

seeds sowing depth at the increased seeding speeds. Parameters of the combined two-disk opener with the modernized mechanism of sowing depth regulation are substantiated. On the basis of the scheme of an opener design it is proved need of using certain rigidity spring for stability seeding to a predetermined depth within the agrotechnology limit. Dependences for calculation of rational spring elasticity which take into account geometrical parameters of opener design are obtained. On the basis of numerical calculations carried out on the PC found that for overcoming the soil resistance force which acts on the combined opener, spring stiffness should be in the range of  $9,04 \cdot 10^3 \dots 3,60 \cdot 10^4$  N/m.

**Keywords:** crop breeding, seeding machine, combined opener, equivalent scheme, mathematical model, spring, agrotechnological limit, calculation on the PC.

Стаття надійшла в редакцію: 30.09.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Гецович Є.М.

УДК 631.372+629.3.017

## ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ОРНОГО АГРЕГАТУ, ПРАЦЮЮЧОГО ЗА СХЕМОЮ «PUSH-PULL»

**В. Т. Надикто**, доктор технічних наук, чл.-кор. НААН,  
**О. Д. Кістечок**, інженер  
Таврійський державний агротехнологічний університет

Наведені результати теоретичних та експериментальних досліджень двох орних машинно-тракторних агрегатів (МТА). Один з них складався із трактора ХТЗ-16131, фронтального двохкорпусного й задньонавішеного чотирьохкорпусного плугів (схема «push-pull» «2+4»), а другий (із цього ж трактора й п'ятикорпусного задньонавішеного плуга (схема «0+5»). Згідно отриманим експериментальним даним робоча ширина захвата агрегату за схемою «2+4» була на 20,9% більше, ніж в агрегаті за схемою «0+5». І хоча робоча швидкість руху першого МТА виявилася на 1,5% нижче, через перевагу в ширині захвату продуктивність його роботи була вище на 19,5%. У силу цього питома витрата палива агрегатом за схемою «2+4» виявилася нижчою. В умовах польового експерименту економія палива склала 11,5%. Середньо квадратичне відхилення глибини оранки для обох порівнюваних агрегатів не перевищувало агротехнічних вимог ( $\pm 2$  см) і окремо становило: для МТА за схемою «0 + 5» - (1,98 см, а для агрегату за схемою «2+4» - (1,52 см. У той же час, зазначена різниця між цими статистичними характеристиками ( $\pm 1,98$  см і  $\pm 1,52$  см) є не випадковою. Із цієї причини можна вважати, що застосування орного агрегату за схемою «push-pull» «2+4» забезпечує обробку ґрунту із кращою рівномірністю ходу плугів по глибині.

**Ключові слова:** оранка, агрегат, «push-pull», фронтальний плуг, схема агрегату, продуктивність, витрата палива.

**Постановка проблеми.** Однією з найбільш важливих задач сільськогосподарського виробництва є зменшення енергетичних витрат на оранці. Першим кроком у рішенні цієї проблеми є підвищення тягово-зчіпних властивостей трактора шляхом збільшення його зчіпної ваги.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У складі орного машинно-тракторного агрегату (МТА) домогтися цього можна шляхом застосування плугів, приєднаних за схемою «push-pull». Як показують теоретичні дослідження, за рахунок вертикальної складової тягового опору фронтального плуга збільшується довантаження передніх коліс, а значить і зчіпна вага трактора. У результаті це приводить як до певного зменшення його буксування, так і зниженню питомої витрати палива орним агрегатом у цілому [1-3].

