

УДК 631.312.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРНЫХ И ТЯГОВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ПАХОТНОГО АГРЕГАТА ПО СХЕМЕ «PUSH-PULL»

**В. Т. Надикто,**

*проректор по научной работе Таврического государственного агротехнологического университета,  
докт. техн. наук, проф., чл.-корр. НААН Украины (г. Мелитополь, Украина)*

**А. Д. Кистечок,**

*аспирант Таврического государственного агротехнологического университета (г. Мелитополь, Украина)*

*В статье изложены результаты 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». Несмотря на то, что 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 результате 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 то же время указанная разница между этими статистическими характеристиками ( $\pm 1,98$  см и  $\pm 1,52$  см) является не случайной, поэтому 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.*

*The article presents the results of two studies of arable tractor units (MTA). One of them consisted of a tractor HTZ-16131, a front double-hulled and rear mounted four furrow plows (Scheme «push-pull» «2 + 4"), and the second – from the same tractor and five furrow rear mounted plow ( "0 + 5" scheme). According to the experimental data, the working width of "2 + 4" scheme capture unit was 20.9% greater than that of the unit according to the "0 + 5". Despite the fact that the working speed of the first AIT was below 1.5%, because of advantages in working width, its work efficiency was higher by 19.5%. For this reason, the specific fuel consumption unit on a "2 + 4" was lower. In the context of a field experiment was fuel economy – 11.5%. The standard deviation of depth of plowing in both comparable units does not exceed the agronomic requirements ( $\pm 2$  cm) and individual components of: for the MTA on a "0 + 5" –  $\pm 1,98$  cm, and for the unit on a "2 + 4" –  $\pm 1.52$  cm. at the same time, said the difference between the statistical characteristics ( $\pm 1,98$  cm  $\pm 1.52$  cm) is not accidental, therefore it can be assumed that the use of arable unit under the scheme «push-pull» «2+ 4 "provides a soil treatment with the best uniformity of stroke depth plows.*

*Keywords: plowing, machine, «push-pull», front plow assembly diagram, performance, fuel consumption.*

### Введение

Одной из наиболее важных задач сельскохозяйственного производства является уменьшение энергетических затрат на пахоте. Первым шагом в решении этой проблемы является повышение тягово-сцепных качеств трактора путем увеличения его сцепного веса.

В составе пахотного машинно-тракторного агрегата (МТА) добиться этого можно путем применения плугов, присоединенных по схеме «push-pull». Как показывают теоретические исследования, за счет вертикальной составляющей тягового сопротивления фронтального плуга увеличивается догрузка перед-

них колес, а значит и сцепной вес трактора. В результате это приводит как к определенному уменьшению его буксования, так и снижению удельного расхода топлива пахотным агрегатом в целом [1-3].

Однако при неправильном присоединении фронтального плуга к энергетическому средству может иметь место не догрузка, а наоборот – разгрузка передних колес трактора и неизбежная при этом потеря управляемости и устойчивости движения всего пахотного МТА. Теоретическими исследованиями установлено, что во избежание этого при использовании трактора с номинальным тяговым усилием – 30-32 кН,

фронтальный плуг должен иметь два корпуса, а задний – 4 (схема «2+4») [4]. Трактор при этом движется правыми колесами в борозде, фронтальный плуг присоединен к нему в горизонтальной плоскости жестко, а опорное колесо этого орудия размещено вне борозды.

Целью данной работы является изложение и анализ результатов экспериментальной оценки тракторных, тягово-энергетических и агротехнических показателей работы пахотного агрегата по схеме «push-pull» с числом корпусов «2+4». Технические характеристики данных пахотных агрегатов приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Техническая характеристика пахотных агрегатов**

Мощность двигателя трактора ХТЗ-16131, кВт	132
Эксплуатационная масса, кг	8100
Колея трактора, мм	2100
Продольная база трактора, мм	2860
Размер шин переднего и заднего мостов трактора	16,9R38
Ширина захвата фронтального плуга, м	0,70
Ширина захвата задненавесного плуга, м	1,40
Ширина захвата пахотного МТА схемы «2+4», м	2,10
Ширина захвата пахотного МТА схемы «0+5», м	1,75

#### Основная часть

Пахотный агрегат по схеме «2+4» состоял из трактора ХТЗ-16131, фронтального двухкорпусного и задненавесного четырехкорпусного плугов (рис. 1а).

