством України напрямок реалізації ресурсозберігаючих технологій в енергетиці, промисловості та аграрному комплексі. Тому тема статті, спрямованої на реалізацію даного напрямку, є актуальною. Тематика відповідає програмі “Технічні засоби нового покоління для сільськогосподарського виробництва”, включеної до переліку Державних цільових наукових та науково-технічних програм (п.5.7, п.п. 5.7.1), визначених законом України “Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки”. Матеріали даної статті являють собою частину результатів наукових досліджень, отриманих в процесі виконання науково-дослідної роботи “Система комп’ютерної ідентифікації технологічного процесу висіву насіння зерновими сівалками” (державний реєстраційний номер 0107U005469), яка є складовою частиною тематичного плану Кіровоградського національного технічного університету.

Відомо, що сівба є одним із основних технологічних процесів в рослинництві, яка сильно впливає на врожайність культур. Вона повинна виконуватися якісно і в стислі терміни. Якість сівби в значній мірі залежить від рівня автоматизації технологічного процесу. Удосконаленням сівалок та засобів їх автоматизації в різні роки займаються А.Н. Семенов, Л.В. Погорілий, П.В. Сисолін, В.Ю. Комарістов, С.В. Кардашевський, В.В. Логін, М.Г. Кінкер, Л.В. Анісевич, М.Д. Пархоменко та багато інших, однак питання адаптивного керування висівом зернових культур ніхто не досліджував.

Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування адаптивної системи автоматичного керування висівом зернових культур за допомогою технологічних агрегатів, наприклад сівалки СЗ-3,6А.

До основних агротехнічних показників оцінки якості висіву зернових сівалок

відносять щільність розподілу зернового потоку вздовж рядка, тобто, на одному метрі довжини повинна бути вкладена певна кількість зерен практично з однаковою відстанню між ними. Нерівномірний розподіл встановленої кількості зерен, їх розрідження або згущення призводять до втрати врожайності. Тому в процесі висіву необхідно на дно борозни вкласти саме задану кількість зернин на один метр довжини з встановленою відстанню між ними. Нині, внаслідок різних причин, це не виконується, що призводить до значних втрат врожаю з одиниці посівної площі. Процес формування зернового потоку визначається конструктивними особливостями сівалки та засобами її автоматизації.

Динамічна модель зернового потоку, що формується на виході катушкового висівного апарата сівалки СЗ -3,6А, визначається його інтенсивністю [2]. Дана залежність є періодичною, пропорційною терміну T_j розвантаження k -го жолобка катушкового висівного апарата. Оскільки порційність зернового потоку по мірі його переміщення по насіннєпроводу згладжується, то на рівні дна борозни інтенсивність виходу зернин можна розглядати як ідеально осереднену

$$Q_c = \frac{L_k \cdot \omega_k \cdot \gamma \cdot 10^{-3}}{2 \cdot A} \cdot \left[\frac{S_T \cdot \mu}{\omega_k} + \frac{d_k \cdot (1 - e^{-b_0 \cdot C_1})}{b_0} \right], \quad (1)$$

де L_k - робоча довжина катушки, мм;

ω_k - кутова швидкість обертання катушки, рад/с;

γ - об'ємна маса зерна, г/дм³;

A - маса 1000шт. насіння, г;

S_T - середня за період T_j площа розвантаження сектора k - го жолобка;

μ - коефіцієнт заповнення жолобків;

d_k - діаметр катушки, мм;

b_0 - коефіцієнт пропорційності, залежний від величини, форми та внутрішнього коефіцієнту тертя насіння (для пшениці та жита $b_0 = 0,3 \div 0,35$);

C_1 - відстань до денця катушки.

У залежності (1) параметр S_T можна визначити за формулою

$$S_T = \frac{1}{T_j} \cdot \int_0^{T_j} [y_1(t) + y_2(t)] \cdot x'(t) \cdot dt, \quad (2)$$

де $T_j = 2 \cdot \pi / \omega_k \cdot z$; z - кількість жолобків;

$$y_1(t) = \begin{cases} \sqrt{r_j^2 - x^2(t)} - \sqrt{r_{jk}^2 - (b_j/2)^2}, & \text{якщо } 0 \leq \omega_k \cdot t \leq \alpha; \\ 0, & \text{якщо } \alpha < \omega_k \cdot t < \alpha + \beta; \end{cases}$$

$$y_2(t) = \begin{cases} \sqrt{r_k^2 - x^2(t)} - \sqrt{r_k^2 - (b_j/2)^2}, & \text{якщо } 0 \leq \omega_k \cdot t \leq \alpha; \\ 0, & \text{якщо } \alpha < \omega_k \cdot t < \alpha + \beta; \end{cases}$$

$$x'(t) = b_j \cdot \omega_k \cdot \cos(\omega_k \cdot t - \alpha/2) / 2 \cdot \sin(\alpha/2);$$

r_j - радіус жолобка, мм;

b_j - ширина жолобка, мм;

r_k - радіус катушки, мм.