Однак, при неправильному приєднанні фронтального плуга до енергетичного засобу може мати місце не довантаження, а навпаки – розвантаження передніх коліс трактора й немінуча при цьому втрата керованості й стійкості руху всього орного МТА. Теоретичними дослід-

женнями встановлено, що щоб уникнути цього при використанні трактора з номінальним тяговим зусиллям 30...32 кН фронтальний плуг повинен мати два корпуси, а задній – 4 (схема «2+4») [4]. Трактор при цьому рухається правими колесами в борозні, фронтальний плуг приєднаний до нього в горизонтальній площині жорстко, а опорне колесо цього знаряддя розміщене поза борозною.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Метою цієї статті є виклад і аналіз результатів експериментальної оцінки тракторних, тягово-енергетичних і агротехнічних показників роботи орного агрегату за схемою «push-pull» із числом корпусів «2+4».

**Виклад основного матеріалу досліджень Методи та матеріали.** Орний агрегат за схемою «2+4» складався із трактора ХТЗ-16131, фронтального двохкорпусного й задньонавішеного чотирьохкорпусного плугів (рис. 1 а).

Для порівняння з ним випробовували орний агрегат за схемою «0+5», що складається із цього ж трактора й задньонавішеного

п'ятикорпусного плуга ПЛН-5-35 (рис. 16).



Рис. 1. Орні агрегати по схемах «2+4» (а) і «0+5» (б)

### Технічна характеристика орних агрегатів

Потужність двигуна трактора ХТЗ-16131, кВт	132
Експлуатаційна маса, кг	8100
Колія трактора, мм	2100
Поздовжня база трактора, мм	2860
Розмір шин переднього й заднього мостів трактора	16,9R38
Ширина захвата фронтального плуга, м	0,70
Ширина захвата задньонавішеного плуга, м	1,40
Ширина захвата орного МТА схеми «2+4», м	2,10
Ширина захвата орного МТА схеми «0+5», м	1,75

У процесі польових випробувань реєстрували наступні параметри: вологість і щільність ґрунту, поздовжньо-вертикальний профіль поля, тяговий опір і робочу ширину захвата ( $B_p$ ) плугів, швидкість руху ( $V_p$ ), буксування коліс ( $\delta$ ) і годинну витрату палива тракторів ( $G_p$ ), глибину оранки.

Вологість ґрунту визначали широко відомим методом гарячого сушіння. Для вимірювання щільності агротехнічного фону використовували спеціально розроблений нами метод і прилад на його основі [5].

Коливання амплітуди й частоти нерівностей профілю поля в поздовжньому напрямку (профіль поля) вимірювали за допомогою спеціального профілографа.

Тяговий опір плугів реєстрували з використанням тензометричної ланки, розрахованої на тягове зусилля до 40 кН.

Швидкість робочого руху орного агрегату фіксували за допомогою встановлюваного на тракторі шляховимірювального колеса. На матачинах його переднього й заднього мостів встановлювали лічильники обертів, електричні сигнали яких знімали за допомогою струмознімачів.

Для вимірювання годинної витрати палива досліджуваним трактором застосовували витратомір імпульсного типу. Електричні сигнали, що виробляються профілографом, тензометричною ланкою, шляховимірювальним колесом, лічильниками обертів і паливоміром записували на ЕОМ, пропускаючи їх через аналогово-цифровий перетворювач.

Буксування коліс трактора розраховували по формулі:

$$d = 1 - \frac{n_{xx}}{n_p} \times \frac{V_p}{V_{xx}}, \quad (1)$$

де  $n_{xx}$ ,  $n_p$  – частота обертання коліс трактора при русі орного агрегату відповідно без тягового навантаження й з ним,  $c^{-1}$ ;  $V_{xx}$ ,  $V_p$  – швидкість руху агрегату без навантаження й з ним,  $m \cdot c^{-1}$ .

Рух орних агрегатів без навантаження передбачав їхнє переміщення по полю із плугами, піднятими в транспортне положення.

Продуктивність орного МТА ( $W_a$ , га·год $^{-1}$ ) та питомі витрати ним палива ( $G_u$ , кг·га $^{-1}$ ) визначали наступним чином:

$$W_a = 0,1 \times B_p \times V_p; \quad (2)$$

та

$$G_u = \frac{G_h}{W_a}. \quad (3)$$

Повторність проведених вимірів всіх параметрів – не менше 5.

