

УДК 631.37

Надикто В., чл.-кор. НААН України, Кюрчев В., проф. (Таврійський ДАТУ)

## Використання тракторів серій ХТЗ-160 і ХТЗ-170 на вирощуванні просапних культур

Розглянуто варіанти використання тракторів серій ХТЗ-160 і ХТЗ-170 у складі машинно-тракторних агрегатів для вирощування просапних культур.

**Ключові слова:** трактор, суцільна рама, шарнірно зчленована рама, відхилення, прямолінійність, коливання, дисперсія, частота.

**Суть проблеми.** Впровадження на півдні України високоефективних 12-рядних просапних МТА з міжряддями 70 см і нині залишається неповністю розв'язаною проблемою. І це – не дивлячись на наявні потенційні можливості, оскільки ВАТ «Червона зірка» (м. Кіровоград) може випускати 12-рядні сівалки, ПАТ «Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе» виробляє необхідні для цього орно-просапні трактори серії ХТЗ-160, а Таврійський ДАТУ розробив і оприлюднив [1, 2] технологічні аспекти агрегування вказаних енергетичних засобів з широкозахватними просапними знаряддями (рис. 1, а).

Крім орно-просапних, Харківський тракторний завод виготовляє трактори загального призначення із шарнірно зчленованою рамою серії ХТЗ-170 (рис. 1, б). Проте нині серед науковців домінує думка щодо недоцільності використання енергетичних засобів такого компонування на вирощуванні просапних культур.

Справа в тому, що МТА на основі трактора з шарнірно зчленованою рамою, як динамічна система, характеризується значним підсиленням вхідного сигналу у вигляді керувального впливу. В результаті цього прямолінійність руху просапного агрегату погіршується, і для поліпшення його траєкторних показників науковці пропонують обладнати трактор спеціальним додатковим коригувальним механізмом [3]. Проте до теперішнього часу ця пропозиція в практичному варіанті так і не реалізована. Можливо, через те, що це в будь-якому випадку призводить до ускладнення конструкції енергетичного засобу та його подорожчання.

Водночас реальні показники керованості та стійкості руху того чи іншого МТА залежать як від його схеми, конструкційних параметрів і динамічних властивостей, так і від характеру впливу на нього керувальних дій з боку водія. Як буде показано нижче, за високого рівня підготовки останнього можна домогтися прийнятної для виробництва якості руху просапного агрегату на базі трактора з шарнірно зчленованою рамою навіть без застосування будь-яких коригувальних пристроїв.

Для практики експлуатації просапних МТА важливо наступне: чим менші відхилення робочих органів знаряддя від напрямку його руху під час реагування агрега-



Рис. 1 – Дванадцятирядні просапні МТА на основі тракторів серій ХТЗ-160 (а) і ХТЗ-170 (б)

ту на керувальний вплив, тим краще. Як це відбувається за різних компоновальних схем МТА та його конструкційних параметрів, з'ясуємо на наступних прикладах.

**Методика.** Спочатку розглянемо просапний агрегат у складі трактора класичного компонування та задньонавісного просапного знаряддя. При поданні механізатором-водієм керувального впливу у вигляді повороту керованих коліс трактора на кут  $\alpha$  усі ланки МТА здійснюватимуть відповідний рух відносно миттєвого центру повороту, розташованого у точці  $O$  (рис. 2).

