

УДК 631.312

## СНИЖЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ОБРАБОТКУ ПОЧВЫ КАТКОВЫМИ ПРИСТАВКАМИ С КОЛЬЧАТО- ПРУТКОВЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

И.С. Крук,

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

Ф.И. Назаров,

доцент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ, канд. техн. наук

Ю.В. Чигарев,

профессор каф. теоретической механики и теории механизмов и машин БГАТУ, докт. ф.-м. наук, профессор

*В статье рассмотрены вопросы обработки почвы катковыми приставками с кольчато-прутковыми рабочими органами. Приведена методика инженерного расчета удельных энергетических затрат катковых приставок с кольчато-прутковыми рабочими органами в зависимости от их параметров (диаметр, длина и шаг прутков, диаметр диска, масса катка) и условий работы.*

*Ключевые слова: катковая приставка, кольчато-прутковый рабочий орган, энергозатраты.*

*The article deals with the issues of soil cultivation with roller attachments with ring-rod working units. The technique of engineering calculation of specific energy consumption of roller attachments with ring-rod working units, depending on their parameters (diameter, length and pitch of bars, disc diameter, roller weight) and operating conditions is presented.*

*Keywords: roller attachment, ring-rod working unit, energy consumption.*

### Введение

Обработка почвы является наиболее энергоемким и трудоемким процессом в технологии возделывания и уборки сельскохозяйственных культур. С целью повышения качества основной обработки почвы и снижения энергетических затрат на последующие технологические операции в конструкциях плугов применяются различные дополнительные устройства для разделки и поверхностной обработки почвенных пластов. Они обеспечивают крошение, уплотнение, рыхление и выравнивание поверхностного слоя на почвах легкого и среднего механического состава, на тяжелых – обеспечивают качественное крошение. В качестве дополнительных устройств применяют различные типы катков [1].

Исследованию процесса взаимодействия различных типов катков с почвой посвящены труды В.А. Желиговского, С.С. Саакяна, М.Н. Летошнева, В.В. Кацыгина, В.А. Новичихина, С.Ф. Тряпичкина, В.И. Скорика, В.П. Мармалюкова, З.И. Избасаровой, В.В. Голубева, Ю.А. Виноградова и др [1, 2]. Анализ исследований показал, что в качестве дополнительных устройств для поверхностной обработки почвенного пласта в пахотных агрегатах, рекомендуется применять катки с кольчатыми и прутковыми элементами [1].

Целью работы является определение влияния конструктивных и технологических параметров катковых приставок с кольчато-прутковыми рабочими органами на удельные энергетические затраты.

### Основная часть

Кольчато-прутковый почвообрабатывающий рабочий орган (рис. 1) является комбинацией кольчато-шпорового и кольчато-зубчатого катков и представляет собой набор колец, снабженных прутками цилиндрической формы. Прутки устанавливаются на удалении от кромки диска, что улучшает крошение крупных глыб. На ось диска устанавливаются с зазором, что позволяет катку самоочищаться [3, 4]. Прутки, углубляясь, крошат и уплотняют нижний подпо-

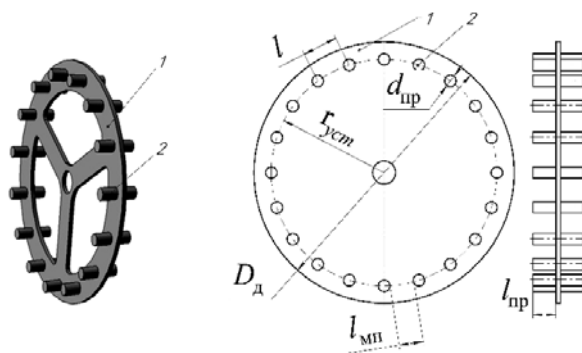


Рисунок 1. Основные параметры кольчато-пруткового рабочего органа:  
1 – диск; 2 – уплотняющие элементы;  $d_{пр}$  – диаметр прутка;  $D_д$  – диаметр диска;  $r_{уст}$  – радиус окружности, на которой установлены прутки;  $l_{пр}$  – длина прутка;  $l$  – расстояние между центрами прутков на диске;  $l_{мп}$  – межпрутковое расстояние

верхностный слой почвы, а выходя из нее, разрыхляют верхний поверхностный слой.