**Результати дослідження.** Лабораторно-польові дослідження проводили на полі, вологість ґрунту якого становила 16,5%, а щільність – 1,26  $m \cdot c^{-3}$ . Коливання нерівностей профілю поля були високочастотними. Однозначно на це вказує довжина кореляційного зв'язку (абсциса першого нульового значення нормованої автокореляційної функції  $\rho$ ) ординат даного процесу, що не перевищує 0,3 м (рис. 2). Більше того, судячи з нормованої автокореляційної функції, коливання амплітуди поздовжнього профілю поля містить приховану періодичну складову з періодом, приблизно рівним 0,75 м.

Дисперсія коливань була також незначною (1,21 см) і зосереджена в діапазоні частот 0...

**Вісник Сумського національного аграрного університету**

12 м<sup>-1</sup>. При швидкості руху орного агрегату 1,98 м·с<sup>-1</sup> це становить 0...24 с<sup>-1</sup> або 0...4 Гц.

Із проведеного вище кореляційно-спектрального аналізу можна зробити висновок, що відносно висока частота й мала дисперсія коливань нерівностей повздовжньо-вертикального профілю поля не можуть бути генераторами більш-менш істотних коливань тягового опору агрегатів з трактором ХТЗ-16131 фронтального й задньонавішеного плугів. Основні зміни цього параметра (тобто тягового опору) буде формувати та, як правило, формує внутрішня структура ґрунтового середовища, на яку впливають робочі органи орних знарядь.

Плуги машинно-тракторних агрегатів по схемах «0+5» і «2+4» були налаштовані на ту саму глибину оранки – 25 см.

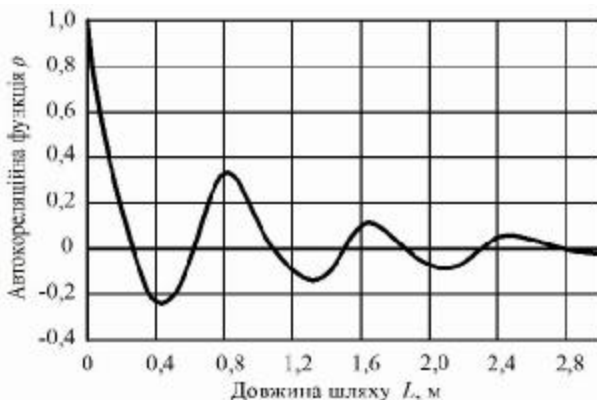


Рис. 2. Нормована автокореляційна функція (ρ) коливань профілю поля як функція шляхи L

Для агрегату за схемою «0+5» тяговий опір плуга змінювався в межах 26,6...28,4 кН. Середнє квадратичне відхилення цього параметра склало ± 4,0...4,8 кН. У результаті коефіцієнт варіації тягового опору змінювався в межах 14,01...8,0%, що вказує на середню варіабельність даного процесу [6].

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень орних МТА на базі трактора ХТЗ-16131

Схема МТА	$V_p^{1)}$ , м·с <sup>-1</sup>	$B_p^{2)}$ , м	$W_a^{3)}$ , га·год <sup>-1</sup>	$h^{4)}$ , см	$d^{5)}$ , %	$P_{кр}^{6)}$ , кН	$G_n^{7)}$ , кг·год <sup>-1</sup>	$G_u^{8)}$ , кг·га <sup>-1</sup>
«0+5»	2,01	1,77	1,28	24,9±0,3	13,8	27,4	21,2	16,5
«2+4»	1,98	2,14	1,53	25,1±0,1	14,4	33,1	22,3	14,6

<sup>1)</sup> – робоча швидкість руху; <sup>2)</sup> – робоча ширина захвату; <sup>3)</sup> – продуктивність роботи агрегату за 1 годину; <sup>4)</sup> – глибина оранки; <sup>5)</sup> – буксування коліс трактора; <sup>6)</sup> – тяговий опір плуга; <sup>7)</sup> – годинна витрата палива; <sup>8)</sup> – питома витрата палива агрегатом.

