

Ю.М. Пархоменко, канд. техн. наук, В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, М.Д. Пархоменко, доц.

Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження факторів впливу на сталість норми висіву зернових культур у польових умовах*

У статті приведені результати теоретичного дослідження факторів впливу на сталість норми висіву зернових культур у польових умовах. Визначено найбільш суттєвий регулярний фактор впливу – коефіцієнт заповнення жолобків катушкового висівного апарата і показано характер зміни щільності розподілу зернового потоку в результаті його дії. Намічено шляхи забезпечення сталої норми висіву.

висів, щільність розподілу зернового потоку, коефіцієнт заповнення жолобків, система автоматичного керування

Зернове господарство України є стратегічною і найбільш ефективною галуззю народного господарства. Природно-кліматичні умови та родючі землі України сприяють вирощуванню всіх зернових культур. Разом з тим, подальший розвиток галузі вимагає ґрунтового перегляду цілого ряду положень. До 2015 року посівні площі зернових культур мають становити близько 16 млн. га, а середня урожайність - досягти 43...45 ц/га [1]. Середня урожайність зернових культур в Україні нижча зазначеного рівня. Тому не здійснюється передбачений законодавством України напрямок реалізації ресурсозберігаючих технологій в енергетиці, промисловості та аграрному комплексі. Оскільки стаття спрямована на реалізацію даного напрямку, її тема є актуальною. Тематика публікації 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”. Стаття містить матеріали, що являють собою частину результатів наукових досліджень, отриманих у 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.

Однією з причин порівняно низької урожайності зернових культур є невідтримання сівалками сталої норми висіву. Удосконаленням зернових сівалок у різні роки займалися А. Н. Семенов, Л. В. Погорілий, П. В. Сисолін, В. Ю. Комарістов, С. В. Кардашевський, В. В. Логін, М. Г. Кінкер, Л. В. Аніскевич, М. Д. Пархоменко та багато інших, однак комплексного дослідження факторів впливу на сталість норми висіву зернових культур у польових умовах ніхто не здійснював.

Метою даної роботи є комплексне дослідження факторів впливу на сталість норми висіву зернових культур у польових умовах.

При традиційній технології землеробства на сівалках з катушковими висівними апаратами задана для даного поля норма висіву Q (кг/га) встановлюється один раз перед початком сівби шляхом регулювання та фіксації відповідних значень

* За матеріалами доповіді Міжнародної науково-практичної конференції «Автоматика та енергозберігаючі технології», 17-19 жовтня

ланцюгова передача, проковзування опорно-приводного колеса, фракція посівного матеріалу, тряска, вібрації, запиленість, коефіцієнт заповнення жолобків котушкового висівного апарата посівним матеріалом та інше. Вплив цих факторів проявляється по різному. Нестабільність ланцюгової передачі повторюється з кожним обертом опорно-привідного колеса, тому компенсувати дію цього циклічного впливу зміною норми висіву не можливо. Проковзування опорно-приводного колеса є випадковим фактором, залежним від рельєфу поверхні та її стану, зворотної дії навантаження дозуючих апаратів тощо. Дія цього фактора може бути короткою за часом або тривалою. В останньому випадку її можна частково компенсувати регулюванням. Найбільш суттєвим фактором, який діє на протязі усього терміну сівби є коефіцієнт заповнення жолобків μ посівним матеріалом, залежний від зовнішніх факторів $\mu = f(\gamma, A, \phi, V_{36}, S)$, де: V_{36} - поточний об'єм зерна в бункері; γ, A - показники типу фракції; ϕ - запиленість жолобків; S - довжина пройденого сівалкою шляху. Враховуючи те, що значення коефіцієнтів заповнення жолобків насінням для пшениці різних фракцій (γ, A), визначені емпіричним шляхом, знаходяться в межах $\mu \in 0,65 \text{K} 0,82$ [2], можна допустити, що для кожної фракції посівного матеріалу амплітуда коливань коефіцієнта заповнення жолобків $\Delta\mu$ під впливом усіх означених факторів не буде перевищувати величини $\Delta\mu = \mu_0 - \mu_{\min/\max} = \pm 0,05$ його оптимального значення μ_0 . Проаналізуємо характер формування представленої в загальному вигляді залежності $\mu = f(\gamma, A, \phi, V_{36}, S)$.