Для сравнения с ним испытывали пахотный агрегат по схеме «0+5», состоящий из этого же трактора и задненавесного пятикорпусного плуга ПЛН-5-35 (рис. 1б). В процессе полевых испытаний регистрировали следующие параметры: влажность и плотность почвы, продольно-вертикальный профиль поля, тяговое сопротивление и рабочую ширину захвата ( $B_p$ ) плугов, скорость движения ( $V_p$ ), буксование колес ( $\delta$ ) и часовой расход топлива тракторов ( $G_h$ ), глубину пахоты.

Влажность почвы определяли широко известным методом горячей сушки. Для измерения плотности агротехнического фона использовали специально разработанный авторами метод и прибор на его основе [5].

Колебания амплитуды и частоты неровностей профиля поля в продольном направлении (профиль поля) измеряли с помощью специального профилографа.

Тяговое сопротивление плугов регистрировали с использованием тензометрического звена, рассчитанного на тяговое усилие до 40 кН.

Скорость рабочего движения пахотного агрегата фиксировали с помощью устанавливаемого на тракторе путеизмерительного колеса. На ступицах его переднего и заднего мостов устанавливали счетчики

оборотов, электрические сигналы которых снимали с помощью токосъемников.

Для измерения часового расхода топлива исследуемым трактором применяли расходомер импульсного типа. Электрические сигналы, вырабатываемые профилографом, тензометрическим звеном, путеизмерительным колесом, счетчиками оборотов и топливометром записывали на ЭВМ, пропуская их через аналогово-цифровой преобразователь.

Буксование колес трактора рассчитывали по формуле:

$$\delta = 1 - \frac{n_{xx} \cdot V_p}{n_p \cdot V_{xx}},$$

где  $n_{xx}$ ,  $n_p$  – частота вращения колес трактора при движении пахотного агрегата соответственно без тяговой нагрузки и с ней,  $c^{-1}$ ;

$V_{xx}$ ,  $V_p$  – скорость движения агрегата без нагрузки и с ней,  $m \cdot c^{-1}$ .

Движение пахотных агрегатов без нагрузки предусматривало их перемещение по полю с плугами, поднятыми в транспортное положение.

Производительность пахотного МТА ( $W_a$ ,  $га \cdot ч^{-1}$ ) и удельный расход им топлива ( $G_u$ ,  $кг \cdot га^{-1}$ ) определяли следующим образом:

$$W_a = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p;$$

$$G_u = \frac{G_h}{W_a}.$$

Повторность проводимых измерений всех параметров – не менее 5.

Лабораторно-полевые исследования проводили



а)



б)

Рисунок 1. Пахотные агрегаты по схемам «2+4» (а) и «0+5» (б)

на поле, влажность почвы которого составляла – 16,5 %, а плотность – 1,26 г·см<sup>-3</sup>.

Колебания неровностей профиля поля были высокочастотными. Однозначно на это указывает длина корреляционной связи<sup>1</sup> ординат данного процесса, которая не превышает 0,3 м (рис. 2). Более того, судя

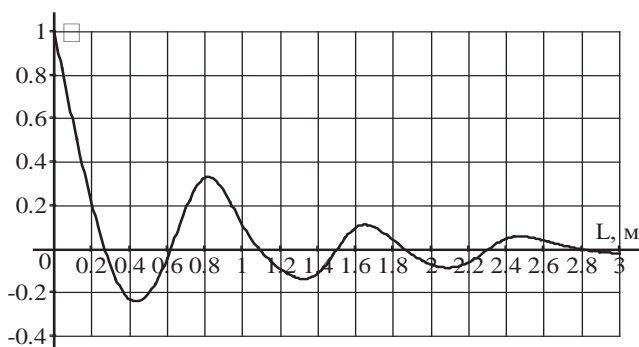


Рисунок 2. Нормированная автокорреляционная функция (ρ) колебаний профиля поля как функция пути L

по нормированной автокорреляционной функции, колебания амплитуды продольного профиля поля содержали скрытую периодическую составляющую с периодом, примерно равным 0,75 м.

Дисперсия колебаний была также малой (1,21 см<sup>2</sup>) и сосредоточена в диапазоне частот 0...12 м<sup>-1</sup>. При скорости движения пахотного агрегата – 1,98 м·с<sup>-1</sup> это составляет 0 – 24 с<sup>-1</sup> или 0 – 4 Гц.

