



Механізація, електрифікація

УДК 631.37

© 2017

В.В. Адамчук,

*академік НААН,
доктор технічних наук*

*Національний
науковий центр
«Інститут механізації
та електрифікації
сільського господарства»*

В.М. Булгаков,

*академік НААН,
доктор технічних наук*

*Національний
університет біоресурсів
і природокористування
України*

В.П. Кувачов,

кандидат технічних наук

*Таврійський державний
агротехнологічний
університет*

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ШИРОКОКОЛІЙНОГО АГРОЗАСОБУ

Мета. Розроблення математичних залежностей, що дадуть змогу визначити допустимі межі поперечних зміщень робочих органів спеціалізованого ширококолісного агрозасобу і обґрунтувати величину захисної зони за умов відсутності пошкоджуваності рослин.

Методи. Використано основні положення теоретичної механіки, теорії імовірності, складання програм і розрахунків на ПК.

Результати. Розроблено нові математичні залежності, застосування яких дає можливість визначити допустимі межі поперечних зміщень робочих органів, які характеризуються середньоквадратичним відхиленням

з агротехнічних умов щодо пошкоджуваності рослин у рядку, що має значення при загальній оцінці показників роботи ширококолісних агрозасобів у колійній системі землеробства.

Висновки. За розташування культиваторних робочих органів для ширококолісного агрозасобу слід урахувувати фактор різниці їх зміщень. Для робочих органів, розміщених зовні відносно геометричної осі рядка і центра агрозасобу, величина захисної зони має бути більшою, ніж для внутрішніх, за умови рівномірного пошкодження рослин у рядку (приблизно на 3 см).

Ключові слова: колійна система землеробства, ширококолісний агрозасіб, пошкоджуваність рослин, розв'язання на ПК.

Актуальність питання. Пошкоджуваність рослин у рядку за обробітку просапних культур багато в чому залежить від величини поперечних зміщень робочих органів і величини захисної зони рядка. Не викликає сумніву

й те, що розміщення рослин у рядку також позначається на ступені їх пошкодження.

Поперечні зміщення робочих органів загалом залежать від стійкості руху сільськогосподарського агрегату, яка є результатом

впливу багатьох факторів: нерівномірності опору ґрунту, типу рушія і його моменту опору повороту, швидкості руху, діючих сил та ін.

Дослідження і вивчення стійкості руху спеціалізованих ширококоліїних агрозасобів, призначених для колійної та мостової систем землеробства [1–4], є предметом особливої уваги. Тому що їх курсове кутове відхилення призводить до істотних зміщень робочих органів, особливо крайніх, і залежно від величини захисної зони безпосередньо впливає на пошкоджуваність рослин у рядку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення стійкості руху спеціалізованих ширококоліїних агрозасобів є предметом спеціального дослідження, досить широко розглянутого в роботах [5–8]. Завдання полягає лише в установленні математичних залежностей, що дають змогу визначити кількісний вплив поперечних зміщень робочих органів і величини захисної зони на пошкоджуваність рослин у рядку за рахунок безпосереднього підірвання їх робочими органами.

Мета досліджень — розроблення математичних залежностей, що дають змогу визначити допустимі межі поперечних зміщень робочих органів спеціалізованого ширококоліїного агрозасобу й обґрунтувати величину захисної зони за умов відсутності пошкоджуваності рослин.

Методика досліджень. В основу теоретичних досліджень покладено основні положення теоретичної механіки, теорії імовірності, складання програм і розрахунків на ПК.

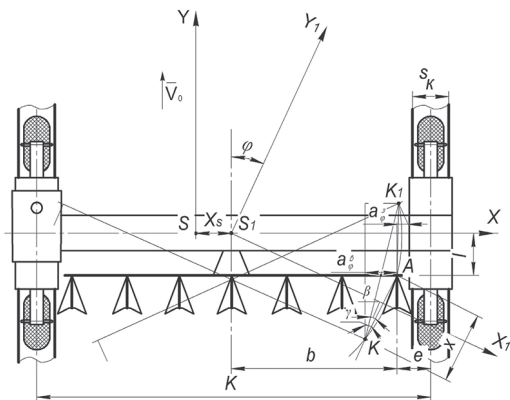


Рис. 1. Схема поперечних зміщень ширококоліїного агрозасобу і його робочих органів

Результати досліджень. Розглянемо основні фактори, що впливають на поперечне зміщення окремо взятого робочого органу ширококоліїного агрозасобу, який рухається по слідах постійної технологічної колії, з кінематичної позиції (рис. 1).