У результаті продуктивність роботи за 1 годину для агрегату за схемою «2+4» виявилася на 19,5% більшою, ніж у машинно-тракторного агрегату з одним задньонавішеним п'ятикорпусним плугом.

Оскільки тяговий опір плугів орного МТА за схемою «2+4» більше, ніж в агрегаті за схемою «0+5», то він, природно, мав більше буксування коліс трактора (див. табл. 1). В абсолютному вимірі – на 0,6%, а у відносному – на 4,3%.

У той же час, за рахунок більшої продуктивності роботи питома витрата палива для агрегату за схемою «push-pull» виявилася на 11,5%

У порівнянні з орним знаряддям ПЛН-5-35 сумарний тяговий опір фронтального й задньонавішеного плугів агрегату за схемою «2+4» при приблизно такому ж значенні середнього квадратичного відхилення (± 5 кН) склало 31,5...34,7 кН. Час кореляційного зв'язку для даних процесів змінювався при цьому в межах 0,24...0,26 с (рис. 3).

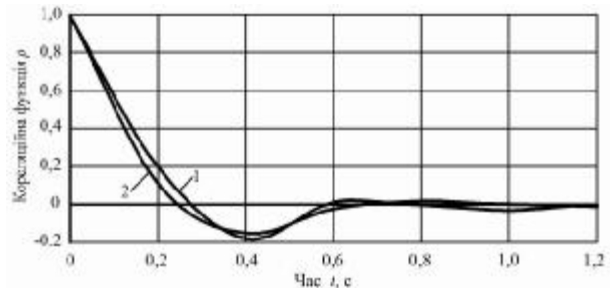


Рис. 3. Нормовані кореляційні функції коливань тягового опору плугів орних агрегатів за схемою «0+5» (крива 1) і «2+4» (крива 2)

З аналізу практики використання подібних агрегатів відомо, що така тривалість кореляційного зв'язку (за часом) характеризує процес як високочастотний [7]. Реальним доказом цього є спектр дисперсій коливань тягового опору плугів. У досліджуваних машинно-тракторних агрегатів він зосереджений у діапазоні частот 0...25 с<sup>-1</sup> або 0...4 Гц.

За результатами вимірів дійсна ширина захвату машинно-тракторного агрегату за схемою «push-pull» (тобто «2+4») була на 20,9% більше, ніж в орного агрегату за схемою «0+5». Що стосується робочої швидкості руху, то для МТА з одним п'ятикорпусним плугом за рахунок меншої ширини захвату, а значить і меншого тягового опору агрегатованого знаряддя, вона була більшою на 1,5% (табл. 1).

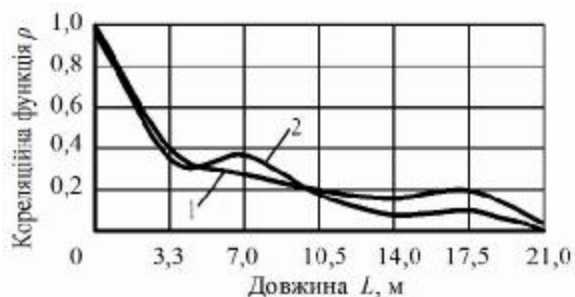
меншою. Ця економія, на наш погляд, має місце завдяки більш ефективному використанню тягових властивостей переднього мосту трактора. Їхнє поліпшення відбувається за рахунок використання фронтального знаряддя, правильне агрегування якого спричиняється довантаження передніх рушіїв енергетичного засобу.

Одним з основних агротехнічних показників роботи орного МТА є рівномірність глибини оранки. Згідно експериментальних даних середнє квадратичне відхилення цього параметра в обох порівнюваних агрегатів не перевищувало агротехнічних вимог (± 2 см) і окремо становило: для

МТА за схемою «0 + 5» – 1,98 см, а для агрегату за схемою «2+4» – 1,52 см.