Из приведенного выше корреляционно-спектрального анализа можно сделать вывод, что относительно высокая частота и малая дисперсия колебаний неровностей продольно-вертикального профиля поля не могут быть генераторами более-менее существенных колебаний тягового сопротивления агрегируемых с трактором ХТЗ-160 фронтального и задненавесного плугов. Основные изменения этого параметра (т.е. тягового сопротивления) будет формировать и, как правило, формирует внутренняя структура почвенной среды, на которую воздействуют рабочие органы пахотных орудий.

Плуги машинно-тракторных агрегатов по схемам «0+5» и «2+4» были настроены на одну и ту же глубину пахоты – 25 см.

У агрегата по схеме «0+5» тяговое сопротивление плуга менялось в пределах 26,6 – 28,4 кН. Среднее квадратичное отклонение этого параметра составило ± 4,0 – 4,8 кН. В результате коэффициент вариации тягового сопротивления изменялся в пределах 14,0 – 18,0 %, что указывает на среднюю вариабельность данного процесса [6].

По сравнению с пахотным орудием ПЛН-5-35 суммарное

тяговое сопротивление фронтального и задненавесного плугов агрегата по схеме «2+4» при примерно таком же значении среднего квадратичного отклонения (± 5 кН) составило 31,5-34,7 кН. Время корреляционной связи для данных процессов изменялось при этом в пределах 0,24 – 0,26 с (рис. 3).

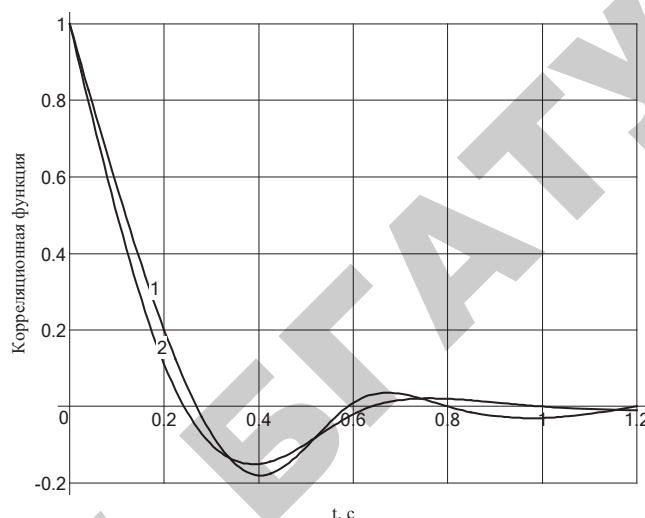


Рисунок 3. Нормированные корреляционные функции колебаний тягового сопротивления плугов пахотных агрегатов по схеме «0+5» (кривая 1) и «2+4» (кривая 2)

Из анализа практического использования подобных агрегатов следует, что такая длительность корреляционной связи (по времени) характеризует процесс, как высокочастотный [7]. Реальным доказательством этого является спектр дисперсий колебаний тягового сопротивления плугов. У исследуемых машинно-тракторных агрегатов он сосредоточен в диапазоне частот 0 – 25 с<sup>-1</sup> или 0 – 4 Гц.

По результатам измерений действительная ширина захвата у машинно-тракторного агрегата по схеме «push-pull» (т.е. «2+4») была на 20,9 % больше, чем у пахотного агрегата по схеме «0+5». Что касается рабочей скорости движения, то у МТА с одним пятикорпусным плугом за счет меньшей ширины захвата, а значит и меньшего тягового сопротивления агрегируемого орудия, она была большей на 1,5 % (табл. 2).

**Таблица 2. Результаты экспериментальных исследований пахотных МТА на базе трактора ХТЗ-160**

Схема МТА	$V_p^{1)}$ м·с <sup>-1</sup>	$B_p^{2)}$ м	$W_a^{3)}$ га·ч <sup>-1</sup>	$h^{4)}$ см	$\delta^{5)}$ %	$P_{кр}^{6)}$ кН	$G_h^{7)}$ кг·ч <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> – рабочая скорость движения; <sup>2)</sup> – рабочая ширина захвата; <sup>3)</sup> – производительность работы агрегата за 1 час; <sup>4)</sup> – глубина пахоты; <sup>5)</sup> – буксование колес трактора; <sup>6)</sup> – тяговое сопротивление плуга; <sup>7)</sup> – часовой расход топлива; <sup>8)</sup> – удельный расход топлива агрегатом.

В результате, производительность работы за 1 час агрегата по схеме «2+4» оказалась на 19,5 %

<sup>1</sup> абсцисса первого нулевого значения нормированной автокорреляционной функции ρ (рис. 1)

больше, чем у машинно-тракторного агрегата с одним задненавесным пятикорпусным плугом.