За рис. 1 неважко уявити, що загальне зміщення окремо взятого робочого органу складається зі зміщення X_s центра агрозасобу (т. S) від заданого напрямку руху і його зміщення за рахунок кутового відхилення.

Зміщення центра ширококоліїного агрозасобу відбувається в результаті одночасної дії багатьох незалежних змінних факторів [6–8], тому ймовірно погоджується з нормальним законом розподілу. Хоча цей факт і потребує експериментального підтвердження, але на цьому етапі досліджень зробимо таке припущення. Поперечні зміщення робочих органів за рахунок кутових поворотів агрозасобу залежать від величини останніх, які весь час змінюються, і параметрів, що характеризують їх розміщення. З теорії імовірності наявність у загальній сукупності незалежних змінних факторів, що діють на один із превалюючих процесів, може призвести до невідповідності закону нормального розподілу. Саме це має місце за поперечного зміщення робочого органу, де постійно діючим фактором на процес є параметр, який характеризує розміщення його в агрегаті.

Припустимо, що криві 1 і 2 (рис. 2) характеризують щільність розміщення імовірності зміщень окремо взятого робочого органу ширококоліїного агрозасобу від заданого напрямку руху $Y_t - Y_t$ і розташування рослин відносно осі рядка $Y_r - Y_r$. Відрізок Z є зоною можливого перебування робочого органу з деякою імовірністю $p(X_{z2})$ і розміщення рослин з імовірністю $p(X_{z1})$.

Тоді імовірність пошкодження рослин $p(D_z)$ у зоні Z може бути визначена на основі теореми множення імовірності [9]:

$$p(D_z) = p(X_{z1} \cdot X_{z2}) = p(X_{z1}) \cdot p(X_{z2}). \quad (1)$$

Якщо захисна зона C настільки велика, що криві 1 і 2 (див. рис. 2) не перетинаються, то зони Z немає і пошкодження рослин підірванням робочим органом не буде. З рис. 2 знаходимо значення меж для X_{z1} і X_{z2} зони Z:

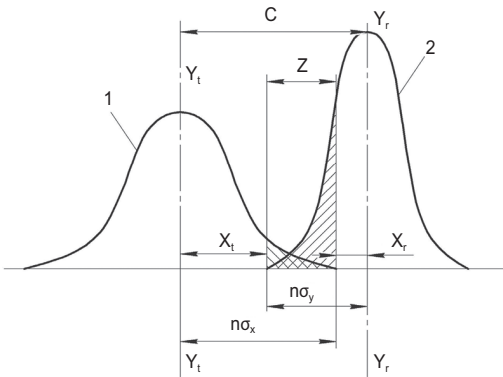


Рис. 2. Схема щільності ймовірності зміщень робочого органу від заданого напрямку руху 1 і розташування рослин відносно осі рядка 2

$$\begin{aligned} X_{1t} &= C - n\sigma_{Xr}; \\ X_{1r} &= C - n\sigma_{Xt}, \end{aligned} \quad (2)$$

де σ_{Xt} і σ_{Xr} — середньоквадратичні відхилення робочого органу і розміщення рослин; $n\sigma_{Xt}$ і $n\sigma_{Xr}$ — межі відхилень, в яких з достатньою точністю величина n може бути рівною 3; C — величина захисної зони.