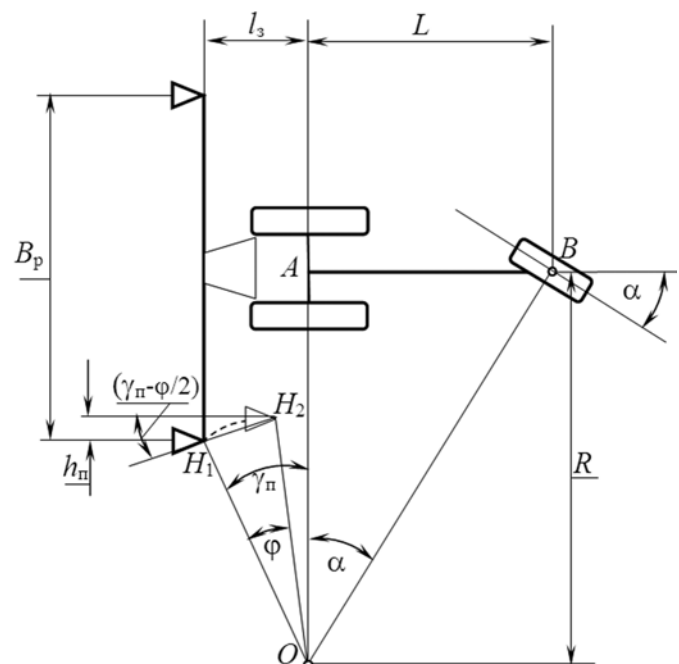


Рис. 2 – Схема бокових зміщень робочих органів задньонавісного знаряддя під час криволінійного руху просапного МТА на основі трактора серії ХТЗ-160

Крайні праві робочі органи знаряддя (погляд ззаду) відхиляться при цьому у поперечному напрямку на величину  $h_n$ , а крайні ліві – на величину  $h_l$  (на рис. 2 не показано).

Величину переміщення  $h_n$  можна знайти з виразу:

$$h_n = H_1 H_2 \cdot \sin(\gamma_n - \varphi/2),$$

де  $H_1 H_2$  – хорда дуги  $H_1 H_2$ , по якій правий крайній орган знаряддя переміщується під час відпрацювання агрегатом кута повороту керованих коліс трактора;  $\gamma_n$ ,  $\varphi$  – кути, природа яких зрозуміла з рис. 2.

У свою чергу  $H_1 H_2 = 2 \cdot OH_1 \cdot \sin(\varphi/2)$ . А оскільки  $OH_1 = l_3 / \sin \gamma_n$ , то

$$h_n = 2 \cdot l_3 \cdot \sin(\varphi/2) \cdot \sin(\gamma_n - \varphi/2) / \sin \gamma_n$$

або

$$h_n = 2 \cdot l_3 \cdot \sin(\varphi/2) \cdot [\cos(\varphi/2) - \operatorname{ctg} \gamma_n \cdot \sin(\varphi/2)].$$

З аналізу рис. 2 випливає:

$$\operatorname{ctg} \gamma_n = (L \operatorname{ctg} \alpha - 0,5 B_p) / l_3,$$

де  $L$  – база трактора;  $B_p$  – ширина захвату знаряддя;  $l_3$  – відстань від робочих органів знаряддя до осі задніх коліс трактора.

З урахуванням цього остаточно отримуємо:

$$h_n = l_3 \cdot \sin \varphi - 2 \cdot \sin^2(\varphi/2) \cdot L / \operatorname{tg} \alpha + B_p \cdot \sin^2(\varphi/2).$$

Як показує практика, використання широкозахватних просапних МТА [4] в процесі здійснення ними прямолінійного руху кут повороту керованих коліс трактора змінюється в діапазоні  $0-6^\circ$ . Приблизно в такому ж діапазоні знаходиться при цьому і кут повороту робочих органів знаряддя  $\varphi$ . А для малих значин кутів з достатньою для практики точністю в даному випадку можна прийняти, що  $\sin \varphi \approx \varphi$ , а  $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$ .

Аналогічно розмірковуючи і щодо відхилення лівих робочих органів задньонавісного знаряддя, в кінцевому підсумку отримуємо:

$$\left. \begin{aligned} h_n &= l_3 \cdot \varphi - 2 \cdot \sin^2(\varphi/2) \cdot L / \alpha + B_p \cdot \sin^2(\varphi/2); \\ h_l &= l_3 \cdot \varphi - 2 \cdot \sin^2(\varphi/2) \cdot L / \alpha - B_p \cdot \sin^2(\varphi/2). \end{aligned} \right\} (1)$$

Тепер розглянемо таку ж схему приєднання просапного знаряддя до трактора з шарнірно зчленованою рамою. В цьому варіанті миттєвим центром повороту усіх ланок МТА в горизонтальній площині є проєкція на неї осі вертикального шарніра, який з'єднує піврами енергетичного засобу (т.  $O$ , рис. 3).

