

УДК 631.31.22

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ С АКТИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

**С.Н. Герук,**

*доцент национального научного центра «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»  
НАН Украины (п. Глеваха), канд. техн. наук, доцент*

**М.А. Прищепов,**

*проректор по научной работе – директор НИИМЭСХ БГАТУ, докт. техн. наук, доцент*

**И.С. Крук,**

*декан факультета механизации БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**А.В. Короткевич,**

*профессор каф. стандартизации и метрологии БГАТУ, докт. техн. наук, профессор*

**Ф.И. Назаров,**

*аспирант каф. теоретической механики и теории механизмов и машин БГАТУ*

*В статье приведены теоретические исследования кинематики и динамики процесса работы активных почвообрабатывающих рабочих органов.*

*Ключевые слова: почвообрабатывающие машины, активные рабочие органы, поверхностная обработка почвы, технологические параметры, энергозатраты, гидравлический привод.*

*The theoretic studies of the kinematics and dynamics of a working process of active soil-working bodies are presented in the article.*

*Keywords: tillage machines, active working bodies, soil surface treatment, technological parameters, power-costs, hydraulic drive.*

### Введение

Одним из важнейших условий повышения урожайности сельскохозяйственных культур является качественная обработка почвы. Обработка почвы позволяет изменить строение пахотного слоя, увеличить ее влагоаккумулирующую способность, усилить круговорот питательных веществ, уничтожить сорные растения, некоторые возбудители болезней и вредителей посевов, заделать растительные остатки и удобрения, выполнить почвозащитные мероприятия, создать условия для заделки семян на оптимальную глубину [1]. Механическое воздействие почвообрабатывающих рабочих органов сельскохозяйственных машин и орудий приводит к улучшению физических свойств почвы, что создает наиболее благоприятные условия для протекания биологических, физико-химических и физических процессов, и обеспечивает оптимальные условия для роста и развития растений.

Однако обработка почвы является наиболее энергозатратным комплексом технологических операций в технологиях возделывания и уборки сельскохозяйственных культур. По степени влияния на урожайность, энергетические и трудовые затраты она занимает ведущее место в растениеводстве. От всего объема полевых работ по возделыванию и уборке сельскохозяйственных культур на обработку почвы приходится 40 % энергетических и 25 % трудовых затрат. Поэтому

теоретические исследования процессов воздействия рабочих органов почвообрабатывающих машин на почву, позволяющие обосновать их оптимальные технологические и конструктивные параметры на стадиях разработки и проектирования с целью снижения энергозатрат и обеспечения требуемого качества выполняемого процесса, сохранения плодородия почв, повышения урожайности и снижения себестоимости возделывания культур, являются актуальными для агропромышленного комплекса республики.

### Основная часть

Технологические и физико-механические свойства почв изменяются в широких пределах, оказывая влияние на работу почвообрабатывающих рабочих органов и качество выполнения технологических операций сельскохозяйственными машинами. В настоящее время в конструкциях машин широко используются как пассивные, так и активные почвообрабатывающие рабочие органы. Преимуществами машин и агрегатов с активными рабочими органами являются: качественное рыхление почвы, полное уничтожение и заделка растительных остатков, а также равномерное перемешивание с почвой минеральных и органических удобрений по всей глубине обработки [2-5]. В то же время они отличаются значительной энерго- и металлоемкостью. При разработ-

ке активных рабочих органов особое внимание уделяется обоснованию их конструктивных особенностей и параметров установки, при которых осуществляется качественное выполнение технологического процесса при наименьших энергетических затратах. Рабочий орган, размещенный на барабане в плоскости круга, не всегда обеспечивает обработку почвы с заданными агротехническими требованиями при наименьших затратах энергии. При расположении рабочих органов под углами к продольной и поперечной плоскостям (рис. 1) улучшается крошение почвы, заделка растительных остатков, минеральных и органических удобрений, так как в этом случае происходит сдвиг почвы в направлении, перпендикулярном направлению движения.