С целью оценки энергетических затрат на обработку почвы катковой приставкой с кольчато-прутковыми рабочими органами определим удельные энергетические затраты  $E$  по следующей зависимости [5]:

$$E = \frac{A}{S_{\text{уч}}}, \quad (1)$$

где  $A$  – энергетические затраты, Дж;  
 $S_{\text{уч}}$  – площадь обработанного участка, м<sup>2</sup>.

$$A = P_c \cdot L, \quad (2)$$

где  $P_c$  – сопротивление секции рабочих органов катковой приставки, Н;

$L$  – длина гона, м.

$$S_{\text{уч}} = b_{\text{пр}} \cdot L, \quad (3)$$

где  $b_{\text{пр}}$  – ширина захвата приставки, м.

Тяговое сопротивление катковой приставки можно определить по формуле [6]:

$$P_c = f_n G_{\text{пр}}, \quad (4)$$

где  $f_n$  – коэффициент сопротивления перекатыванию;

$G_{\text{пр}}$  – вес секции катковой приставки, Н.

Академиком Горячкиным В.П. предложена формула для определения коэффициента сопротивления перекатывания [6]:

$$f_n = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{h_{\text{пр}}}{2r_{\text{уст}}}}, \quad (5)$$

где  $h_{\text{пр}}$  – глубина погружения катка в почву (рис. 1), м;

$r_{\text{уст}}$  – радиус окружности, на котором установлены прутки, м.

Максимальная плотность почвы в зоне уплотнения прутка достигается при его заглублении на глубину, равную радиусу. Дальнейшее его заглубление ведет лишь к увеличению глубины распространения уплотнения, поэтому глубину погружения приставки находим по формуле

$$h_{\text{пр}} = \frac{D_d - r_{\text{уст}}}{2}, \quad (6)$$

где  $D_d$  – диаметр диска (рис. 1), м.

Из опыта применения различных катков в нашей стране и за рубежом известно, что катки общего и специального назначения изготавливаются диаметром в пределах от 200 до 700 мм. Для кольчато-шпоровых катков рекомендуемый диаметр – 300...545 мм [1; 7; 8; 9; 10; 14].

Радиус окружности, на которой следует устанавливать прутки относительно центра диска:

$$r_{\text{уст}} = \frac{l^2}{d_{\text{пр}}}, \quad (7)$$

где  $l$  – расстояние между центрами прутков на диске (рис. 1), м;

$$l = \frac{2h_1 - d_{\text{пр}} \cdot \cos \varphi_2 + d_{\text{пр}} \cdot \sin \varphi_2 \cdot \text{ctg} \varphi_1}{\text{ctg} \varphi_1}, \quad (8)$$

где  $h_1$  – глубина уплотнения, м;

$\varphi_1$  – угол внутреннего трения почвы, град;

$\varphi_2$  – угол трения почвы о металл, град.

Вес секции катковой приставки можно определить по формуле

$$G_{\text{пр}} = m_{\text{кпр}} \cdot g, \quad (9)$$

где  $m_{\text{кпр}}$  – масса катковой приставки, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Массу секции катковой приставки можно определить по формуле

$$m_{\text{кпр}} = \frac{\pi \rho_{\text{ст}} (b_{\text{пр}} + l_{\text{мп}}) \left( \frac{\pi D_d d_{\text{пр}}^2 l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} + l_{\text{мп}}} + \frac{D_d^2 l_d}{2} \right)}{4l_{\text{пр}} + 2l_d + 2l_{\text{мп}}}, \quad (10)$$

где  $\rho_{\text{ст}}$  – плотность материала прутка, г/см<sup>3</sup>;

$l_{\text{мп}}$  – межпрутковое расстояние, м;

$D_d$  – диаметр диска, м;

$d_{\text{пр}}$  – диаметр прутка, м;

$l_{\text{пр}}$  – длина прутка, м;

$l_d$  – ширина диска, м.

Межпрутковое расстояние (рис. 1) найдем по формуле

$$l_{\text{мп}} = l - d_{\text{пр}}. \quad (11)$$

Этот параметр должен быть не более 0,05 м, что соответствует допустимым агротребованиями размеру почвенных комков после прохода приставки [1].