В результаті тряски та вібрації сівалки, незважаючи на ретельний відбір кожної фракції посівного матеріалу, має місце його сегрегація по висоті та горизонталі усередині бункера в залежності від розміру та щільності зерна. При цьому менші за розміром зернини, які мають однакову щільність, і більш важкі однорозмірні зернини переміщуються в нижні шари, легші та більші за розміром зернини розміщуються у верхніх шарах. Швидкість розшарування підвищується при збільшенні розміру фракції та різниці у щільності зернин, а також при збільшенні інтенсивності вібрацій та зменшенні товщини зернового шару. При наявності такого розшарування коефіцієнт заповнення жолобків буде безперервно змінюватися. На значення даного параметра впливає і об'єм зерна в бункері V_{36} . При заповненні бункера, близькому до 100%, посівний матеріал ущільнюється, що зменшує його подачу в зону дії дозуючих апаратів. Зменшення подачі посівного матеріалу спостерігається і при заповненні бункера менше 15% його номінального об'єму. Тобто, на початку сівби з практично заповненого бункера $V_{36} \in (85 \text{K} 100)\% \cdot V_0$, де V_0 - об'єм бункера, та в кінці висіву залишкового обсягу зерна в бункері $V_{36} \in (15 \text{K} 0)\% \cdot V_0$, коефіцієнт заповнення жолобків наближається до мінімального значення, а в процесі висіву основної маси зерна – коливається в межах, близьких до свого оптимального значення. При цьому характер зміни коефіцієнта заповнення жолобків під дією рівня зерна в бункері $\mu(V_{36})$ за термін його висіву та сегрегації можна визначити співвідношенням.

$$\mu_{36}(S) = \mu_{\min} + \Delta\mu_{36} \cdot \left[1 - (S - S_0)^2 / S_0^2 \right], \quad (1)$$

де S, S_0 відповідно поточне значення та половина пройденого сівалкою шляху за термін розвантаження бункера;

$\mu_{\min}, \Delta\mu_{36}$; - відповідно мінімальне значення коефіцієнта заповнення жолобків конкретним типом фракції та межа відхилення, що дорівнює 0,04.

В результаті тривалої роботи дозуючі апарати забиваються пилом, що також впливає на коефіцієнт заповнення жолобків посівним матеріалом. Для того, щоб врахувати дію вказаного фактора, відомчими стандартами передбачено проведення випробувань при 100, 50 та 12,5 відсотках заповнення бункера зерном $V_{36}\%$, а також

проведення повторних випробувань через 1 та 3 години безперервної роботи висівного апарата [3, 4, 5]. Прийmemo, що запилення жолобків за весь термін сівби не перевищує $\phi \leq 3\%$ від їх об'єму, а відхилення коефіцієнта заповнення жолобків за рахунок запилення $\Delta\mu_{зан}$ не перевищує $\Delta\mu_{зан} \leq 0,01$ при допустимому загальному відхиленні $\Delta\mu = \Delta\mu_{зб} + \Delta\mu_{зан} = 0.04 + 0.01$. Визначена емпіричним шляхом залежність μ від запиленості ϕ описується виразом

$$\mu_{зан}(S) = \mu_o \cdot e^{-0,005 \cdot \phi(S)}, \quad (2)$$

де $\phi(S) = \phi_{max} \cdot (1 - e^{-0,4 \cdot S})$; $\phi_{max} = 3$.