З результатів дисперсійного аналізу треба, що на статистичному рівні значимості 0,05 різниця між цими середніми квадратичними відхиленнями є не випадковою, оскільки відповідно до F-критерію Фішера нуль-гіпотеза про рівність порівнюваних статистичних оцінок не відхиляється.

Інакше кажучи, з довірчою ймовірністю 95% можна стверджувати, що агрегат за схемою «2+4» здійснює оранку з більш високою стабільністю по глибині обробки ґрунту. Однієї із причин



такого результату може бути та обставина, що передній міст трактора ХТЗ-16131 через наявність фронтального плуга здійснює менші вертикальні коливання при його русі в борозні. У підсумку саме це позитивно відбивається на плавності переміщення як фронтального, так і задньонавішеного плугів.

Варто підкреслити, що нормовані кореляційні функції й спектральні щільності коливань глибини оранки порівнюваних машинно-тракторних агрегатів між собою відрізняються мало (рис. 4). Для обох варіантів МТА довжина кореляційного зв'язку становить не менш 21 м.

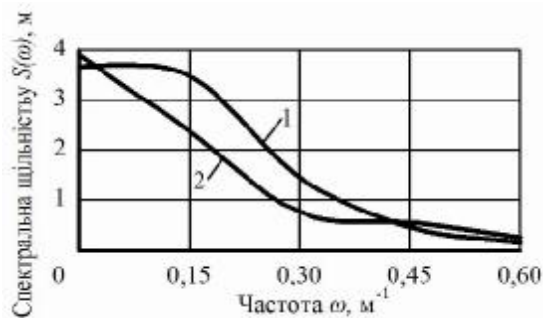


Рис. 4. Нормовані кореляційні функції (ρ) і спектральні щільності [S(ω)] коливань глибини оранки агрегатами за схемою «0+5» (криві 1) і «2+4» (криві 2)

Причому, коливання глибини оранки не містять прихованої періодичної складової. Пояснити такий результат можна тим, що агротехнічний фон перед оранкою був вирівняний за допомогою дискової борони. Доказом цього є маленька дисперсія коливань нерівностей поля, складова всього 1,24 см<sup>2</sup>.

Більше того, під час робочого руху колеса трактора мають певне буксування. І тому що цей процес супроводжується зрізанням ґрунту ґрунтозачепами рушіїв, то відбувається додаткове вирівнювання шляху руху для енергетичного засобу. Амплітуда його вертикальних коливань при цьому зменшується, що обумовлює зниження вертикальних коливань агрегатованих із трактором плугів. Остаточним наслідком цього є підвищення стабільності глибини оранки агрегатом за

схемою «push-pull».

**Висновки.** Переваги фронтального агрегування сільськогосподарських знарядь із трактором дозволяють створювати на його основі високоефективні машинно-тракторні агрегати за схемою «push-pull».

Орний агрегат такої схеми в складі трактора ХТЗ-16131, двохкорпусного фронтального й чотирьохкорпусного задньонавішеного плугів («2+4») у порівнянні із МТА у складі цього ж енергетичного засобу й задньонавішеного п'ятикорпусного орного знаряддя («0+5») має більшу на 19,5% продуктивність роботи й меншу на 11,5% питому витрату палива.

Використання орного агрегату за схемою «2+4» дозволяє обробляти ґрунт із більшою стабільністю ходу плугів по глибині.