Кутова швидкість обертання катушки в (1) дорівнює

$$\omega_k = \frac{V_c \cdot i}{D_k \cdot 1,8}, \quad (3)$$

де V_c - швидкість руху сівалки, км/год;

D_k - діаметр опорно-приводного колеса, м;

i - передаточна величина між опорно-приводним колесом та катушкою,
 $i = \omega_k / \omega_{ok}$;

ω_{ok} - кутова швидкість опорно-приводного колеса, $\omega_{ok} = V_c / D_k \cdot 1,8$.

Щільність розподілу Q_m зернового потоку можна визначити за його інтенсивністю Q_c відповідно залежності

$$Q_m = \frac{3,6 \cdot Q_c}{V_c}, \text{ шт/м}. \quad (4)$$

Як показує аналіз залежностей (1) і (2), Q_c за певних незмінних умов можна подати співвідношенням

$$Q_c = b_m \cdot L_k \cdot V_c, \text{ шт/с}, \quad (5)$$

де b_m - сталий коефіцієнт пропорційності, залежний від передаточної величини i , відстані до денця катушки C_1 , конструктивних параметрів висівної системи та посівного матеріалу.

З врахуванням (5) залежність (4) прийме вигляд

$$Q_m = 3,6 \cdot b_m \cdot L_k = b'_m \cdot L_k, \text{ шт/м}, \quad (6)$$

Отже, з (6) видно, що регульована величина системи Q_m лінійно залежить від робочої довжини катушки L_k . Щільність розподілу зернового потоку Q_m залежить лише від робочої довжини катушки L_k і не залежить від швидкості руху сівалки V_c . Зрозуміло, що фізична залежність (6) реалізується при певній швидкості руху сівалки, але її величина на регульований параметр не впливає. Оскільки передаточне відношення i та відстань до денця катушки C_1 для кожного поля і типу посівного матеріалу встановлюється перед початком сівби і в процесі висіву залишаються незмінними для усіх ділянок поля до завершення технологічної операції як при традиційній, так і при точній технології землеробства, то коефіцієнт пропорційності b'_m і щільність розподілу зернин Q_m у відповідності з (6) змінюватися не будуть. Це вказує на зручність використання залежності (6) у господарських умовах. Перед початком висіву з врахуванням вказаних факторів необхідно виставляти значення коефіцієнта b'_m .

З врахуванням сказаного, автоматичне керування процесом висіву зводиться до простого підтримання заданого за певних умов значення щільності розподілу зернового потоку Q_m шляхом зміни робочої довжини катушки L_k . Однак це не зовсім так, оскільки в (6) коефіцієнт b'_m є функцією ряду параметрів, які є: конструктивними константами - r_j, b_j, d_k, D_k, z ; змінними константами - γ, A , які характеризують конкретний посівний матеріал; змінними конструктивними сталими - i, C_1 , які встановлюють при налагодженні сівалки перед сівбою. Особливим параметром є коефіцієнт заповнення жолобків μ , на який впливає значна кількість факторів [4].

Перші три групи параметрів для конкретних умов сівби можна вважати незмінними, що визначає певне значення коефіцієнта b'_m . Тоді з врахуванням можливої зміни μ , залежність (6) подамо у вигляді

$$Q_m = b_{m1}(\mu) \cdot L_k. \quad (7)$$

У випадку зміни μ порушується однозначність зв'язку Q_m з L_k і в процес

регулювання буде вноситись похибка, яка визначається нелінійністю коефіцієнта $b_{m1}(\mu)$. Як показує аналіз, коефіцієнт заповнення жолобків μ є функцією шести змінних, тобто $\mu = f(\gamma, A, \phi, V_{36}, S, \varepsilon)$, де V_{36} - поточний об'єм зерна в бункері; (γ, A) - тип фракції; ϕ - запиленість жолобків котушки; S - довжина пройденого сівалкою шляху, яка неперервно змінюється в процесі висіву; ε - коефіцієнт проковзування, який є результатом дії випадкових зовнішніх збурювань. Внаслідок великої кількості факторів впливу значення μ , а також і $b_{m1}(\mu)$, точно встановити практично не можливо. Тому промодельюємо залежність (7) при висіванні повного бункера насіння пшениці, яка характеризується наступними параметрами: густина сипкого матеріалу $\gamma = 730 \dots 760 \text{ г/дм}^3$; маса 1000шт $A = 25 \dots 45 \text{ г}$; коефіцієнт заповнення жолобків $\mu = 0,65 \dots 0,82$ [3]. Для сівалки СЗ-3,6А ємкість бункера $V_B = 453 \text{ дм}^3$, кількість сошників $z = 24$. Задану щільність розподілу зернового потоку прийемо $Q_{мз} = 45 \text{ шт/м}$. Тоді кількість зернин в бункері N_B визначимо за виразом $N_B = V_B \cdot \gamma / A$, а пройдений сівалкою шлях до повного звільнення бункера від зерна $S_B = N_B / Q_{мз} \cdot z$. Розрахунково визначений пройдений сівалкою шлях до повного звільнення бункера від зерна для різних фракцій пшениці наведено в табл.1.