Імовірність перебування робочого органу $p(X_{1z})$ у зоні Z у загальному вигляді може бути виражена через функцію розміщення $F(n\sigma_{Xt})$ і $F(X_{1t})$ і щільність імовірності [10]:

$$\begin{aligned} p(X_{1z}) &= p(X_{1t} < X_{1z} < n\sigma_{Xt}) = F(n\sigma_{Xt}) - \\ &- F(X_{1t}) = \int_{-\infty}^{n\sigma_{Xt}} f(X_t) dx - \int_{-\infty}^{X_{1t}} f(X_t) dx. \end{aligned} \quad (3)$$

Аналогічно представимо імовірність розміщення рослин $p(X_{2z})$ у цій самій зоні:

$$\begin{aligned} p(X_{2z}) &= p(-n\sigma_{Xr} < -X_{2z} < -X_{1r}) = F(-X_{1r}) - \\ &- F(-n\sigma_{Xr}) = \int_{-\infty}^{X_{1r}} f(X_r) dx - \int_{-\infty}^{-n\sigma_{Xr}} f(X_r) dx. \end{aligned} \quad (4)$$

Підставляючи вирази (3) і (4) в (1) та враховуючи вирази (2), отримуємо імовірність пошкодження рослин, виражене через щільність імовірності відхилень робочого органу і розміщення рослин:

$$\begin{aligned} p(D_z) &= \left[\int_{-\infty}^{n\sigma_{Xt}} f(X_t) dx - \int_{-\infty}^{C-n\sigma_{Xr}} f(X_t) dx \right] \times \\ &\times \left[\int_{-\infty}^{-(C-n\sigma_{Xt})} f(X_r) dx - \int_{-\infty}^{-n\sigma_{Xr}} f(X_r) dx \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

За нормального закону розміщення, скориставшись відомою залежністю нормованої щільності імовірності [10] і вводячи умовні позначення інтегральних функцій, рівняння (5) матиме вигляд:

$$\begin{aligned} p(D_z) &= \left[F(n)_{Xt} - F\left(\frac{C-n\sigma_{Xr}}{\sigma_{Xt}}\right) \right] \times \\ &\times \left[F(n)_{Xr} - F\left(\frac{C-n\sigma_{Xt}}{\sigma_{Xr}}\right) \right], \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{де } F(n)_{Xt} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{X_{1t}}{\sigma_{Xt}}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt_{Xt};$$

$$F(n)_{Xr} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{X_{1r}}{\sigma_{Xr}}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt_{Xr};$$

$$F\left(\frac{C-n\sigma_{Xr}}{\sigma_{Xt}}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{C-n\sigma_{Xr}}{\sigma_{Xt}}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt_{Xt};$$

$$F\left(\frac{C-n\sigma_{Xt}}{\sigma_{Xr}}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{C-n\sigma_{Xt}}{\sigma_{Xr}}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt_{Xr};$$

$$t_{Xt} = \frac{X_t}{\sigma_{Xt}}; dt_{Xt} = \frac{dX_t}{\sigma_{Xt}}; t_{Xr} = \frac{X_r}{\sigma_{Xr}}; dt_{Xr} = \frac{dX_r}{\sigma_{Xr}}.$$

Рівняння (6) справедливе для припущення, за яким розподіл зміщень робочих органів і розташування рослин у рядку добре узгоджуються з нормальним законом (законом Лапласа-Гаусса). Оскільки для традиційних машинно-тракторних агрегатів «зовнішнє» і «внутрішнє» зміщення одного і того самого робочого органу нерівні між собою за однакових кутових протилежно спрямованих відхилень трактора [11], то і для ширококоліїного агрозасобу імовірно слід очікувати такий самий результат. Останнє не може не позначитися на характері розподілу всієї сукупності поперечних зміщень робочого органу ширококоліїного агрозасобу.

За рис. 1 визначаємо, що кінематичне «внутрішнє» зміщення робочого органу (розглянемо точку А робочого органу) за рахунок кутового відхилення агрозасобу на кут φ , дорівнює:

$$a_{\varphi}^B = x \sin(\gamma + \beta) = \quad (7)$$

$$= x(\sin \gamma \cdot \cos \beta + \cos \gamma \cdot \sin \beta),$$

де $x=KA=AK_1$ — відхилення робочого органу; γ — кут, що залежить від конструктивних

параметрів агрозасобу (b, l); β — кут, що залежить від величини кутового відхилення агрозасобу φ .