#### Список використаної літератури:

- Надыкто В.Т. Агрегатирование МЭС с передненавесным плугом / Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1994, №7. - С. 18-21.
- Надыкто В.Т., Генев О.І., Аюбов А.М. До обґрунтування ефективності орних агрегатів по схемі «push – pull» / Збірник наукових праць ТДАТА, 2003. - Вип. 12. - С. 46 - 49.
- Надыкто В.Т. Снижение энергозатрат пахотными МТА на основе МЭС / Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1996, №10. - С. 8-11.
- Надыкто В.Т., Кістечок О.Д. Дослідження стійкості руху орного МТА за схемою «push-pull» / Механізація та електрифікація сільського господарства. - Глеваха, 2015. - Випуск №2 (101).- С. 99-105.
- Кувачов В.П., Надыкто В.Т., Кюрчев В.М. Методика та результати оцінки нерівностей профілю ґрунтового-дорожніх фонів за допомогою ЕОМ / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь, 2008. – Вип. 6, т. 6. – С. 28–34.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). - Москва: Агропромиздат, 1985. - 351 с.
- Булгаков В.М., Кравчук В.І., Надыкто В.Т. Агрегативання плугів. - Київ: Аграрна освіта, 2008. -

**Надыкто В.Т., Кистечок А.Д. Теоретическое и экспериментальное исследование показателей работы пахотного агрегата, работающего по схеме «push-pull»**

Изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований двух пахотных машинно-тракторных агрегатов (МТА). Один из них состоял из трактора ХТЗ-16131, фронтального двухкорпусного и задненавесного четырехкорпусного плугов (схема «push-pull» «2+4»), а второй - из этого же трактора и пятикорпусного задненавесного плуга (схема «0+5»). Согласно полученным экспериментальным данным рабочая ширина захвата агрегата по схеме «2+4» была на 20,9% больше, чем у агрегата по схеме «0+5». И хотя рабочая скорость движения первого МТА оказалась на 1,5% ниже, из-за преимуществ в ширине захвата производительность его работы была выше на 19,5%. В силу этого удельный расход топлива агрегатом по схеме «2+4» оказался ниже. В условиях полевого эксперимента экономия топлива составила 11,5%. Среднее квадратичное отклонение глубины пахоты у обоих сравниваемых агрегатов не превышало агротехнических требований ( $\pm 2$  см) и отдельно составляло: для МТА по схеме «0 + 5» –  $\pm 1,98$  см, а для агрегата по схеме «2+4» –  $\pm 1,52$  см. В тоже время, указанная разница между этими статистическими характеристиками ( $\pm 1,98$  см и  $\pm 1,52$  см) является не случайной. По этой причине можно считать, что применение пахотного агрегата по схеме «push-pull» «2+4» обеспечивает обработку почвы с лучшей равномерностью хода плугов по глубине.

**Ключевые слова:** пахота, агрегат, «push-pull», фронтальный плуг, схема агрегата, производительность, расход топлива.

**Nadykto V.T., Kistechok O.D. Investigation of the draft-and-power, and agrotechnical indicators of the work of a ploughing aggregate, created according to the scheme «push-pull»**

The article expounds the research results of two ploughing machine and tractor aggregates (MTA). One of them consisted of a tractor HTZ-16131, a front-mounted double-furrow and a rear-mounted four furrow ploughs (the scheme «push-pull» «2+4»), but the other - of the same tractor and a five furrow rear-mounted plough (the scheme «0+5»). The obtained experimental data indicate that the working width of the aggregate assembled according to the scheme «2+4» was by 20.9% greater than that of the aggregate created according to the scheme «0+5». Although the operating velocity of travel of the first MTA turned out to be by 1.5% lower, its efficiency, due to a greater working width, was by 19.5% higher. Therefore the specific fuel consumption by the aggregate created according to the scheme «2+4» turned out to be by 11.5% lower. The mean root square deviation in the depth of ploughing by both the compared aggregates did not exceed the agrotechnical requirements ( $\pm 2$  cm); however the use of a ploughing aggregate, created according to the scheme «push-pull» «2+4», ensures soil cultivation with more uniform plough travel by depth.

**Key words:** ploughing, aggregate, «push-pull», front-mounted plough.

Стаття надійшла в редакцію: 04.10.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Подригало М.А.