Таблиця 1 – Залежність розрахунково встановлених значень пройденого сівалкою шляху до повного звільнення бункера від зерна для різних фракцій пшениці

Маса 1000шт насіння (тип фракції) $A, \text{ г/тис.шт.}$	25	30	35	40	45
Густина даного матеріалу $\gamma, \text{ г/дм}^3$	760	753	747	742	730
Кіль-ть зернин в бункері $N_B, \text{ шт.}$	13771	11370	9668	8403	7349
Пройдений шлях $S_B, \text{ м.}$	12750	10528	8952	7781	6804

Для дослідження можливих змін щільності розподілу зернового потоку $Q_{мф}$ від коефіцієнта заповнення жолобків μ та довжини пройденого шляху S при різних фракціях необхідно при заповненому зерном бункері здійснити імітацію налагоджування сівалки на задану норму висіву. Визначення щільності $Q_{мф}(\mu, S)$ та параметрів налагоджування для кожної фракції посівного матеріалу виконаємо за формулою (4). Параметри налагоджування на норму висіву $Q_{мз} = 45 \text{ шт/м}$ подано в табл.2

Таблиця 2 – Параметри налагоджування на задану норму висіву $Q_{мз} = 45 \text{ шт/м}$

Маса 1000шт насіння (тип фракції) $A, \text{ г/тис.шт}$	25	30	35	40	45
Передаточна величина i	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Відстань до денця котушки $C_1, \text{ мм}$	7	8	9	10	11
Робоча довжина котушки $L_k, \text{ мм}$	11,0	13,2	15,0	18,8	21,9

Поточне значення щільності розподілу насіння заданої фракції в довільній точці пройденого сівалкою шляху до повного звільнення бункера від зерна можливо визначити за інтерполяційним поліномом Ньютона

$$Q_m(S) = Q_m(S_0) + \sum_{j=1}^n \left[\frac{\Delta^j Q_0}{j!} \cdot \prod_{i=0}^{j-1} \left(\frac{S - S_i}{h} \right) \right], \quad (8)$$

де $j = 0, 1, \dots, n$ - номер вузла інтерполяції;

n - кількість вузлів інтерполяції;

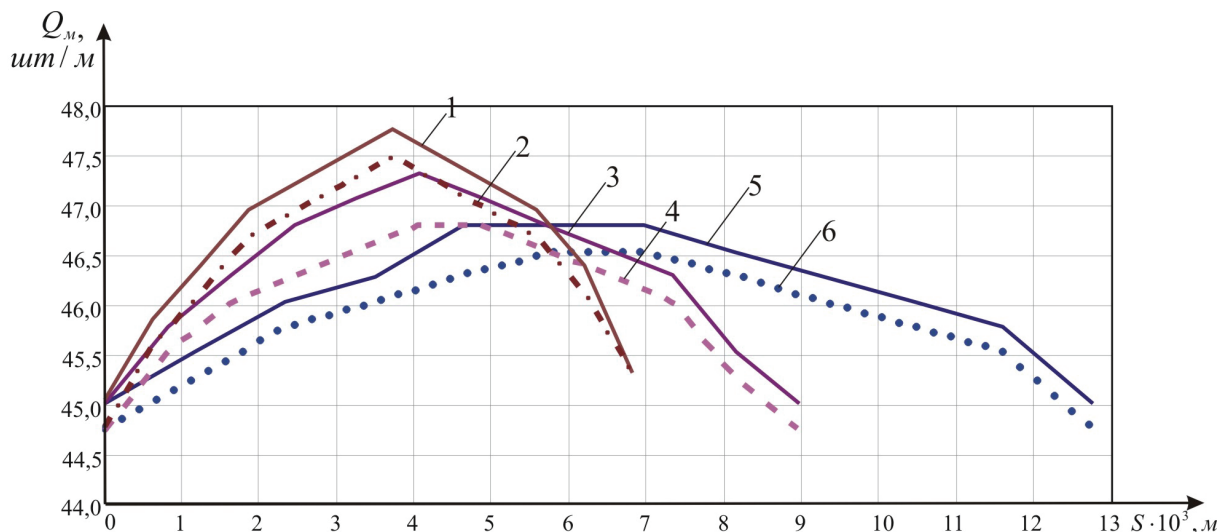
$i = 0, 1, \dots, j-1$ - індекс координати пройденого сівалкою шляху до повного звільнення бункера від зерна;

$Q_m(S_0), Q_m(S_j)$ - значення щільності в нульовому та довільному j -му вузлах інтерполяції;

$h = (S_n - S_0)/n = S_{i+1} - S_i$ - крок інтерполяції для заданої фракції;

$\Delta Q_j = Q_m(S_{j+1}) - Q_m(S_j), \dots, \Delta^{j-1} Q_{j+1} - \Delta^{j-1} Q_j$ - кінцеві різниці j -го порядку.