Аналогічно для зовнішнього зміщення робочого органу:

$$a_{\varphi}^3 = x \cos(\gamma + \beta) = x(\cos \gamma \cdot \cos \beta - \sin \gamma \cdot \sin \beta). \quad (8)$$

Виразивши величини правої частини рівнянь (7) та (8) через конструктивні параметри b і l агрозасобу та курсовий кут φ , отримаємо такі залежності поперечних зміщень робочого органу:

$$a_{\varphi}^b = l \sin \varphi + b(1 - \cos \varphi); \quad (9)$$

$$a_{\varphi}^3 = l \sin \varphi - b(1 - \cos \varphi),$$

де b і l — відповідно відстань від поздовжньої і поперечної осей ширококоліїного агрозасобу, яка проходить через його центр до робочого органу.

Для крайнього робочого органу конструктивний параметр b в залежностях (9) пропорційний ширині колії ширококоліїного агрозасобу, який із рис. 2 можна представити в такому вигляді:

$$2b_{\kappa} = K - 2e. \quad (10)$$

де b_{κ} — відстань від поздовжньої осі ширококоліїного агрозасобу, яка проходить через його центр до крайнього робочого органу; K — величина колії ширококоліїного агрозасобу; e — технологічна зона.

Припустимо, що технологічну зону e за рис. 2 визначено шириною технологічної колії s_{κ} і величиною захисної зони C :

$$e = 0,5s_{\kappa} + C. \quad (11)$$

З урахуванням залежностей (10) і (11) рівняння (9) поперечних зміщень для крайнього робочого органу матимуть вигляд:

$$a_{\varphi}^b = l \sin \varphi + (0,5K - 0,5s_{\kappa} - C)(1 - \cos \varphi); \quad (12)$$

$$a_{\varphi}^3 = l \sin \varphi - (0,5K - 0,5s_{\kappa} - C)(1 - \cos \varphi).$$

За одержаними рівняннями (12), внутрішнє і зовнішнє зміщення робочих органів нерівні між собою ($a_{\varphi}^b \neq a_{\varphi}^3$) за одного і того самого кутового відхилення агрозасобу на величину φ . Величину кількісної зміни внутрішнього a_{φ}^b і зовнішнього a_{φ}^3 зміщень крайнього робочого органу залежно від кутового відхилення φ агрозасобу за різної величини його колії K можна спостерігати на рис. 3.

Різниця в зміщеннях крайніх робочих органів зростає зі збільшенням колії

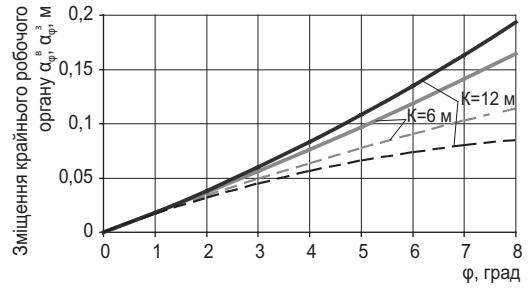


Рис. 3. Внутрішнє a_{φ}^b (—) і зовнішнє a_{φ}^3 (---) зміщення крайнього робочого органу залежно від кутового відхилення φ агрозасобу за різної величини його колії K

агрозасобу K і кута відхилення φ (рис. 3). За невеликих значень цих параметрів різниця зміщень є незначною. Тому для ширококоліїних агрозасобів слід урахувувати фактор різниці зміщень робочих органів (особливо крайніх), який позначається на асиметричності розподілу.

Отже, якщо одиничні зміщення робочого органу від заданого напрямку руху в протилежні сторони нерівні між собою, то і сукупності їх також не будуть рівними. У цьому неважко перекоонатися, якщо в правій частині рівнянь (9) замість одиничного значення кута φ підставити значення середньоквадратичного кутового відхилення агрозасобу. При цьому одержимо середньоквадратичне зміщення робочого органу, що відповідає середньоквадратичному кутовому відхиленню агрозасобу.

Застосування способу простої зміни одиничних (випадкових) значень величин на середньоквадратичні в межах малих значень кутів φ цілком допустиме, тому що зазначені рівняння за цієї умови є лінійною функцією і вдаватися до способу її лінеаризації немає потреби.