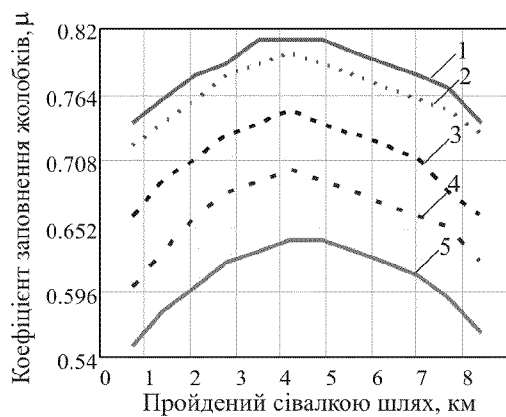
Враховуючи отримані залежності (1) і (2), загальний вираз для визначення коефіцієнта заповнення жолобків можна представити співвідношенням

$$\mu(S) = \mu_{зан}(S) + \mu_{зб}(S) - \mu_o. \quad (3)$$

Графіки зміни значень коефіцієнта заповнення жолобків при висіванні різних фракцій насіння пшениці ($A = 25; 30; 35; 40; 45 \text{ г/тис.шт}$) за період повного розвантаження бункера представлені на рис. 1, а при висіванні 1-го та 2-го наповнених бункерів – на рис. 2.

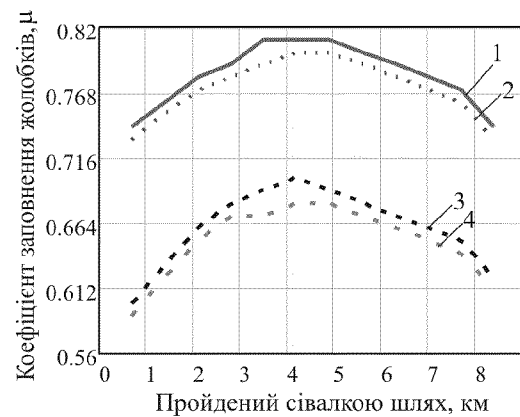
З графіків рис. 1 видно, що закономірність зміни значень коефіцієнта заповнення жолобків за період розвантаження заповненого бункера при висіванні різних фракцій посівного матеріалу практично однакова, але крутизна кривих тим більша, чим крупніша фракція. З часом значення коефіцієнта заповнення жолобків для кожної фракції зменшується внаслідок їх запиленості (рис. 2).

Для того, щоб проаналізувати характер впливу коефіцієнта заповнення жолобків $\mu(s)$ на щільність розподілу зернового потоку вздовж рядка висіву $Q_m(S)$, визначимо спершу довжину пройденого сівалкою шляху до повного розвантаження бункера S_B та



1 - $A = 25 \text{ г/тис.шт}$.; 2 - $A = 30 \text{ г/тис.шт}$.;
3 - $A = 35 \text{ г/тис.шт}$.; 4 - $A = 40 \text{ г/тис.шт}$.;
5 - $A = 45 \text{ г/тис.шт}$.

Рисунок 1 - Залежність μ від типу фракції та пройденого шляху (1-й бункер)



1 - 1-й бункер, $A = 25 \text{ г/тис.шт}$.;
2 - 2-й бункер, $A = 25 \text{ г/тис.шт}$.;
3 - 1-й бункер, $A = 40 \text{ г/тис.шт}$.;
4 - 2-й бункер, $A = 40 \text{ г/тис.шт}$.

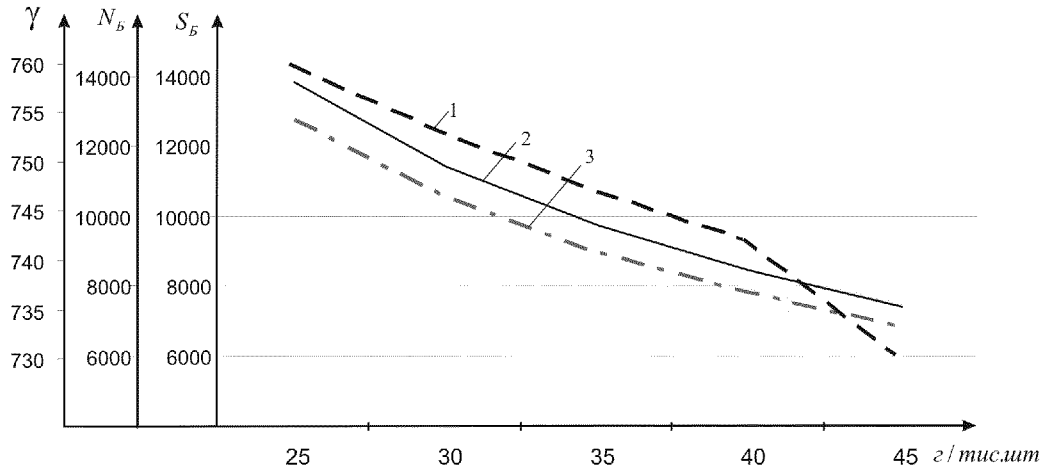
Рисунок 2 - Залежність μ від типу фракції та пройденого шляху