Графіки залежності щільності розподілу зернового потоку $Q_{mf}(\mu, S)$ від μ та довжини пройденого шляху S при висіванні різних фракцій насіння пшениці, визначені відповідно залежності (8) за першим і другим проходженням шляху S_B , представлені на рис.1, де розрахунки виконані для фракцій 25; 35 і 45 г/тис.шт. Як видно з графіків, довжина шляху S_B і крутизна зміни щільності зернового потоку Q_m при висіванні різних фракцій насіння пшениці мають суттєві відмінності. При висіванні насіння однієї і тієї ж фракції графіки щільності (1 і 2, 3 і 4, 5 і 6) з кожним повторним проходженням шляху S_B (при повторному заповненні бункера) під впливом запиленості зміщуються по ординаті, але форма кривих залишається практично незмінною. З розглянутого видно, що щільність зернового потоку в процесі сівби змінюється в значних межах.



1 – A=45-1; 2-A=45-2; 3-A=35-1; 4-A=35-2; 5-A=25-1; 6-A=25-2

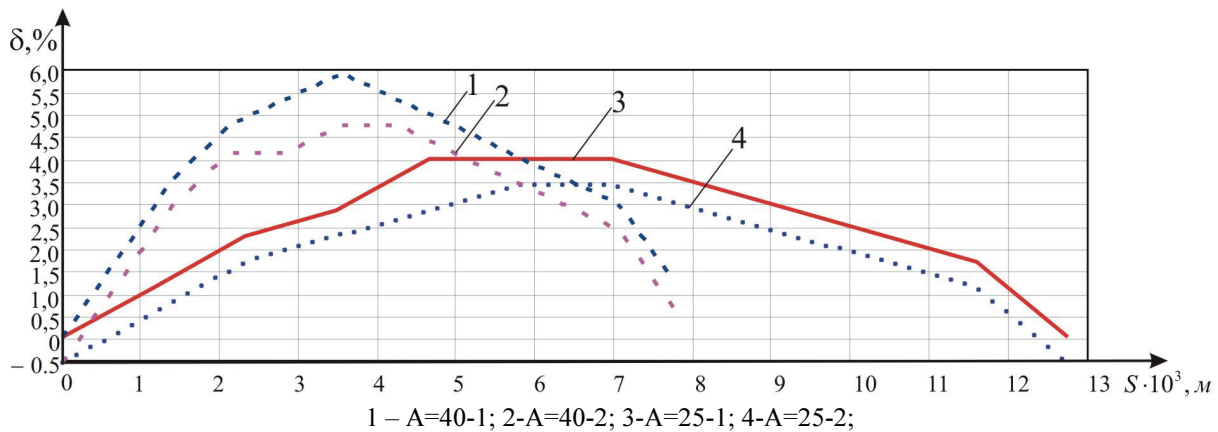
1 – за першим проходженням шляху S_B ; 2 – за другим проходженням шляху S_B .

Рисунок 1 – Графіки залежності щільності розподілу зернового потоку в процесі проходження сівалкою шляху до повного звільнення бункера від зерна та при повторному проходженні

Оцінку відносного відхилення фактичної щільності зернового потоку Q_{mf} від заданого значення Q_{m3} можливо здійснити відповідно залежності

$$\delta = \frac{Q_{mf}(\mu, S) - Q_{m3}}{Q_{m3}} \cdot 100, \% \quad (9)$$

За даними рис.1 по залежності (9) побудовані криві зміни відносного відхилення фактичного значення щільності Q_{mf} зернового потоку від заданого Q_{m3} , які приведені на рис.2.