З урахуванням цього рівняння (12) матимуть вигляд:

$$\sigma_{a_{\varphi}^b} = l \sin \sigma_{\varphi} + b(1 - \cos \sigma_{\varphi}); \quad (13)$$

$$\sigma_{a_{\varphi}^3} = l \sin \sigma_{\varphi} - b(1 - \cos \sigma_{\varphi}),$$

де $\sigma_{a_{\varphi}^b}, \sigma_{a_{\varphi}^3}$ — середньоквадратичні відхилення внутрішнього і зовнішнього зміщень робочого органу через кутові відхилення агрозасобу; σ_{φ} — середньоквадратичне відхилення, яке характеризує сукупність усіх

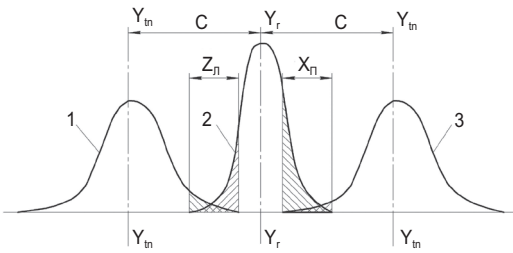


Рис. 4. Схема щільності асиметричного розподілу імовірності зміщень лівого (1) і правого (3) робочих органів по обидва боки рядка від заданого напрямку руху і розташування рослин (2)

кутових відхилень агрозасобу від заданого напрямку руху.

Оскільки зміщення робочого органу за рахунок кутів відхилень ширококоліїного агрозасобу є складовою частиною загальних зміщень, то останні також не рівні між собою за протилежних відхилень агрегату:

$$\sigma_{a_0} - \sigma_{a_3} = 2b(1 - \cos \varphi). \quad (14)$$

Розглянемо пошкоджуваність рослин з урахуванням показників асиметричності розподілу зміщень робочих органів.

Нехай криві 1 і 3 (рис. 4) характеризують щільність асиметричного розподілу імовірності поперечних зміщень робочих органів, розташованих по обидва боки рядка, а крива 2 — розміщення рослин. Очевидно, що ймовірність появи лівого робочого органу в зоні Z_n не дорівнює ймовірності появи правого робочого органу в зоні Z_n (площі заштрихованих ділянок зони Z_n і Z_n відрізків 1 і 3 нерівні), тобто

$$p(X_{lzn}) \neq p(X_{rzn}). \quad (15)$$

Аналогічно для розміщення рослин:

$$p(X_{rzn}) \neq p(X_{lzn}). \quad (16)$$

Імовірність пошкоджуваності рослин для лівого і правого робочих органів у загальному вигляді визначається:

$$p(D_{zn}) = p(X_{lzn} \cdot X_{rzn}) = p(X_{lzn}) \cdot p(X_{rzn}); \quad (17)$$

$$p(D_{zn}) = p(X_{lzn} \cdot X_{rzn}) = p(X_{lzn}) \cdot p(X_{rzn}).$$

Оскільки праві частини рівнянь (17) нерівні між собою, то $p(D_{zn}) \neq p(D_{zn})$. Дійшли висновку, що пошкоджуваність рослин унаслідок підрізання за однакової захисної зони C для лівого і правого робочих

органів неоднакова. Різниця в пошкоджуваності збільшується зі збільшенням асиметричності кривих розподілу зміщень робочих органів і рослин.

Для визначення імовірності пошкодження рослин у цьому разі доцільно використати закон розподілу, що враховує ексцес і асиметричність розподілу [10]. Функція щільності для заданого розподілу виражається з достатнім ступенем точності рівнянням [10]:

$$f_A(X) = f(X) - \frac{r_3}{6} f^{(2)}(X) + \frac{r_4 - 3}{24} f^{(3)}(X), \quad (18)$$

де $f(X)$ — нормальна функція щільності розподілу; $f^{(i)}(X)$ — похідні нормальної функції щільності розподілу; r_3, r_4 — основні моменти.