Поскольку тяговое сопротивление плугов пахотного МТА по схеме «2+4» больше, чем у агрегата по схеме «0+5», то он, естественно, имел большее буксование колес трактора (табл. 2). В абсолютном измерении – на 0,6 %, а в относительном – на 4,3 %.

В то же время, за счет большей производительности работы удельный расход топлива у агрегата по схеме «push-pull» на 11,5 % меньше. Эта экономия, на наш взгляд, имеет место благодаря более эффективному использованию тяговых свойств переднего моста трактора. Их улучшение происходит за счет использования фронтального орудия, правильное агрегатирование которого обуславливает догрузку передних движителей энергетического средства.

Одним из основных агротехнических показателей работы пахотного МТА является равномерность глубины пахоты. Согласно экспериментальным данным, среднее квадратичное отклонение этого параметра 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.

Из результатов дисперсионного анализа следует, что на статистическом уровне значимости 0,05 разница между этими средними квадратичными отклонениями является не случайной, поскольку в соответствии с F-критерием Фишера ноль-гипотеза о равенстве сравниваемых статистических оценок не отклоняется.

Таким образом, можно утверждать, что агрегат по схеме «2+4» осуществляет пахоту с более высокой стабильностью по глубине обработки почвы. Одной из причин такого результата может быть то обстоятельство, что передний мост трактора ХТЗ-160 из-за наличия фронтального плуга осуществляет меньшие вертикальные колебания при его движении в борозде. В итоге именно это положительно отражается на плавности перемещения как фронтального, так и задненавесного плугов.

Следует подчеркнуть, что нормированные корреляционные функции и спектральные плотности колебаний глубины пахоты сравниваемыми машинно-тракторными агрегатами между собой отличаются не-

значительно (рис. 4). Для обоих вариантов МТА длина корреляционной связи составляет не менее 21 м.

Причем, собственно колебания глубины пахоты не содержат какой-либо скрытой периодической составляющей. Объяснить такой результат можно тем, что агротехнический фон перед пахотой был выровнен при помощи дисковой бороны. Доказательством этого является маленькая дисперсия колебаний неровностей поля, составляющая всего  $1,24 \text{ см}^2$ .

Более того, во время рабочего движения колеса трактора имеют определенное буксование. И так как этот процесс сопровождается срезанием почвы почвозацепами движителей, то происходит дополнительное выравнивание пути движения для энергетического средства. Амплитуда его вертикальных колебаний при этом уменьшается, что обуславливает снижение вертикальных колебаний агрегируемых с трактором плугов. Окончательным следствием этого является повышение стабильности глубины пахоты агрегатом по схеме «push-pull».

### Выводы

Преимущество фронтального агрегатирования сельскохозяйственных орудий с трактором позволяет создавать на его основе высокоэффективные машинно-тракторные агрегаты по схеме «push-pull».

Пахотный агрегат такой схемы в составе трактора ХТЗ-16131, двухкорпусного фронтального и четырехкорпусного задненавесного плугов («2+4») по сравнению с МТА в составе этого же энергетического средства и задненавесного пятикорпусного пахотного орудия («0+5») имеет большую (на 19,5 %) производительность работы и меньший (на 11,5 %) удельный расход топлива.

Использование пахотного агрегата по схеме «2+4» позволяет обрабатывать почву с большей стабильностью хода плугов по глубине.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надикто, В.Т. Агрегатирование МЭС с передненавесным плугом / В.Т. Надикто, //Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1994. – №7. – С. 18-21.

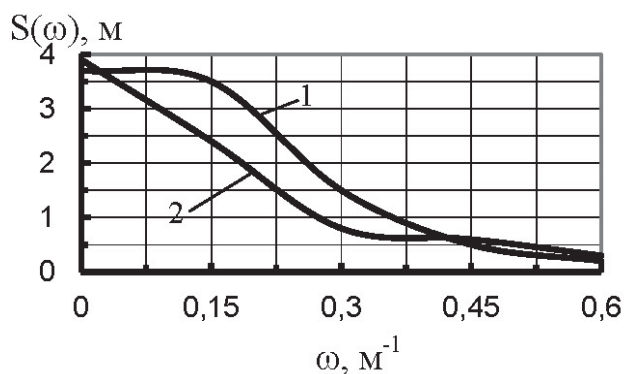
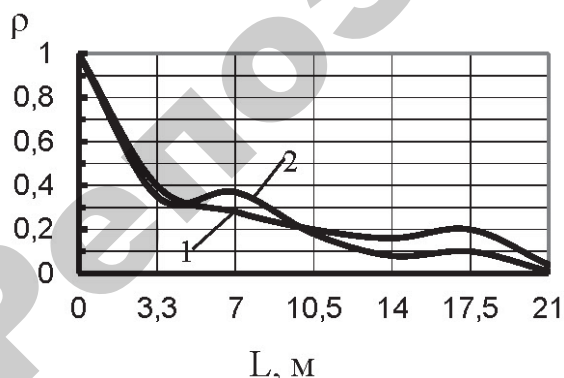