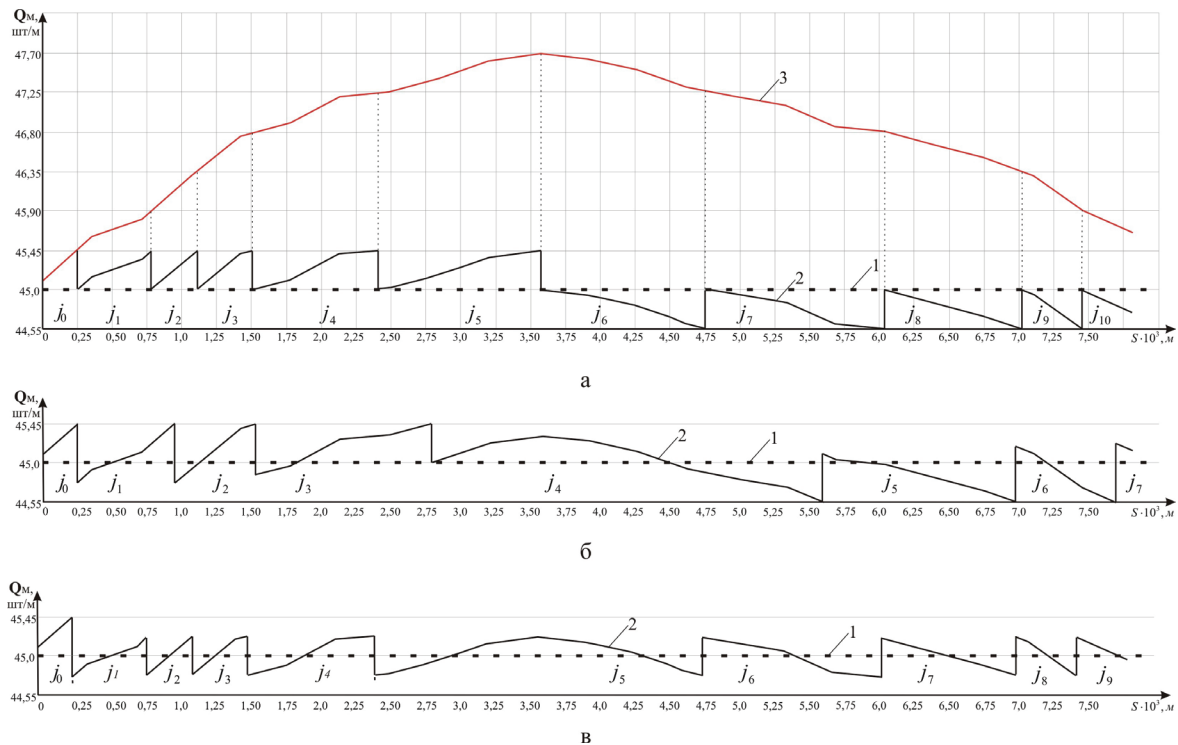
1 – за першим проходженням шляху S_B ; 2 – за другим проходженням шляху S_B

Рисунок 2 – Відхилення фактичного значення щільності розподілу зернового потоку від заданого

Аналіз графіків (рис.2) показує, що величина відносного відхилення фактичної щільності розподілу зернового потоку $Q_{mf}(\mu, S)$ від заданої $Q_{mз}$ за першим проходженням шляху S_B для більш крупних фракцій насіння досягає в точці максимуму 6%, а для більш дрібних фракцій 4...4,5% при допустимій за агровимогами нормі 2...3%. Тобто, при налагоджуванні сівалки на задану норму висіву $Q_{mз}$ з наповненим бункером майже половина шляху S_B буде мати густину посіву на 3% більшу допустимої, що призводить до перевитрат посівного матеріалу та зниження врожаю. Якщо налагодження сівалки здійснити з наполовину наповненим бункером, то інша половина шляху S_B буде мати на 3% розріджений посів, що також призводить до зниження врожаю. Отже, при традиційному керуванні висівом відразу закладаються умови зниження врожайності культур. Для подолання цього недоліку необхідно покращити якість процесу керування висівом зернових культур. Система автоматичного керування процесом висіву повинна враховувати тип фракції посівного матеріалу, крутизну зміни щільності розподілу зернового потоку в довільній точці шляху S , оптимальне значення відхилення щільності від заданого значення. Тобто, система автоматичного керування повинна пристосовуватись до змінних умов висіву.

Головною задачею стабілізуючої системи автоматичного керування при традиційній технології землеробства є забезпечення попередньо заданої сталої норми висіву $Q_{mз}$ на всіх ділянках поля. При цьому абсолютне відхилення ΔQ_m фактичної щільності розподілу зернового потоку $Q_{mf}(S)$ в довільній точці пройденого шляху S від заданої $Q_{mз}$ повинно прямувати до нуля, тобто $\Delta Q_m = |Q_{mз} - Q_{mf}(S)| \rightarrow 0$. При точній технології місцевизначеного землеробства зі змінними нормами висіву $Q_{mз}(x, y)$ слідкуюча система автоматичного керування повинна забезпечувати виконання умови $\Delta Q_m = |Q_{mз}(x, y) - Q_{mf}(S)| \rightarrow 0$. Реально ці умови не виконуються, тому розглянемо перехідні процеси зміни щільності розподілу зернового потоку в процесі висіву. Оскільки регульована величина не залежить від швидкості руху сівалки, перехідні процеси більш зручно розглядати у функції пройденого шляху S , точніше на відрізках шляху S_B .