параметри налагодження сівалки на задану норму висіву при висіванні різних фракцій насіння пшениці на прикладі сівалки СЗ-3,6А. Дані для розрахунку: задана норма висіву $Q_{мз} = 45 \text{ шт/м}$, що відповідає ваговим нормам висіву $Q_{м1} = 75 \text{ кг/га}$ при $A = 25 \text{ г/тис.шт}$ та $Q_{м1} = 135 \text{ кг/га}$ при $A = 45 \text{ г/тис.шт}$; ємкість бункера $V_B = 453 \text{ дм}^3$; число сошників $z = 24$; характеристика посівного матеріалу – пшениця масою $A = 25 \text{ К } 45 \text{ г/тис.шт}$, густиною $\gamma = 730 \text{ К } 760 \text{ г/дм}^3$ та коефіцієнтом заповнення

жолобків $\mu = 0,65$ К 0,82.

Кількість зернин в бункері N_B (*шт*) визначаємо за співвідношенням $N_B = V_B \cdot \gamma / A$, а пройдений сівалкою шлях до повного розвантаження бункера - за виразом $S_B = N_B / Q_{мз} \cdot z$ (м). Результати розрахунків представимо у вигляді графіків (рис.3).

З графіків рис. 3 видно, що при зростанні крупності зерен A (*г/тис.шт*),

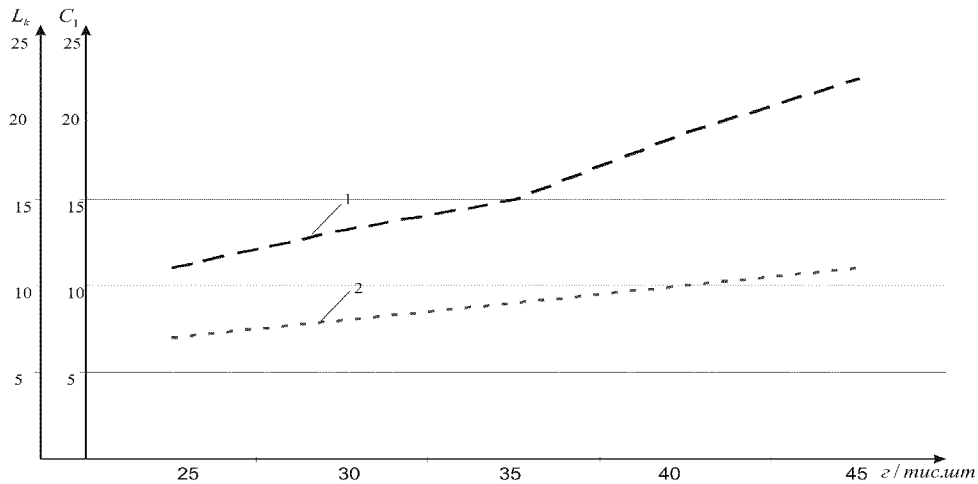


1 – густина матеріалу γ , *г/дм³*; 2– кількість зернин в бункері N_B , *тис.шт.* ;
3 – пройдений шлях S_B , *м*.

Рисунок 3 – Взаємозв'язок між густиною матеріалу, кількістю зернин у бункері та пройденим шляхом від фракції пшениці при повному розвантаженні бункера

зменшенні кількості зерен N_B (*шт*) у заповненому бункері і зменшенні густини матеріалу γ (*г/дм³*) пройдений сівалкою шлях S_B (*м*) суттєво скорочується. Це скорочення відбувається майже у два рази. За цих умов для забезпечення заданої норми висіву необхідно збільшувати відстань до денця C_1 (*мм*) та робочу довжину котушки L_k (*мм*). Налагодження висівних апаратів можна здійснити за допомогою графіків, зображених на рис. 4.