Допустимый диаметр прутка при условии, что вес приставки минимален, определяется по формуле

$$\begin{aligned} [d_{\text{пр}}] = & \left( 2k_{\text{см}} h_{\text{пр}} g \rho_{\text{ст}} l_{\text{пр}}^2 + \frac{l_{\text{пр}}^2 \cdot g n_{\text{пр}} k_{\text{см}} h_{\text{пр}} [\sigma_{\text{ст}}^2]}{3v_{\text{пр}}^2 E_{\text{п}}} \right) + \\ & + \left( \left( 2k_{\text{см}} h_{\text{пр}} g \rho_{\text{ст}} l_{\text{пр}}^2 + \frac{l_{\text{пр}}^2 \cdot g n_{\text{пр}} k_{\text{см}} h_{\text{пр}} [\sigma_{\text{ст}}^2]}{3v_{\text{пр}}^2 E_{\text{п}}} \right)^2 - \right. \\ & \left. - 4 \left( g^2 \rho_{\text{ст}}^2 l_{\text{пр}}^2 + n_{\text{пр}}^2 k_{\text{см}}^2 h_{\text{пр}}^2 \right) k_{\text{см}}^2 h_{\text{пр}}^2 l_{\text{пр}}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \times \\ & \times \left( g^2 \rho_{\text{ст}}^2 l_{\text{пр}}^2 + n_{\text{пр}}^2 k_{\text{см}}^2 h_{\text{пр}}^2 \right)^{-1}, \quad (12) \end{aligned}$$

где  $k_{\text{см}}$  – коэффициент объемного смятия почвы, Н/см<sup>3</sup>;

$n_{\text{пр}}$  – количество прутков, шт;

$v_{\text{пр}}$  – скорость прутка в момент удара, м/с;

$[\sigma_{\text{ст}}]$  – допустимое напряжение, Па;

$E_{\text{п}}$  – модуль упругости прутка (модуль Юнга), Па.

Диск с прутками совершает плоскопараллельное движение, значит в момент удара скорость прутка

$$v_{\text{пр}} = \sqrt{v_{\text{кпр}}^2 + v_{\text{к}}^2 - 2v_{\text{к}} \cdot v_{\text{кпр}} \cdot \sin \alpha_{\text{пр}}}, \quad (13)$$

где  $v_{\text{кпр}}$  – скорость катковой приставки, м/с;

$v_{\text{к}}$  – окружная скорость прутка в точке удара, м/с;

$$v_{\text{к}} = \omega_{\text{п}} \cdot r_{\text{уст}}, \quad (14)$$

где  $\omega_{\text{п}}$  – угловая скорость прутка,  $\text{с}^{-1}$ .

На рисунке 2 приведен график зависимости допустимого диаметра прутка от его длины при условии, что  $k_{\text{см}} = 2 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^3$ ,  $\rho_{\text{ст}} = 7826 \text{ кг/м}^3$ ;  $E_{\text{п}} = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}$  [11-13].

Из приведенного графика видно, что с увеличением длины прутка его допустимый диаметр также увеличивается. На диске обычно устанавливается от 48 до 60 прутков, количество которых определяется его конструктивными параметрами и находится по формуле

$$n_{\text{пр}} = \frac{\pi D_{\text{д}}}{l} = \frac{\pi D_{\text{д}}}{d_{\text{пр}} + l_{\text{мп}}} \quad (15)$$

Применение прутков с большей длиной приводит к увеличению массы катка, следовательно, и массы катковой приставки (рис. 3), даже с учетом того, что увеличение длины прутка увеличивает расстояние между катками и сокращает их количество в секции катковой приставки.