Виконаємо побудову перехідних процесів при різних законах автоматичного регулювання за кривою 3 (рис.3,а), отриманою за умови використання традиційного регулювання. Крива 3 побудована за інтерполяційною формулою Ньютона (8) за 23 вузлами інтерполяції при висіванні першого бункера насіння фракції $A = 40 \text{ г / тис.шт}$



а – при традиційному регулюванні за відхиленням; б – при регулюванні з упередженням; в – при регулюванні за оптимальним законом

1 – задана для підтримання величина; 2 – регульована у відповідності з запропонованим законом; 3 – традиційно регульована величина

Рисунок 3 – Перехідні процеси зміни щільності зернового потоку фракції $A = 40 \text{ г} / \text{тис.шт}$ при висіві першого бункера насіння

при заданій нормі висіву $Q_{мз} = 45 \text{ шт} / \text{м}$ (рис.3,а – пряма 1). Як видно, залежність 3 при традиційному регулюванні не відповідає графіку 1 ідеального регулювання. Покращити показники можливо застосуванням регулювання за відхиленням відповідно функції

$$Q_{мр}(S_{j,i}) = \begin{cases} Q_{мф}(S_{j,i}), & \text{якщо } |Q_{мз} - Q_{мф}(S_{j,i})| < \Delta Q_{мн} \\ Q_{мф}(S_{j,n}) \mp \Delta Q_{мн}, & \text{якщо } |Q_{мз} - Q_{мф}(S_{j,n})| \geq \Delta Q_{мн} \end{cases}, \quad (10)$$

де $j = 0, 1, 2, \dots, n$ - інтервали перерегулювання;

$i = 0, 1, 2, \dots, n$ - індекси поточних $S_{j,i}$ та кінцевої $S_{j,n}$ координат виміру щільності

$Q_{мф}(S_{j,i})$ у середині j -го інтервалу;

$\pm \Delta Q_{мн}$ - заданий поріг регулювання (межа відхилення поточного значення щільності) $Q_{мф}(S_{j,i})$ від заданої $Q_{мз}$.

При побудові перехідного процесу (крива 2, рис.3,а) межа відхилення була встановлена на рівні 1% відносно $Q_{мз} = 45 \text{ шт} / \text{м}$, тобто $\pm \Delta Q_{мн} = 0,45 \text{ шт} / \text{м}$. Як видно з кривих 2 і 3 (рис.3,а), число інтервалів перерегулювання та їх тривалість ΔS_j залежать від крутизни нахилу кривої 3. Вони також будуть залежати від величини порогу регулювання $\pm \Delta Q_{мн}$. Це буде характерним для кожної з фракцій посівного матеріалу.

Найкращих результатів управління процесом висіву можна досягти, якщо процес оцінювати за відносним усередненим відхиленням регульованої величини від заданого значення $Q_{мз}$ на повній відстані S_B . Це відповідає критерію якості управління, який можна подати у вигляді функціоналу

$$J[Q_{mp}(S)] = \frac{\left| \frac{1}{S_n - S_0} \int_{S_0}^{S_n} Q_{mp}(S) \cdot dS - Q_{m3} \right|}{Q_{m3}} \cdot 100, \% = \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \left| \frac{1}{\Delta S_j} \int_0^{S_j} Q_{mp}(S_{ji}) \cdot dS - Q_{m3} \right|}{Q_{m3}} \cdot 100, \% \quad (11)$$

Визначені за формулою (11) усереднені значення абсолютного відхилення щільності зернового потоку $\Delta \bar{Q}_{mj}$ по кожному з лінеаризованих інтервалів регулювання ΔS_j (чисельник другого виразу рівняння) за даними кривої 2 (рис.3,а) дозволили визначити усереднене по шляху S_B , тобто $(S_n - S_0)$, абсолютне відхилення щільності $\Delta \bar{Q}_{mp}$ (чисельник першого виразу рівняння), що дорівнює $\Delta \bar{Q}_{mp} = 0,225$ шт/м. Для даного випадку функціонал, що оцінює якість сівби, дорівнює $J[Q_{mp}(S)] = 0,5\%$. Відносна похибка відхилення щільності зернового потоку від заданого значення знаходиться в межах $\pm 0,5\%$. Зменшити величину функціоналу $J[Q_{mp}(S)]$ можливо зменшенням порога регулювання $\pm \Delta Q_{mn}$, пропорційного кроку переміщення виконавчого механізму, тобто інтервалу зміни довжини котушки $\pm \Delta L_k$, мінімальна величина котрого обмежена можливостями існуючих технічних засобів $|\Delta L_k| \geq 0,1 \text{ мм}$. Це примушує вводити обмеження і на величину ΔQ_{mn} .

Таке управління можливо здійснити за допомогою системи автоматичного керування, поданої на рис.4. Регульованим об'єктом тут виступає висівна система зернової сівалки, на виході якої формується зерновий потік. Система комп'ютерної ідентифікації зернового потоку забезпечує визначення поточних значень щільності $Q_{mf}(S)$. До початку сівби в блок обробки інформації вводять обрані значення Q_{m3} ,