На підставі емпірично визначених значень коефіцієнта заповнення жолобків $\mu(S)$ (3) та параметрів налагодження сівалки на задану норму висіву $Q_{мз} = 45$ *шт/м* (рис. 4) розрахуємо значення щільності розподілу зернового потоку $Q_m(S_j)$ у вузлах інтерполяції S_j для різних фракцій посівного матеріалу за формулою [6]



1 - робоча довжина котушки L_k , мм; 2- відстань до дняця котушки C_1 , мм.

Рисунок 4 – Залежність параметрів налагодження сівалки на задану норму висіву від фракції пшениці

$$Q_M = \frac{L_k \cdot i \cdot \gamma \cdot 10^{-3}}{D_k \cdot A} \cdot \left[\frac{S_T \cdot \mu}{\omega_k} + \frac{d_k \cdot (1 - e^{-b_0 \cdot C_1})}{b_0} \right], \quad (4)$$

де T_j - період розвантаження k -го жолобка; S_T - середня за період T_j площа розвантаження сектора k -го жолобка; ω_k - кутова швидкість обертання котушки.

Поточні значення щільності $Q_M(S)$ в довільних точках пройденого сівалкою шляху S до повного розвантаження бункера визначимо за інтерполяційним поліномом Ньютона [7]

$$Q_M(S) = Q_M(S_0) + \sum_{j=1}^n \left[\frac{\Delta^j Q_0}{j!} \cdot \prod_{i=0}^{j-1} \left(\frac{S - S_i}{h} \right) \right], \quad (5)$$

де $i = 0, 1, \dots, j-1$ - індекс координати пройденого сівалкою шляху;

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

$Q_M(S_0), Q_M(S_j)$ - значення щільності в 0-му та 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.

Розрахункові значення щільності розподілу зернового потоку $Q_M(\mu, S)$ у рівновіддалених точках пройденого сівалкою шляху S при висіванні різних фракцій насіння пшениці за першим та другим наповненням бункера, визначені за формулами (4), (5) при заданих параметрах, представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення щільності розподілу зернового потоку при висіванні насіння пшениці на шляху S_B за першим (1) та другим (2) наповненням бункера

Фракція пшениці: $A = 25$ з/тис.шт, $\gamma = 760$ з/дм ³												
Q_{25-1} , шт/м	45.01	45.52	46.03	46.28	46.8	46.8	46.8	46.54	46.28	46.03	45.77	45.01
Q_{25-2} , шт/м	44,75	45,26	45,77	46,03	46,29	46,54	46,54	46,29	46,03	45,77	45,52	44,75
S_{25} , м	0	1160	2320	3480	4640	5800	6960	8120	9280	10440	11600	12760

Продовження таблиці 1

Фракція пшениці: $A = 35 \text{ г/тис.шт.}$, $\gamma = 747 \text{ г/дм}^3$												
Q_{35-1} , шт/м	45	45.78	46.3	46.81	47.07	47.33	47.07	46.81	46.55	46.3	45.52	45
Q_{35-2} , шт/м	44.74	45.52	46.03	46.3	46.55	46.81	46.81	46.55	46.3	46.03	45.26	44.74
S_{35} , м	0	814	1628	2442	3256	4070	4884	5698	6512	7326	8140	8954
Фракція пшениці: $A = 45 \text{ г/тис.шт.}$, $\gamma = 730 \text{ г/дм}^3$												
Q_{45-1} , шт/м	45.05	45.86	46.4	46.95	47.22	47.49	47.76	47.49	47.22	46.95	46.4	45/32
Q_{45-2} , шт/м	44.78	45.59	46.13	46.68	46.95	47.22	47.49	47.22	46.95	46.68	46.13	45.32
S_{45} , м	0	619	1238	1857	2476	3095	3714	4333	4952	5571	6190	6809