Тоді аналогічно рівнянню (6) імовірність пошкоджуваності рослин лівим і правим робочими органами відносно осі рядка визначиться:

$$P_A(D_{zn}) = \left\{ \begin{aligned} & \left[F(n)_{xt} - \frac{r_3}{6} f^{(2)}(n)_{xt} + \right. \\ & \left. + \frac{r_4 - 3}{24} f^{(3)}(n)_{xt} \right] - \\ & \left[F\left(\frac{C - n\sigma_{xr}}{\sigma_{xt}}\right) - \right. \\ & \left. - \frac{r_3}{6} f^{(2)}\left(\frac{C - n\sigma_{xr}}{\sigma_{xt}}\right) + \right. \\ & \left. + \frac{r_4 - 3}{24} f^{(3)}\left(\frac{C - n\sigma_{xr}}{\sigma_{xt}}\right) \right] \right\} \times \\ & \left\{ \begin{aligned} & \left[F\left(-\frac{C - n\sigma_{xt}}{\sigma_{xr}}\right) - \right. \\ & \left. - \frac{r_3}{6} f^{(2)}\left(-\frac{C - n\sigma_{xt}}{\sigma_{xr}}\right) + \right. \\ & \left. + \frac{r_4 - 3}{24} f^{(3)}\left(-\frac{C - n\sigma_{xt}}{\sigma_{xr}}\right) \right] - \\ & \left[F(-n)_{xt} - \frac{r_3}{6} f^{(2)}(-n)_{xt} + \right. \\ & \left. + \frac{r_4 - 3}{24} f^{(3)}(-n)_{xt} \right] \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

$$p_A(D_{zn}) = \left\{ \begin{aligned} & \left[F \left(-\frac{C - n\sigma_{Xr}}{\sigma_{Xt}} \right) - \right. \\ & \left. - \frac{r_3}{6} f^{(2)} \left(-\frac{C - n\sigma_{Xr}}{\sigma_{Xt}} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{r_4 - 3}{24} f^{(3)} \left(-\frac{C - n\sigma_{Xr}}{\sigma_{Xt}} \right) \right] \times \\ & - \left[F(-n)_{Xt} - \frac{r_3}{6} f^{(2)}(-n)_{Xt} + \right. \\ & \left. + \frac{r_4 - 3}{24} f^{(3)}(-n)_{Xt} \right] \end{aligned} \right\} \times \left\{ \begin{aligned} & \left[F(n)_{Xt} - \frac{r_3}{6} f^{(2)}(n)_{Xt} + \right. \\ & \left. + \frac{r_4 - 3}{24} f^{(3)}(n)_{Xt} - \right. \\ & \left. - \left[F \left(\frac{C - n\sigma_{Xt}}{\sigma_{Xr}} \right) - \right. \right. \\ & \left. \left. - \frac{r_3}{6} f^{(2)} \left(\frac{C - n\sigma_{Xt}}{\sigma_{Xr}} \right) + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{r_4 - 3}{24} f^{(3)} \left(\frac{C - n\sigma_{Xt}}{\sigma_{Xr}} \right) \right] \right\} \quad (20)$$

Для дослідження ймовірності пошкодження рослин від величини захисної зони рядка припустимо, що середньоквадратичні відхилення зміщень робочих органів агрозасобу і розміщення рослин відносно осі рядка приблизно рівні між собою $\sigma_{Xt} = \sigma_{Xr}$. Таке припущення цілком можливе, якщо за бажаними конструктивно-технологічними та іншими параметрами ширококоліїного агрозасобу та його високого

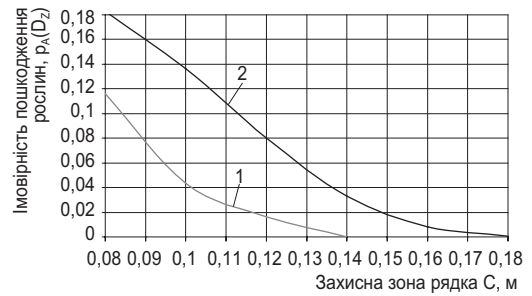


Рис. 5. Ймовірність пошкодження рослин $p_A(D_z)$ залежно від величини захисної зони C : 1 — внутрішній робочий орган; 2 — зовнішній робочий орган

рівня автоматизації водіння отримується прийнятна стійкість та керованість руху, про що свідчить аналіз досліджень, викладених у роботах [5–8].