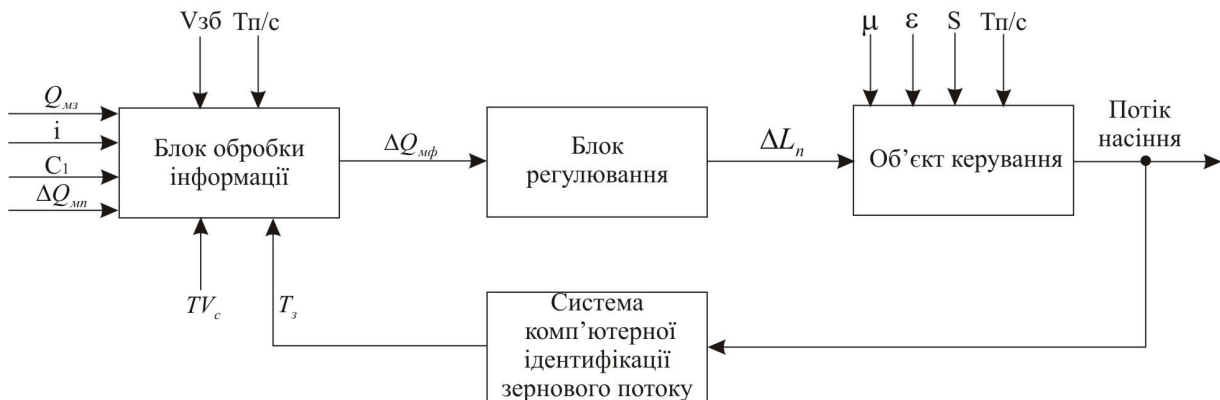


Рисунок 4 – Структурна схема системи автоматичного керування процесом висіву

ΔQ_{mn} , i , C_1 . Під час сівби в нього поступають імпульси від зареєстрованих насінин T_3 , сигнали TV_c , які інформують про проходження сівалкою фіксованих ділянок шляху з швидкістю V_c , інформація про об'єм зерна в бункері $V_{зб}$ та сигнали "пуск/стоп" $T_{п/с}$ процесу висіву. На виході даного блока формуються граничні значення параметра відхилення $\Delta Q_m = Q_{mf}(S) - Q_{m3}$. Блок регулювання забезпечує зміну робочої довжини котушки на ΔL_k , пропорційну величині відхилення ΔQ_m , тобто

$$\pm \Delta Q_m = \mp b_m \cdot \Delta L_k \quad (12)$$

Аналіз показує, що в розглянутій системі (рис.4) можливо удосконалити закон керування. Якщо бункер сівалки кожного разу завантажувати насінням однаково, то в

кожному випадку проходження шляху S_B буде повторюватись характер зміни щільності зернового потоку (рис.1) Це дозволяє організувати процес самонавчання. При цьому в процесі кожної зміни робочої довжини котушки $\pm \Delta L_k$ в кінці попереднього інтервалу регулювання можна враховувати крутизну зміни щільності в наступному інтервалі на підставі значень критичної щільності, зафіксованої в пам'яті бортового комп'ютера за результатами реєстрації даних на попередньому відрізьку шляху S_B . На підставі цього створено закон регулювання з упередженням, який можна подати залежностями

$$Q_{MPY}(S_{j,i}) = \begin{cases} Q_{MF}(S_{j,i}), & \text{якщо } |Q_{M3} - Q_{MF}(S_{j,i})| < \Delta Q_{Mn} \\ Q_{MF}(S_{j,n}) \mp \Delta Q_{Mn} \mp Q_{M3} \cdot N \cdot \operatorname{tg}_{j+1} \alpha, & \text{якщо } |Q_{M3} - Q_{MF}(S_{j,n})| \geq \Delta Q_{Mn} \end{cases}, \quad (13)$$

де $\operatorname{tg} \alpha$ - тангенс кута нахилу кривої щільності в довільних точках шляху S_B при висіванні різних фракцій насіння;

N - коефіцієнт пропорційності, який використовується при визначенні регульованої величини відхилення з упередженням $\mp \Delta Q_{MPY} = \mp Q_{M3} \cdot N \cdot \operatorname{tg}_{j+1} \alpha$ і визначається за умови $\Delta Q_{MPY} = 0,005 \cdot Q_{M3}$ при максимальній кривизні $\operatorname{tga}(S)_{\max}$ кривої щільності $Q_{MF}(\mu, S)$.

Значення діапазонів варіювання тангенса кута нахилу кривої зміни щільності потоку зерен в довільних точках шляху S_B при висіванні різних фракцій насіння та коефіцієнтів пропорційності N подані в табл.3. З даних табл.3 видно, що поправки, які вносяться при реалізації даного закону керування, суттєво відрізняються як вздовж шляху S_N , так і в межах окремої фракції посівного матеріалу. Крива перехідного процесу для даного закону керування приведена на рис.3, б – крива 2. Функціонал оцінки якості сівби, визначений для даного закону регулювання, при $Q_{M3} = 45 \text{ ум/м}$ та $\Delta Q_{Mn} = 0,45 \text{ ум/м}$ дорівнює $J[Q_{MPY}(S)] = 0,416\%$, що вказує на підвищення якості регулювання.