Як видно з даних табл.1, довжина шляху S_B і зміна щільності зернового потоку $Q_{mf}(\mu, S)$ при висіванні різних фракцій пшениці мають суттєві відмінності. По мірі розвантаження бункера та збільшенні величини пройденого сівалкою шляху щільність розподілу зернового потоку змінюється пропорційно крутизни зміни коефіцієнта заповнення жолобків (рис.1). Наприклад, для фракції $A = 45 \text{ г/тис.шт}$ при зменшенні коефіцієнта заповнення жолобків на 0,05 ($\mu = 0,6$) щільність зернового потоку зменшується на 3,2%, а при зменшенні на 0,1 ($\mu = 0,55$) щільність знижується на 5,7%.

При висіванні насіння однієї і тієї ж фракції щільність Q_{25-1} , шт/м з кожним повторним проходженням шляху S_B (при повторному заповненні бункера Q_{25-2} , шт/м) під впливом запиленості змінюється, але характер її зміни залишається практично тим же самим. З розглянутого видно, що в процесі сіви в результаті дії зовнішніх факторів щільність розподілу зернового потоку змінюється в значних межах.

Оцінку відносного відхилення значень фактичної щільності зернового потоку Q_{mf} від заданої $Q_{ms} = 45 \text{ шт/м}$ можна здійснити шляхом аналізу даних (табл.2) визначених за формулою

$$\delta = (Q_{mf}(\mu, S) - Q_{ms}) \cdot 100\% / Q_{ms}. \quad (6)$$

Таблиця 2- Відносне відхилення фактичного значення щільності розподілу зернового потоку від заданого за першим (1) та другим (2) проходженням шляху S_B

Фракція пшениці: $A = 25 \text{ г/тис.шт.}$, $\gamma = 760 \text{ г/дм}^3$												
δ_{25-1} , %	0,02	1,16	2,29	2,58	4	4	4	3,42	2,84	2,29	1,71	0.02
δ_{25-2} , %	-0.56	0.58	1.71	2.29	2.87	3.42	3.42	2.87	2.29	1.71	1.16	-0.56
S_{25} , м	0	1160	2320	3480	4640	5800	6960	8120	9280	10440	11600	12760
Фракція пшениці: $A = 35 \text{ г/тис.шт.}$, $\gamma = 747 \text{ г/дм}^3$												
δ_{35-1} , %	0	1,73	2,89	4,02	4,6	5,18	4,6	4,02	3,44	2,89	1,16	0
δ_{35-2} , %	-0.58	1.16	2.29	2.89	3.44	4.02	4.02	3.44	2.89	2.29	0.58	-0.58
S_{35} , м	0	814	1628	2442	3256	4070	4884	5698	6512	7326	8140	8954
Фракція пшениці: $A = 45 \text{ г/тис.шт.}$, $\gamma = 730 \text{ г/дм}^3$												
δ_{45-1} , %	0,11	1,91	3,11	4,33	4,93	5,53	6,13	5,53	4,93	4,33	3,11	0,71
δ_{45-2} , %	-0.49	1.31	2.51	3.73	4.33	4.93	5.53	4.93	4.33	3.73	2.51	0.71
S_{45} , м	0	619	1238	1857	2476	3095	3714	4333	4952	5571	6190	6809

Аналіз даних табл. 2 показує, що величина відносного відхилення фактичної щільності $Q_{mf}(\mu, S)$ від заданої $Q_{ms} = 45 \text{ шт/м}$ за першим проходженням шляху S_B для більш крупних фракцій насіння досягає в точці максимуму 6,13%, а для більш дрібних фракцій 4...5,18% при допустимій за агрономічними нормами відхиленні 2...3%. Тобто, при

налагоджуванні сівалки на задану норму висіву $Q_{мз}$ з наповненим бункером майже половина шляху S_B буде мати щільність посіву на 3% більшу допустимої, що призводить до перевитрати 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. При ємкості бункера сівалки СЗ-3,6 453дм^3 та нормі висіву насіння пшениці (фракція $A = 40 \text{ г/тис.шт}$) 110К 120кг/га з однієї заправки можна засіяти близько 3га поля (8км гону при ширині захвату 3,6м). Якщо врахувати вплив означених вище факторів, то можна прийти до висновку, що близько 1/3 частини поля буде засіяно зі значним відхиленням від допустимих агротехнічних вимог.