Рисунок 4. Нормированные корреляционные функции ( $\rho$ ) и спектральные плотности [ $S(\omega)$ ] колебаний глубины пахоты агрегатами по схеме «0+5» (кривые 1) и «2+4» (кривые 2)

2. Надикто, В.Т. До обґрунтування ефективності орних агрегатів по схемі «push – pull» / В.Т. Надикто, О.І. Генев, А.М. Аюбов // Збірник наукових праць ТДАТА, 2003. – Вип. 12. – С. 46 – 49.

3. Надикто, В.Т. Снижение энергозатрат пахотными МТА на основе МЭС / В.Т. Надикто // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1996. – №10. – С. 8-11.

4. Надикто, В.Т. Дослідження стійкості руху орного МТА за схемою «push-pull» / В.Т. Надикто, О.Д. Кістечок // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2015. – Випуск №2 (101). – С. 99-105.

5. Кувачов, В.П. Методика та результати оцінки

нерівностей профілю ґрунтового-дорожніх фонів за допомогою ЕОМ / В.П. Кувачов, В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2008. – Вип. 6, т. 6. – С. 28–34.

6. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

7. Булгаков, В.М. Агрегативання плугів / В.М. Булгаков, В.І.Кравчук, В.Т. Кравчук. – Київ: Аграрна освіта, 2008. – 134 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 27.09.2016

УДК 621.431

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ УЧЕТА РАСХОДА ТОПЛИВА**

**А.В. Новиков,**

*профессор каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**Д.А. Жданко,**

*зав. каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**Ю.И. Томкунас,**

*доцент каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**А.А. Шиш,**

*студент агроинженерного факультета БГАТУ*

*Даны результаты исследований эффективности использования современных технических средств для объективного учета расхода дизельного топлива машинно-тракторным парком (МТП) в агропромышленном комплексе (АПК) Республики Беларусь.*

*Ключевые слова: машинно-тракторный парк, расход топлива, экономия, энергопотребление, контроль расхода топлива, затраты.*

*The results of studies on the effectiveness of using modern technical means for an objective account of consumption of diesel machines and tractors in the agricultural sector of the Republic of Belarus are given in the article.*

*Keywords: machine-tractor fleet, fuel consumption, saving, energy consumption, fuel consumption control costs.*

### **Введение**

Энергопотребление является важной составляющей любой экономики, так как напрямую влияет на себестоимость единицы валового продукта, поэтому энергосбережение является актуальной проблемой любой страны и особенно стран, не имеющих собственных запасов невозобновляемых источников энергии.

Машинно-тракторный парк Республики Беларусь включает тракторы, грузовые автомобили и самоходные комбайны, при этом по состоянию на 01.01.2015 г. в его составе [1] около 53 % тракторов, 26,9 % грузовых автомобилей и почти 20 % самоходных комбайнов всех видов.

Всего же в 2015 году в сельском хозяйстве республики работало около 80 тыс. единиц самоходной

техники (тракторов, грузовых автомобилей и самоходных комбайнов).

В структуре затрат на производство сельскохозяйственной продукции, по данным Минсельхозпрода, затраты на нефтепродукты составляют: в растениеводстве – 11,5 %, а в животноводстве – 3,2 %. На рис. 1 представлен количественный и удельный расход топливосмазочных материалов (ТСМ) на производство сельскохозяйственной продукции в Республике Беларусь.

Из рис. 1 видно, что потребление топливосмазочных материалов в 2015 г. снизилось более чем на 15 % относительно 2012 г. Расход топливосмазочных материалов на одну единицу самоходной техники составил в 2015 г. – 8,1 т. В 1990 г. такой расход составлял – 9,1 т [2], что в 1,12 раз больше. Следует особо отметить, что с 2014 г. наметилась