Таблиця 3 - Діапазони зміни тангенса кута нахилу кривої зміни щільності потоку зерен на шляху S_B і значення коефіцієнта пропорційності N для посівного матеріалу різних фракцій

Маса 1000шт. насіння (тип фракції)А, г/тис.шт.	25	30	35	40	45
$\operatorname{tga}(S)$	$5 \cdot 10^{-4} \div 0$	$6 \cdot 10^{-4} \div 0$	$1 \cdot 10^{-3} \div 0$	$1,3 \cdot 10^{-3} \div 0$	$1,5 \cdot 10^{-3} \div 0$
N	13	10	6	5	4

Враховуючи позитивний вплив регулювання з упередженням на якісні показники та фактор технічного обмеження зміни робочої довжини котушки ($|\Delta L_k| \geq 0,1 \text{ мм}$, $|\Delta Q_{Mn}| \cdot 100\% / Q_{M3} \geq \delta_{\min}, \%$), можна запропонувати закон автоматичного регулювання у вигляді залежностей

$$Q_{MPO}(S_{j,i}) = \begin{cases} Q_{MF}(S_{j,i}), & \text{якщо } |Q_{MF}(S_{j,i}) - Q_{M3}| < \Delta Q_{MO}(S_{j,1}), \quad \Delta Q_{MO} = \frac{\Delta Q_{Mn}}{2} \\ Q_{MF}(S_{j,n}) - [\pm (\Delta Q_{Mn}(S_{j,n}) + \Delta Q_{MO}(S_{j,1}))], & \text{якщо } |Q_{MF}(S_{j,n}) - Q_{M3}| \geq \Delta Q_{MO}(S_{j,1}) \end{cases}. \quad (14)$$

Цей закон дозволяє встановити поріг регулювання на рівні $\Delta Q_{MO} = \Delta Q_{Mn} / 2$ і

звести величину відхилення за упередженням до мінімально допустимої зміни робочої довжини котушки. Перехідний процес зміни щільності зернового потоку фракції $A = 40 \text{ г/мис.шт.}$ відповідно даному закону керування подано на рис.3, в – графік 2. При цьому функціонал оцінки якості сівби, визначений при $Q_{мз} = 45 \text{ шт/м}$ і $\Delta Q_{мз} = 0,45 \text{ шт/м}$, дорівнює $J[Q_{мз}(S)] = 0,25\%$, що є найбільш оптимальним з розглянутих законів. Реалізувати останні два закони за допомогою системи (рис.4) не можливо, оскільки вона повинна оперативно реагувати на вплив зовнішніх факторів. Для цього її необхідно оснастити блоком адаптації. Блок адаптації повинен на підставі розширених вхідних даних $Q_{мз}, i, A, \gamma, C_1$ визначати коефіцієнт пропорційності b_m і відповідний для даної фракції посівного матеріалу поріг регулювання $\Delta Q_{мз}$, пропорційний встановленому кроку переміщення ΔL_k .

Отже, традиційний підхід керування процесом висіву зернових культур практично не відповідає агротехнічним вимогам. Забезпечити якісний висів зернових можливо лише застосуванням адаптивного керування, найкращі результати якого будуть досягнені реалізацією запропонованого найбільш ефективного закону. Для цього систему автоматичного керування необхідно оснастити блоком адаптації, на який покладається визначення змінних коефіцієнта b_m і порогу регулювання $\Delta Q_{мз}$.

На підставі проведених досліджень відкривається перспектива розробки адаптивної системи автоматичного керування висівом зернових культур, яка забезпечить економію вартісного посівного матеріалу та підвищення врожайності з майбутнім покращенням стану України серед провідних експортерів зерна.

Список літератури

1. Серед провідних експортерів зерна // Урядовий кур'єр. – 2011. - №26(4424). – С.2.
2. Пархоменко М.Д. Дослідження динаміки розподілу зернового потоку в площині реєстрації датчика / М.Д. Пархоменко, Ю.М. Пархоменко, І.М. Горевий // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний зб. – 2004. – Вип.34. – С. 152-158.
3. Сисолін П. В. Теорія проектування та розрахунки посівних машин: [навч. посібник] / Сисолін П.В.- К.: ІСДО, 1994. – 148 с.
4. Випробування сільськогосподарської техніки. – К: Мінагрополітики України, 2006. – 86 с.

Ю. Пархоменко

Теоретическое обоснование адаптивной системы автоматического управления высевом зерновых культур

В данной статье приведены результаты теоретического обоснования адаптивной системы автоматического управления высевом зерновых культур. Показано, что регулируемой величиной является плотность зернового потока, которая линейно зависит от рабочей длины катушки высевашевого аппарата. Плотность зернового потока, в соответствии с агротехническими требованиями, может быть обеспечена только при адаптивном управлении с реализацией предложенного наиболее эффективного закона.

U. Parhomenko

Theoretical control of adaptive system of automatic regulation by seeding of cereal crops

The results of theoretical ground of the adaptive system of automatic control sowing of grain-crops are resulted in this article. It is retined that managed a size there is a closeness grain-growing flow, which arcwise depends on working length of seed-wheel. The closeness of corn stream, in accordance with agrotechnical requirements, can be well-to-do only at adaptive control with realization of the offered most effective law.

Одержано 23.03.11