Результат розрахунку ймовірності пошкодження рослин ширококоліїним агрозасобом із шириною колії $K=12$ м від величини захисної зони рядка представлено на рис. 5. Графік свідчить про те, що за однакової величини захисної зони пошкоджуваність рослин робочим органом, розміщеним зовні відносно геометричної осі рядка та центра агрозасобу (крива 2) і всередині (крива 1), різна. Так, скажімо, при захисній зоні 13 см ймовірність пошкодження зовнішнім робочим органом становить 5,5%, внутрішнім — 1%. Різниця в пошкоджуваності рослин є істотною.

Отже, обидва робочі органи ширококоліїного агрозасобу, які розміщені з 2-х боків рядка, слід розташовувати на неоднаковій відстані від осі рядка. За пошкоджуваності рослин до 1% захисна зона рядків, оброблюваних крайніми робочими органами, має бути відповідно 13 і 16 см.

Висновки

Запропонований метод визначення ймовірності пошкодження рослин у рядку дає змогу обґрунтовано обирати величину захисної зони з урахуванням конструктивних параметрів ширококоліїних агрозасобів, призначених для колійної системи землеробства, а також їх стійкості і керованості руху. За розміщення культуриваторних

робочих органів для ширококоліїного агрозасобу слід урахувувати фактор різниці їхніх зміщень. Для робочих органів, розташованих зовні відносно геометричної осі рядка і центра агрозасобу, величина захисної зони має бути більшою, ніж для внутрішніх, за умови рівномірного пошкодження рослин у рядку (приблизно на 3 см).

Бібліографія

1. *Kingwell R.* The whole-farm benefits of controlled traffic farming: An Australian appraisal/*R. Kingwell, A. Fuchsichler*//In *Agricultural Systems*. — 2011. — № 7. — V. 104. — P. 513–521.
2. *Chamen W.C.T.* Design, Operation and Performance of a Gantry System: Experience in Arable Cropping/*W.C.T. Chamen*//*J. of Agricultural Engineering Research*. — 1994. — № 59(1). — P. 45–60.
3. *Pedersen H.H.* Harvest Capacity Model for a Wide Span Onion Bunker Harvester/*H.H. Pedersen*//In *Automation and System Technology in Plant Production/CIGR section V & NJF section VII conference*, 30 June — 2 July 2011.
4. *Research of possibilities for efficient use of wide span tractor (vehicle) for controlled traffic farming*/*V. Bulgakov, V. Adamchuk, V. Kuvachov, S. Ivanov*//*Engineering for rural development: 16 International Scientific Conference, Proceedings*.— Jelgava, Latvia, May 24–26, 2017. — V. 16. — P. 281–287.
5. *Артьомов М.П.* Дослідження динаміки сільськогосподарських агрегатів/*М.П. Артьомов, М.А. Подригало, Д.М. Клец*//*Автомат. вироб. процес. у машинобуд. та приладобуд.* — Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2011. — Вип. 45. — С. 435–439.
6. *Улексін В.О.* Автоматизація керування транспортним засобом у мостовому землеробстві/*В.О. Улексін*//*Вісн. Харків. НТУСГ ім. П. Василенка*. — 2011. — Т. 2. — Вип. 10. — С. 101–110.
7. *Улексін В.О.* Автоматизація водіння машинно-тракторних агрегатів//*Вісн. Харків. НТУСГ ім. П. Василенка*. — 2008. — Т. 2. — Вип. 75. — С. 105–116.
8. *Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві: навч. посіб.*/В.Т. Надикто, М.Л. Крижачківський, В.М. Кюрчев, С.А. Абдула. — Мелітополь: Видавничий будинок «ММД», 2005. — 338 с.
9. *Жильцов О.Б.* Теорія ймовірностей та математична статистика у прикладах і задачах: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл./О.Б. Жильцов. — К.: Київ. ун-т ім. Б. Грінченка, 2015. — 336 с.
10. *Митропольский А.К.* Техника статистических вычислений/*А.К. Митропольский*. — М.: Наука, 1971. — 576 с.
11. *Чудаков Д.А.* Основы теории сельскохозяйственных навесных агрегатов/*Д.А. Чудаков*. — М.: МАШГИЗ, 1954. — 175 с.

Надійшла 7.08.2017.