В результаті проведеного дослідження встановлено, що на роботу висівних апаратів зернової сівалки в польових умовах діють зовнішні фактори, які впливають на зміну норми висіву. За конкретних умов (відсутності тряски, вібрації, запиленості тощо) сівалка, яка представляє собою систему з розімкнутим циклом керування, забезпечує стабільну норму висіву і рівномірний розподіл зернин вздовж рядка. Найбільш вагомим регулярним фактором впливу на зміну фактичної норми висіву в польових умовах є коефіцієнт заповнення жолобків катушки, залежний від наявного обсягу зерна в бункері, типу фракції посівного матеріалу, запиленості жолобків та довжини пройденого сівалкою шляху. Сівалка самостійно не може виправити таке положення і допускає значні відхилення в нормі висіву, що приводить до втрати валового збору зернових культур і великих економічних збитків.

Для подолання цього недоліку необхідно покращити якість керування технологічним процесом шляхом встановлення на зернові сівалки системи автоматичного керування висівом, яка повинна оперативнo реагувати як на фракцію посівного матеріалу, так і на характер зміни щільності розподілу зернового потоку в довільних точках шляху і забезпечувати сталість норми висіву в допустимих агровимогами межах [8].

Приведені дослідження відкривають перспективу створення засобів контролю зернового потоку та управління ним у конкретних технологічних умовах.

Список літератури

1. Програма "Зерно України – 2015". — К.: ДІА, 2011. — 48 с.
2. Сисолін П. В. Теорія проектування та розрахунки посівних машин: Навч. Посібник / П.В. Сисолін. - К.: ІСДО, 1994. – 148 с.
3. Испытание сельскохозяйственной техники. Машины посевные. Программа и методы испытаний. ОСТ 70.5.1-82. – М.: ЦНИИТЭИ Госкомсельхозтехники СССР, 1983. – 148с.
4. Машини посівні. Випробування сільськогосподарської техніки. Методи випробувань: СОУ 74.3-37-129: 2004. - [Чинний від 2006-08-01]. – К.: Мінагрополітики України, 2006. – 86 с. – (Стандарт Мінагрополітики України).
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): изд. 5-е / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351с.
6. Пархоменко Ю. М. Теоретичне обґрунтування адаптивної системи автоматичного керування висівом зернових культур / Ю.М. Пархоменко. // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2011. - №24. – С. 223-232.
7. Джон Г. Мэтьюз. Численные методы. Использование MATLAB: 3-е издание / Джон Г. Мэтьюз, Куртис Д. Финк; пер. с англ. Л. Ф. Козаченко. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. - 720с.
8. Агротехнические требования на сельскохозяйственные машины: сб. Госкомсельхозтехники СССР. – М.: ЦНИИТЭИ, 1983. - Т. 32. – 342с.

Ю. Пархоменко, В. Кондратец, М. Пархоменко

Исследование факторов влияния на постоянство нормы высева зерновых культур в полевых условиях

В статье приведены результаты теоретического исследования факторов влияния на постоянство нормы высева зерновых культур в полевых условиях. Определён наиболее существенный регулярный фактор влияния – коэффициент заполнения желобков катушечного высевающего аппарата и показан

характер изменения плотности распределения зернового потока в результате его действия. Намечены пути обеспечения постоянства нормы высева.

Y. Parhomenko, V.Kondratec, M. Parhomenko

Investigation of the factors influencing the stable rate of sowing of crops in the field

The results of theoretical investigations of influence factors of the constant application rate of crops in the field. Determine the most significant regular impact factor - the filling factor of the coil grooves sowing and shows the character of changes in the density distribution of the grain flow as a result of the above factors. The ways of ensuring constant application rate.

Одержано 24.10.12