Керувальним впливом є кут повороту піврам  $\alpha$  (на рис. 3 показана лише задня з них). Під дією цього впливу задньонавісне знаряддя обертається на кут  $\alpha$ . Величини поперечних зміщень його правих і лівих робочих органів описують при цьому залежно-

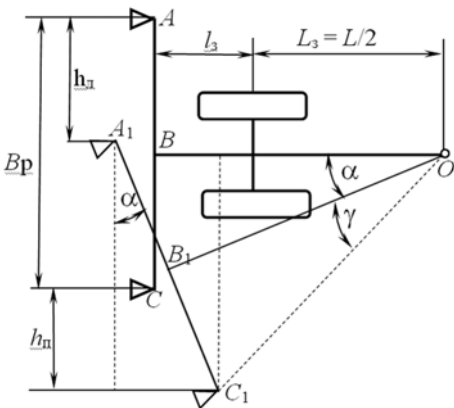


Рис. 3 – Схема бокових зміщень робочих органів задньонавісного знаряддя під час криволінійного руху просапного МТА на основі трактора серії ХТЗ-170

стями:

$$\left. \begin{aligned} h_n &= (L_3 + l) \cdot \alpha - 0,5 \cdot B_p \cdot (1 - \cos \alpha); \\ h_l &= (L_3 + l) \cdot \alpha + 0,5 \cdot B_p \cdot (1 - \cos \alpha). \end{aligned} \right\} (2)$$

Слід підкреслити, що системи рівнянь (1) і (2) отримані за умови відсутності кутів зміщення шин передніх і задніх коліс трактора. В дійсності ж це явище має місце. Особливо при навішуванні знарядь як на задній, так і на передній навісний механізми енергетичного засобу. Комбіновані машинно-тракторні агрегати за такою схемою відомі під назвою «штовхай-тягни» («push-pull»). В Україні енергетичною базою для їх створення є орно-просапні трактори сімейства ХТЗ-160 [1].

Розглянемо такий комбінований МТА, причому з урахуванням кутів зміщення шин передніх і задніх коліс енергетичного засобу (рис. 4).

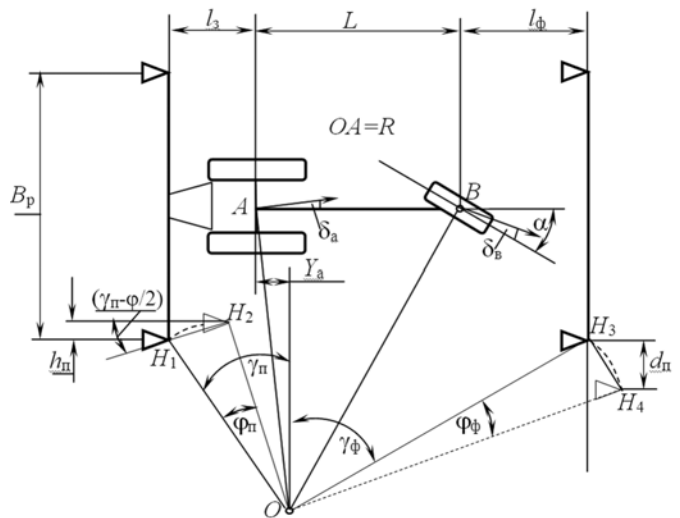


Рис. 4 – Схема бокових зміщень робочих органів задньонавісного і фронтального знарядь під час криволінійного руху просапного МТА на основі трактора серії ХТЗ-160

У цьому випадку вирази для визначення величин поперечних зміщень правих та лівих робочих органів навісних знарядь будуть такими:

$$\left. \begin{aligned} h_n(h_l) &= [\varphi_n - 2 \cdot \operatorname{ctg} \gamma_n \cdot \sin^2(\varphi_n/2)] \cdot [l_3 + L \cdot \delta_a / (\delta_a + \alpha - \delta_b)]; \\ \operatorname{ctg} \gamma_n &= [L \pm 0,5 \cdot B_p \cdot (\delta_a + \alpha - \delta_b)] / [L \cdot \delta_a + l_3 \cdot (\delta_a + \alpha - \delta_b)]; \end{aligned} \right\} (3)$$

$$\left. \begin{aligned} d_n(d_l) &= [\varphi_\phi + 2 \cdot \operatorname{ctg} \gamma_\phi \cdot \sin^2(\varphi_\phi/2)] \cdot [L + l_\phi - L \cdot \delta_a / (\delta_a + \alpha - \delta_b)]; \\ \operatorname{ctg} \gamma_\phi &= [L \pm 0,5 \cdot B_p \cdot (\delta_a + \alpha - \delta_b)] / [(L + l_\phi) \cdot (\delta_a + \alpha - \delta_b) - L \cdot \delta_a], \end{aligned} \right\} (4)$$