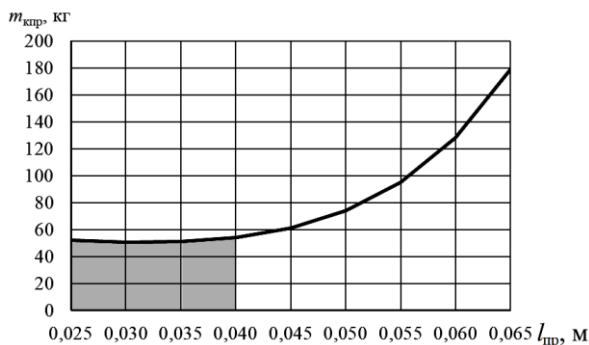


Рисунок 3. Графики зависимости массы катковой приставки  $m_{\text{кпр}}$  от длины прутка  $l_{\text{пр}}$  при соответствующем допустимом его диаметре  $[d_{\text{пр}}]$

С учетом формул (2) – (5) формула (1) примет вид

$$E = \frac{3m_{\text{кпр}} \cdot g}{4 \cdot b_{\text{пр}}} \sqrt{\frac{h_{\text{пр}}}{2r_{\text{уст}}}} \quad (16)$$

При условии, что длина прутка и его диаметр не влияют на коэффициент перекачивания, по формуле (16) с учетом формул (6) – (15) определим удельные затраты энергии на обработку почвы катковыми приставками с кольчато-прутковыми рабочими органами (рис. 4).

Из рисунке 4 видно, что наименьшие удельные энергетические затраты на обработку почвы катковой приставкой с кольчато-прутковыми рабочими органами достигаются при длине прутка  $l_{\text{пр}}$  в пределах от 0,025 до 0,040 м и их диаметре 0,02 м.

### Заключение

Получены зависимости, позволяющие определить удельные энергетические затраты на обработку почвы в зависимости от параметров приставок с кольчато-прутковыми рабочими органами (диаметр, длина и шаг прутков, диаметр диска, масса катка) и условий работы.

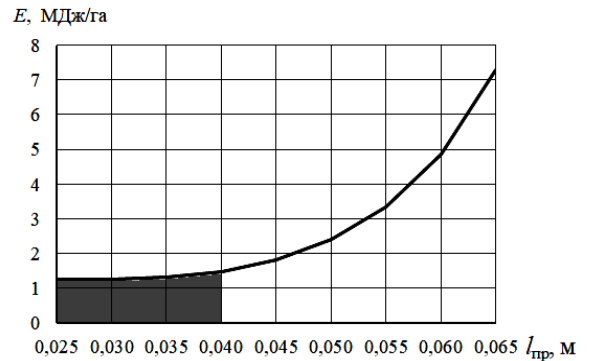


Рисунок 4. График зависимости удельных энергетических затрат на обработку почвы катковыми приставками с кольчато-прутковыми рабочими органами от длины прутка  $l_{\text{пр}}$  при соответствующем допустимом его диаметре  $[d_{\text{пр}}]$

Установлено, что наименьшие удельные энергетические затраты на обработку почвы катковой приставкой с кольчато-прутковыми рабочими органами достигаются при длине прутка  $l_{\text{пр}}$  в пределах от 0,025 до 0,040 м и диаметре 0,02 м.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проектирование катковых приставок для пахотных агрегатов. Рекомендации / И.С. Крук [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2017. – 104 с.
2. Назаров, Ф.И. Обоснование конструктивных и технологических параметров кольчато-прутковых катков / Ф.И. Назаров, И.С. Крук // Агропанорама. – 2019. – № 4. – С. 7-13.
3. Секция дискового почвообрабатывающего орудия: пат. 22430 Респ. Беларусь, МПК А 01В 21/08 / И.С. Крук, В.А. Агейчик, Ф.И. Назаров, Д.С. Мазур; заяв. Белор. гос. аграрн. технич. ун-т. – № а 20170226; заявл. 15.06.2017; опубл. 28.02.2019 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2019. – № 1. – С. 215.
4. Секция почвообрабатывающей дисковой бороны: пат. 22376 Респ. Беларусь, МПК А 01В 21/08 / И.С. Крук, В.А. Агейчик, Ф.И. Назаров, Д.С. Мазур; заяв. Белор. гос. аграрн. технич. ун-т. – № а 20170225; заявл. 15.06.2017; опубл. 28.02.2019 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2019. – № 1. – С. 215.
5. Ерзамаев, М.П. Повышение эффективности вспашки разработкой и применением способа ярусной обработки почвы и комбинированного плуга: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / М.П. Ерзамаев; Самарская ГСХА. – Пенза, 2012. – 19 с.
6. Горячкин, В.П. Собрание сочинений: в 3 т. / В.П. Горячкин; ред. Н.Д. Лучинский. – М.: Колос, 1965. – Т. 1. – 720 с.
7. Аминов, С. Обоснование параметров уплотнительного катка к предпосевному орудью для хлопководства: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / С. Аминов. – Янгиль, 1988. – 160 с.

8. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н.И. Кленин, В.А. Сакун. – М.: Колос, 1994. – 751 с.

9. Кнаус, А.А. Совершенствование катка-выравнивателя для подготовки почвы к посеву: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.А. Кнаус. – Новосибирск, 1987. – 163 с.

10. Рожков, П.Н. Исследование процесса взаимодействия гладких катков с почвой и обоснование их формы: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / П.Н. Рожков; МИМСХ. – Харьков, 1975. – 27 с.

11. Прочностной расчет параметров уплотняющих элементов почвообрабатывающих кольчатопрутковых катков / И.С. Крук [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: сб. статей /

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; редкол.: П.П. Казакевич (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2018. – С. 55-62.

12. Кушнарев, А.С. Механико-технологические основы обработки почвы / А.С. Кушнарев, В.И. Кочев. – Киев: Урожай, 1989. – 139 с.

13. Панов, И.М. Физические основы механики почв / И.М. Панов, В.И. Ветехин. – К.: Феникс, 2008. – 266 с.

14. Прайс-лист на технику. Обработка почвы. Посев. Защита растений. – Введ. в действие 01.01.2015. – Alpen: LEMKEN GmbH&Co. KG, 2015. – 436 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 02.02.2021

УДК 629.366.032

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА ВЕДУЩИЕ КОЛЕСА ТРАКТОРА

Т.А. Варфоломеева,

ст. преподаватель каф. тракторов и автомобилей БГАТУ

*В статье предложена методика анализа вертикальной нагрузки между мостами в зависимости от конструктивных параметров и эксплуатационных факторов трактора.*

*Ключевые слова: трактор, кинематика, вертикальная нагрузка, планетарный редуктор, силы.*

*A method for calculating the vertical load between axles depending on the design parameters and operational factors of a tractor is presented in the article.*

*Keywords: tractor, kinematics, vertical load, planetary gear, forces.*

### Введение

Анализ эксплуатации современных колесных тракторов в составе машинно-тракторного агрегата в хозяйствах Беларуси позволяет сделать вывод о том, что тенденция наращивания доли использования колесных полноприводных тракторов с высоким отношением мощности двигателя к массе трактора продолжает сохраняться [1].

Для сельскохозяйственного машиностроения весьма актуально при выполнении полевых работ решение проблемы повышения тягово-сцепных свойств тракторов, предотвращения переуплотнения почв в результате воздействия мобильных средств. Необходимо разрабатывать и применять способы и меры по снижению уплотняющего возделывания трактора на почву [2]. Этому должны способствовать расчетные методы исследуемых процессов на основе теоретических зависимостей и алгоритмов взаимодействия ходовых систем, снабженных пневматическими шинами с деформируемыми основаниями.

Величина вертикальной нагрузки на колеса трактора в наибольшей степени влияет на эксплуатационные качества машинно-тракторного агрегата при движении. Применение планетарных редукторов в конечных передачах заднего моста колесного тракто-

ра вызывает при выполнении технологических операций перераспределение вертикальной нагрузки между задним и передним мостами трактора.

Точность расчетных формул зависит от выбора определяющих уравнений, моделирующих закономерности движения звеньев и узлов трактора.

Условия качения колеса определяются, с одной стороны, его движением по поверхности, а с другой – взаимодействием с корпусом трактора и силовой передачей. При этом передается момент, приложенный к ступице ведущего колеса, и момент, действующий на остов трактора, который при расчете взаимодействия ведущего колеса с опорной поверхностью не учитывается.

Цель настоящей работы – разработать методику анализа вертикальной нагрузки на колеса трактора между передним и задним мостами в зависимости от конструктивных параметров и эксплуатационных факторов трактора «БЕЛАРУС» тяговых классов 3 и 5.

### Основная часть

При движении трактора происходит перераспределение реакций грунта на передние и задние колеса. Степень перераспределения определяет управляемость трактора. Уменьшение нагрузки на передние колеса отрицательно сказывается на продольной