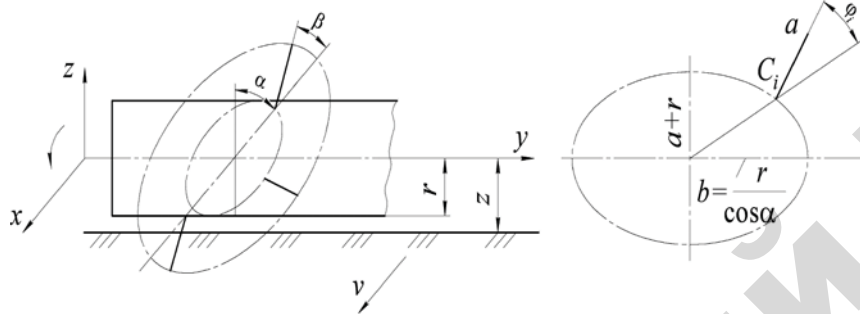


Рисунок 1. Схема к определению движения рабочего органа почвообрабатывающей машины

Выполним исследования изменения кинематических параметров рабочих органов, расположенных под углами к продольной и поперечной плоскостям.

Координаты движения конца рабочего органа точки  $C_i$  можно описать следующими уравнениями:

$$\begin{cases} x = (r + l_i \cos \beta) \sin \phi_i \cos \omega t + (r + l_i \cos \alpha \cos \beta) \times \\ \quad \times \cos \phi_i \cos \alpha \cos \omega t + vt; \\ y = (r + l_i \cos \alpha \cos \beta) \cos \phi_i \sin \alpha; \\ z = -(r + l_i \cos \beta) \sin \phi_i \sin \omega t + (r + l_i \cos \alpha \cos \beta) \times \\ \quad \times \cos \phi_i \cos \alpha \cos \omega t, \end{cases}$$

где  $l_i$  – длина  $i$ -го рабочего органа.

Используя данные уравнения, можно определить абсолютную скорость точки  $C_i$ , т.е. скорость резания:

$$v_0 = \omega \left[ (r + l_i \cos \beta)^2 + (r + l_i \cos \alpha \cos \beta)^2 \cos^2 \phi_i \times \right. \\ \left. \times \cos^2 \alpha + \left( \frac{v}{\omega} \right)^2 - \frac{2v}{\omega} \left( (r + l_i \cos \beta) \sin \phi_i \sin \omega t - \right. \right. \\ \left. \left. - (r + l_i \cos \alpha \cos \beta) \cos \phi_i \cos \alpha \cos \omega t \right) \right]^{\frac{1}{2}}.$$

На основе выполненных кинематических исследований сделаны выводы, что все точки рабочего органа движутся по циклоиде и процесс крошения почвы изменяется в зависимости от углов установки ножа.

Для изучения динамических показателей сделаем следующее допущение: нож представляет собой параллелепипед, заземленный одним концом на барабане. В случае воздействия почвы он совершает изгибные и крутильные колебания, описываемые уравнениями:

$$EI_z = \frac{\partial^4 z}{\partial x^4} = S \rho \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} - (2S \rho \omega \cos \alpha \cos \beta + 2\gamma) \times \\ \times \frac{\partial z}{\partial t} - F(x, t);$$

$$c \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - c_1 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} = I_p \rho \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} - 2\gamma_1 \frac{\partial \phi}{\partial t} - M(x, t),$$

где  $EI_z$  – жесткость ножа при изгибе;

$S$  – толщина ножа;

$c, c_1$  – соответственно жесткость при свободном кручении и секториальная;

$I_p$  – полярный момент инерции площади поперечного сечения ножа относительно его центра тяжести;

$\rho$  – плотность материала ножа;

$2\gamma$  – коэффициент трения ножа и среды (усредненный по периоду);

$2\gamma_1$  – коэффициент пропорциональности, который учитывает влияние трения на крутильные движения ножа;

$F(x, t), M(x, t)$  – соответственно внешние силы и момент, действующие на нож.

Согласно анализу данных уравнений, толщина ножа влияет на амплитуду его крутильных и изгибных колебаний, что в свою очередь отражается на энергоёмкости процесса крошения и гребнистости дна борозды: с уменьшением толщины ножа, при других равных условиях, энергоёмкость уменьшается, а гребнистость увеличивается.