де  $\varphi_n$ ,  $\varphi_\phi$  – кути повороту правих і лівих робочих органів задніх і фронтальних навісних знарядь;  $\gamma_n$ ,  $\gamma_\phi$  – кути, природа яких зрозуміла із рис.4;  $l_3$ ,  $l_\phi$  – відстані робочих органів задньонавісного і фронтального знарядь від осей задніх і передніх коліс трактора відповідно;  $\delta_a$ ,  $\delta_b$  – кути зміщення шин задніх і передніх коліс трактора;  $\alpha$  – керувальний вплив – кут повороту передніх коліс енергетичного засобу.

Зауважимо, що у рівняннях систем (3) і (4) вирази для визначення поперечних зміщень крайніх правих і крайніх лівих робочих органів однакові. Відміна полягає у формулах для визначення величин  $\operatorname{ctg} \gamma_n$  і  $\operatorname{ctg} \gamma_\phi$ , де після бази трактора  $L$  знак «+» відноситься до крайніх

лівих, а знак «-» – до крайніх правих робочих органів.

Під час аналізу систем рівнянь (1-4) база тракторів і робоча ширина знарядь були постійними:  $L = 2,86$  м,  $B_p = 8,4$  м. Кут повороту керованих коліс  $\alpha$  змінювали в діапазоні 1-6°. Далі приймали таке припущення, що кути повороту знарядь  $\varphi$  (рис. 2),  $\varphi_n$  і  $\varphi_\phi$  (рис. 4) дорівнюють куту  $\alpha$ . Кути зміщення передніх та задніх шин трактора були постійними і рівними 3°. Параметри  $l_3$  і  $l_\phi$  змінювали в межах +2...-2 м.

### Результати розрахунків.

Розрахунками встановлено, що зі збільшенням кута повороту керованих коліс трактора поперечні відхилення робочих органів як задньонавісного, так і фронтального знарядь зростають. В якісному плані це цілком передбачуваний і логічний результат. В кількісному ж вираженні ці процеси суттєво відрізняються. В агрегата на основі трактора з шарнірно зчленованою рамою поперечні відхилення робочих органів задньонавісного знаряддя значно більші, ніж у аналогічного МТА на основі трактора класичного компоновання (рис. 5). І різниця між відхиленнями тим більша, чим більше значення керувального впливу.

Так, при куті  $\alpha = 1^\circ$  поперечне зміщення лівих робочих органів знаряддя, навішеного на трактор з шарнірно зчленованою рамою, у 6 разів більше, ніж у знаряддя, агрегатованого з трактором класичного компоновання (рис. 5, лінії  $1_n$  і  $2_n$ ). Зі збільшенням керувального впливу (кута  $\alpha$ ) до 6° різниця у вказаному зміщенні зростає на порядок. Саме через це на практиці і не рекомендується використовувати трактори з шарнірно зчленованою рамою у складі навісних просапних МТА.

Розрахунками встановлено ще одну закономірність. У задньонавісному варіанті агрегування знаряддя з трактором класичного компоновання поперечні відхилення правих (в даному випадку – внутрішніх) робочих органів більші за відхилення лівих, тобто зовнішніх (рис. 5, лінії  $2_n$  і  $1_n$ ), у МТА на основі трактора з шарнірно зчленованою рамою – навпаки (рис. 5, лінії  $1_n$  і  $1_n$ ).

Наявність бокового зміщення шин трактора обумовлює свої кількісні зміни процесів поперечних відхилень робочих органів навісних знарядь при відпрацюванні керувального впливу МТА. У комбінованого агрегату на базі енергетичного засобу з жорсткою рамою та врахованим зміщенням шин поперечні відхилення робочих органів задньонавісного знаряддя більші (рис. 6, лінії  $1_n$  і  $1_n$ ), ніж у такого ж знаряддя на основі цього ж трактора, але без урахування зміщення шин (рис. 5, лінії  $2_n$  і  $2_n$ ). За керувального впливу  $\alpha \leq 3^\circ$  перші є більшими навіть у порівнянні з МТА на базі енергетичного засобу з шарнірно зчленованою рамою (рис. 5, лінії  $1_n$  і  $1_n$ ).

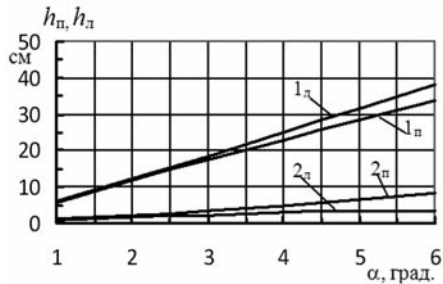


Рис. 5 – Поперечні відхилення правих ( $1_n$ ,  $2_n$ ) і лівих ( $1_n$ ,  $2_n$ ) робочих органів задньонавісних знарядь, агрегатованих з тракторами з шарнірно зчленованою (1) і жорсткою (2) рамами

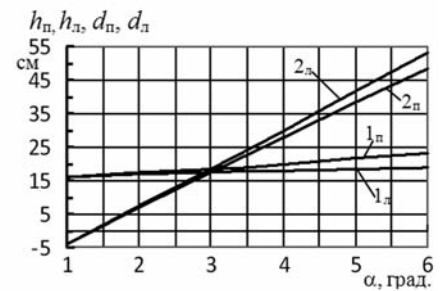


Рис. 6 – Поперечні відхилення правих ( $1_n$ ,  $2_n$ ) і лівих ( $1_n$ ,  $2_n$ ) робочих органів задньонавісного (1) і фронтального (2) знарядь, агрегатованих з трактором класичного компоновання

Залежності поперечних відхилень робочих органів фронтального знаряддя відрізняються найбільшою крутизою (рис. 6, лінії  $2_n$  і  $2_n$ ). При  $\alpha \geq 5^\circ$  вони є найбільшими і перевищують 40 см.

Водночас, за керувального впливу, меншого за  $1,5^\circ$ , поперечні відхилення робочих органів фронтального знаряддя навіть змінюють свій напрямок (на рис. 6 це відображено значинами  $d_n$  та  $d_n$  з від'ємним знаком). Такий результат обумовлений саме наявністю кутів зміщення шин енергетичного засобу. Причому, зі збільшенням значин  $\delta_a$  і  $\delta_b$  поперечні переміщення фронтальних знарядь також збільшуються.

Віддалення передньо- і задньонавісного знарядь від осей енергетичного засобу є небажаним, оскільки в цьому випадку зростають відхилення їх робочих органів. Водночас, при зворотній дії (тобто, наближенні знарядь) ці відхилення зменшуються і навіть змінюють знак.

Проте, аби кількісно оцінити ці процеси, розглянемо ще дві схеми МТА. За першої технологічна його частина складається з трьох знарядь: одного задньонавісного і двох передніх бокових, за другої – навпаки: одного фронтального і двох задніх бокових. Причому, ширина захвату кожного із знарядь становить третину від величини  $B_p$ , тобто  $8,4/3=2,8$  м. Практичні аспекти агрегування МТА за такими схемами всебічно розглянув Надикто В.Т. під час дослідження модульних енергетичних засобів (МЕЗ) перемінного тягового класу [4].

В результаті маємо: за кута повороту керованих коліс трактора на  $6^\circ$  переміщення передніх бокових знарядь на одну лінію з його передніми колесами ( $l_\phi = 0$  м) дозволяє зменшити поперечні відхилення правих (для прикладу) робочих органів в 1,75 рази (лінії 1 і 2, рис. 7). Подальше зміщення бокових знарядь за

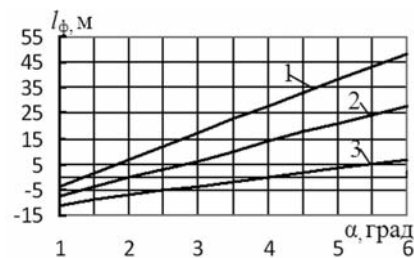


Рис. 7 – Поперечні відхилення правих робочих органів переднього бокового знаряддя за різного його розміщення від осі трактора ( $l_\phi$ ): 1 – (+2) м; 2 – 0 м; 3 – (-2) м