Для расчета усилий взаимодействия ножа с почвой определим угол  $\Phi_{\text{вх}}$ , при котором начинается вхождение ножа в почву:

$$x^4 (\cos 2\beta - 1) + \frac{x^3}{4} \sqrt{1 - x^2} \sin^2 2\beta + 2kx^3 + 2kx + \\ + k - x^2 \cos^2 \beta = 0, \quad (1)$$

$$\text{где } x = \cos \phi_{\text{вх}}; \quad k = \frac{r^2}{l_i \sin \alpha}.$$

Так как уравнение (1) высокого порядка и его решение вызывает трудности, рассмотрим частные случаи решения.

1. Тонкий барабан превращен в вал, т.е.  $k \ll 1$ :

$$\phi_{\text{вх}} = \arccos \sqrt{\frac{32 \cos 2\beta \cos^2 \beta - \sin^4 2\beta \pm \sin^3 \beta \cos \beta \sqrt{72}}{2(32 \cos 2\beta \cos^2 \beta - \sin^4 2\beta)}}.$$

Тогда результирующий момент на барабане, где размещено  $m$  секций элементов с  $z$  ножей каждая, имеем:

$$M_0 = mz \left( 1 - \frac{1}{\pi} \arccos \sqrt{\frac{32 \cos 2\beta \cos^2 \beta - \sin^4 2\beta \pm \sin^3 \beta \cos \beta \sqrt{72}}{2(32 \cos 2\beta \cos^2 \beta - \sin^4 2\beta)}} \right) \times \\ \times \left[ ql_i \cos \alpha \left( r + \frac{l_i \sin \alpha}{2} \right) + \frac{Cd_n}{2} \left( r + \frac{l_i \sin \alpha}{2} \right) + \right. \\ \left. + fb_n \omega l_i \sin \alpha \left( r^2 + l_i r \sin \alpha + \frac{l_i^2 \sin^2 \alpha}{3} \right) \right].$$

где  $q$  – усилие резания почвы;

$C$  – упругость почвы, зависящая от ее физико-механических свойств;

$f$  – коэффициент трения;

$b_n, d_n$  – геометрические размеры ножа.

Диаметр барабана и длина ножа соизмеримы и  $k = 1$ . В этом случае выражение (1) решается численным методом. Его корни приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Корни уравнения (1) для определения угла вхождения ножа в почву**

$\beta$ , град	$X_1$	$X_2$
0	0,5	$\pm 1,0$
15	0,51025	-0,98730
30	0,53857	-0,95850
45	0,52080	-0,92920

Если обозначить положительный корень уравнения (1) через  $L$ , тогда суммарный момент на барабане будет равен:

$$M_0 = mz \left( 1 - \frac{1}{\pi} \arccos L \right) \times \left[ ql_i \cos \alpha \left( r + \frac{l_i \sin \alpha}{2} \right) + \right. \\ \left. + ql_i \cos \alpha \left( r + \frac{l_i \sin \alpha}{2} \right) + fb_n \omega l_i \times \right. \\ \left. \times \sin \alpha \left( r^2 + l_i r \sin \alpha + \frac{l_i^2 \sin^2 \alpha}{3} \right) \right].$$

Для создания широкозахватных агрегатов и регулирования частоты вращения барабанов, которое необходимо для качественной обработки различных почв, широко используется механический и гидравлический привод активных рабочих органов почвообрабатывающих машин. Гидравлический привод позволяет бесступенчато регулировать технологические параметры в процессе работы машины при изменении свойств обрабатываемой почвы.

При выборе типа и марки гидромоторов, делителя потока и регулятора расхода жидкости, насосов и других элементов гидропривода, исходными величинами являются мощность и угловая скорость вращения барабанов.

Момент на валу гидромотора определяется по формуле:

$$M = 0,159 q_0 \Delta p \eta_r = 0,159 q_0 (p_n - p_c) \eta_r,$$

где  $q_0$  – рабочий объем гидромотора;

$$\Delta p = p_n - p_c;$$

$p_n, p_c$  – соответственно, давления нагнетания и слива;

$\eta_r$  – полный КПД гидромотора.

Теоретический расход рабочей жидкости равен:

$$Q = 0,159 \frac{q_0 \omega}{\eta_o},$$

где  $\eta_o$  – объемный КПД гидромотора.