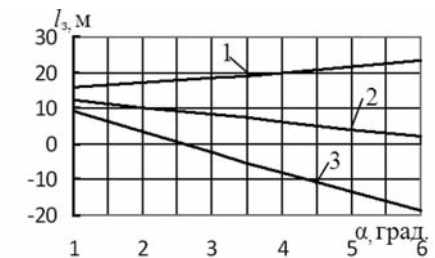


Рис. 8 – Поперечні відхилення правих робочих органів заднього бокового знаряддя за різного його розміщення від осі трактора ( $l_3$ ): 1 – (+2) м; 2 – 0 м; 3 – (-2) м

вісь енергетичного засобу на 2 м дає можливість зменшити ці відхилення ще в 4 рази (лінії 2 і 3, рис. 7).

Більш цікава ситуація має місце за аналогічного зміщення задніх бокових знарядь. При їх розташуванні на одній лінії з віссю задніх коліс енергетичного засобу (лінія 2, рис. 8) переміщення робочих органів зменшуються. Причому, навіть при збільшенні кута повороту керованих коліс трактора. При подальшому зміщенні вперед задніх бокових знарядь на відстань 2 м (лінія 3, рис. 8) поперечні відхилення їх робочих органів спочатку зменшуються до нуля (коли  $\alpha \leq 3^\circ$ ), а потім зростають у зворотному напрямі.

Аналіз показує, що коли зупинитися на схемі МТА з центрально навішеними знаряддями (див. рис. 4), то при зміні керуючого впливу в інтервалі  $1-3^\circ$  отримуємо підвищені поперечні відхилення робочих органів заднього з них (лінія 1, рис. 8). При  $\alpha = 3-6^\circ$  більше зміщуюватимуться робочі органи фронтального знаряддя (лінія 1, рис. 7).

З компромісної точки зору щодо поперечних відхилень робочих органів, найбільш раціональною є схема машинно-тракторного агрегату з центральним (лінія 2, рис. 8) і двома бічними передніми знаряддями, розташованими ззаду осі передніх коліс трактора на відстані до 2 м (лінія 3, рис. 7). У цьому випадку поперечні відхилення їх робочих органів будуть знаходитися в інтервалі приблизно 0-10 см. Проте, для роботи в міжряддях просапних культур і цього може виявитися забагато.

Для оцінювання кривизни траєкторій сходів просапних культур пропонуємо новий частотно-дисперсійний показник [5]. Згідно з ним непрямолінійність рядків є прийнятною тоді, коли дисперсія ( $D$ ) і частота зрізу нормованої спектральної щільності їх коливань ( $\omega_c$ ) відповідають таким вимогам:

$$D \leq 12,50 \text{ см}^2; \quad \omega_c \leq 0,25 \text{ м}^{-1}. \quad (5)$$

Експериментальні дослідження проводили агрегатом у складі трактора з шарнірно зчленованою рамою серії ХТЗ-170 та 12-рядної просапної сівалки «Optima» (рис. 1, б). Механізатора для цього МТА було вибрано після проведення спеціального експерименту, методика якого полягає в наступному. На підготовленому полі для сіви просапних кілька механізаторів здійснювали пробні проходи агрегатом у складі універсально-просапного трактора МТЗ-82 та сівалки СУПН-8. Для подальшого експерименту вибрали того водія, під керуванням якого траєкторні показники даного посівного агрегату відповідали вимогам частотно-дисперсійного показника (5).

Під час випробувань вологість ґрунту в шарі 0-15 см становила 17,8%, а щільність – 1,39 г/см<sup>3</sup>. Посівний агрегат рухався зі швидкістю 7,85 км/год (2,2 м/с). За робочої ширини захвату МТА 8,4 м продуктивність його роботи за час основного часу становила 6,6 га. Тиск повітря в шинах трактора ХТЗ-170 було зменшено до 0,9 мПа – у передніх, і до 0,8 мПа – у задніх рушіях. Завдяки цьому загортання насіння соняшнику по слідах коліс енергетичного засобу здійснювалось практично на ту ж глибину, що й на основному агрофоні.

Після появи сходів заміряли траєкторію рядка та ширину стикового міжряддя, на основі чого розраховували дисперсії ( $D$ ) та нормовані спектральні щільності  $[S(\omega)]$  коливань вимірюваних параметрів.

Аналіз отриманих результатів показав, що обидва реєстровані процеси є низькочастотними. Основна частка дисперсій їх коливань ( $D_1$  і  $D_2$ ) зосереджена в досить вузькому діапазоні частот: 0-2 м<sup>-1</sup> (рис. 9). За швидкості руху агрегату 2,2 м/с – це 0-4,4 с<sup>-1</sup> або 0-0,7 Гц. Частота зрізу обох спектральних щільностей при цьому практично однакова і становить:  $\omega_c = 0,90 \text{ м}^{-1}$ .

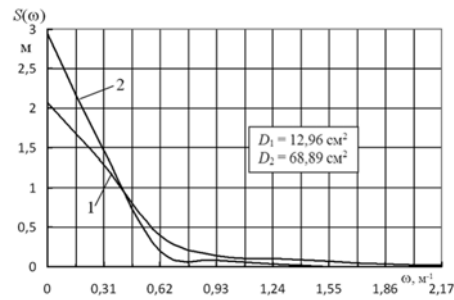


Рис. 9 – Нормовані спектральні щільності коливань траєкторій рядків (1) та стикових міжрядь (2) сходів соняшнику, посіяного МТА на основі трактора ХТЗ-170

Як засвідчують дані рис. 9, за дисперсією коливання траєкторії рядків соняшнику, посіяного машинно-тракторним агрегатом на основі трактора із шарнірно зчленованою рамою, практично відповідають бажаним, а за частотою – ні. Коливання ширини стикових міжрядь за обома числовими характеристиками частотно-дисперсійного показника більші за нормативні.

Наступним кроком досліджень було проведення міжрядного обробітку сходів соняшнику, посіяного 12-рядним дослідним агрегатом. Для здійснення цієї технологічної операції використовували МТА у складі трактора МТЗ-82 та шестирядного культиватора КРН-5,6.

Пошкодження культурних рослин хоча і мало місце, але воно не перевищувало 0,5% – як під час обробітку основних рядків з установочною захисною зоною 13 см, так і стикових міжрядь, ширина яких становила  $69,0 \pm 1,7$  см, а захисна зона – 15 см.

**Висновки.** Застосування трактора серії ХТЗ-160 на вирощуванні просапних культур доцільне за схеми МТА з центральним задньонавісним та двома бічними знаряддями, навішеними за віссю передніх коліс трактора на відстані до 2 м.

Використання трактора з шарнірно зчленованою рамою на вирощуванні просапних культур можливе за умови здатності водія-механізатора здійснювати прямолінійний рух МТА, траєкторні показники якого відповідають вимогам частотно-дисперсійного показника (5).

## Список літератури

1. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві / В.Т. Надикто, М.Л. Крижачківський, В.М. Кюрчев, С.Л. Абдула. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2005. – 337 с.
2. Кюрчев В. Новий посівний МТА на основі трактора серії ХТЗ-160 // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 12.
3. Пожидаєв С.П. Дослідження копіювання рядків просапних культур навісним агрегатом // Вісник аграрної науки. – 1980. – № 2.
4. Надикто В.Т. Агрегатирование модульных энергетических средств. – Мелітополь: КП «ММД», 2003. – 240 с.
5. Надикто В.Т., Назарова О.П., Чорная Т.С. Частотно-дисперсионный показатель непрямолинейно-

сти рядов пропашных культур // Тракторы и сельхоз-  
машины. – 2009. – № 8.

**Аннотация.** Рассмотрены варианты использова-  
ния тракторов серий ХТЗ-160 и ХТЗ-170 в составе  
машинно-тракторных агрегатов для выращивания  
пропашных культур.

**Summary.** *The variants use tractors of cereus ХТЗ-  
160 and ХТЗ-170 are considered in composition machine-  
tractor units for growing of the cultivated cultures.*

Стаття надійшла до редакції 1 жовтня 2012 р.