Мощность, расходуемая на привод насосной станции:

$$N = \frac{P_n Q_{\text{ст}}}{\eta}$$

где  $Q_{\text{ст}}$  – расход жидкости насосной станции:

$$Q_{\text{ст}} = \frac{Q}{(1 - \Delta \eta_o)(1 - \Delta \eta_n)},$$

где  $\Delta \eta_o, \Delta \eta_n$  – изменение соответственно объемного КПД насосной станции и КПД гидромотора.

Подача рабочей жидкости на гидромоторы одним или несколькими насосами осуществляется при условии:

$$Q_{\text{ст}} \geq \sum_{i=1}^n Q_i.$$

## Выводы

В результате теоретических исследований кинематики и динамики процесса работы активных почвообрабатывающих рабочих органов, элементы которых установлены под углами к продольной и поперечной плоскостям, получены зависимости, позволяющие определить технологические параметры активных рабочих органов машины для поверхностной обработки почвы и выбрать соответствующее оборудование для их гидравлического привода.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кушнарв, А.С. Механико-технологические основы обработки почвы / А.С. Кушнарв, В.И. Кочев. – Киев.: Урожай, 1989. – 140 с.
2. Марченко, О.С. Обоснование параметров рабочего органа фрезы для обработки переувлажненных почв / О.С. Марченко, В.И. Воробьев // Научно-технический бюллетень. – М.: ВИМ, 1982. – Вып. 51. – С. 12-15.

3. Ротационные почвообрабатывающие машины. Конструкция, расчет и проектирование / [Яцук и др.]. – М.: Машиностроение, 1971. – 256 с.

4. Азаренко, В.В. Научно-технологические и технические основы механизации обработки почвы активными рабочими органами: автореф. ... дис. докт. техн. наук: 05.20.01 / В.В. Азаренко. – Минск, 2005. – 48 с.

5. Чаткин, М.Н. Повышение эффективности функционирования комбинированных почвообрабатывающих машин с ротационными активными рабочими органами: дис. докт. техн. наук: 05.20.01 / М.Н. Чаткин. – Саранск, 2008. – 385 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 10.02.2016

УДК 631.16: 658.155

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ, ВЫПОЛНЕННОГО ИМ ОБЪЕМА РАБОТ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

**А.В. Новиков,**

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

**В.Я. Тимошенко,**

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

**Д.А. Жданко,**

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

**Г.Ф. Добыш,**

*доцент каф. управления и научно-технического прогресса БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

*В статье рассмотрены недостатки существующей методики оценки работы машинно-тракторного парка сельскохозяйственного предприятия и эффективности его использования. Рассмотрены новые подходы к ее совершенствованию.*

*Ключевые слова: трактор, мобильное энергетическое средство, машинно-тракторный парк, наработка, объем механизированных работ, мощность, производительность, расход топлива.*

*The article discusses the shortcomings of the existing methods to assess the machine and tractor work of agricultural enterprises and efficiency of its use. New approaches for its improvement have been considered.*

*Keywords: tractor, mobile energy facilities, machines and tractors, operating time, the volume of mechanized operations, power, performance, fuel consumption.*

### **Введение**

В настоящее время в выполнении механизированных работ в растениеводстве участвуют тракторы в составе машинно-тракторных агрегатов, грузовые автомобили с дизельными двигателями и мобильные энергетические средства – зерно-, кормо-, кукурузо-, свекло- и льноуборочные комбайны.

Объемы нормируемых механизированных тракторных работ первично учитываются в физических единицах: часах, га, т, ткм. Сельскохозяйственные работы, которые не нормируются, учитываются в астрономических часах затраченного на их выполнение времени. Для учета общего объема выполненных тракторами работ и определения удельных показателей, характеризующих уровень организации исполь-

зования тракторного парка и удельную энергоемкость выполненных работ, используются условные единицы измерения. В качестве таких единиц в 1972 году [1] были предложены условный эталонный гектар (ус.эт.га) для учета объема тракторных работ и условный эталонный трактор (усл.эт.тр.) для учета состава тракторного парка.

Наработка грузовых автомобилей учитывается в км пробега, т или ткм перевезенных грузов. Эффективность использования автомобильного парка оценивается удельными показателями, являющимися производными от указанных единиц наработки. К этим показателям относят, например, среднесуточный пробег одной машины, коэффициент использования пробега, коэффициент использования грузоподъемности и т.п.