

УДК 631.312

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАТКОВЫХ ПРИСТАВОК С КОЛЬЧАТО-ПРУТКОВЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИХ УСТАНОВКИ НА РАМЕ ОБОРОТНЫХ ПЛУГОВ

Ф.И. Назаров,

ассистент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

*В статье рассмотрены вопросы совмещения основной и поверхностной обработки почвы. Приведена методика проектирования катковых приставок с кольчато-прутковыми рабочими органами, разработанная на основании теоретических и экспериментальных исследований. Представлены результаты испытаний и экономическая оценка применения катковых приставок с оборотным плугом ПО-(8+4)-40.*

*Ключевые слова: основная обработка почвы, поверхностная обработка, оборотный плуг, катковая приставка, кольчато-прутковый рабочий орган.*

*The article considers the issues of combining the main and surface tillage. The technique of designing roller accessories with annular-bar working bodies, developed on the basis of theoretical and experimental studies, is given. The results of the tests and the economic evaluation of the use of roller accessories with reversible software plow (8 + 4) -40 are presented.*

*Keywords: main tillage, surface treatment, reversible plow, roller set-top box, annular rod tool.*

### Введение

Основным условием повышения экономической эффективности аграрной отрасли является наращивание производства сельскохозяйственной продукции при снижении удельных затрат на всех его этапах. В Республике Беларусь в последнее десятилетие наблюдается устойчивый рост урожайности возделываемых культур. И это результат проявления в первую очередь таких факторов, как повышение доз и обеспечение требуемого качества вносимых органических, минеральных удобрений и средств защиты растений, качества семенного фонда, обработки почвы и посева. Однако себестоимость производимой продукции все еще остается высокой, что снижает ее конкурентоспособность в рыночных условиях и прибыльность хозяйств [1]. Одной из основных причин сложившейся ситуации являются преобладающие традиционные отвальные многооперационные системы земледелия, требующие больших затрат на выполнение механизированных работ и наличия большого количества техники [1].

С целью улучшения качества основной обработки почвы и снижения энергетических затрат на последующие технологические операции, в конструкциях пахотных агрегатов применяются различные дополнительные устройства и орудия для поверхностной обработки почвенных пластов. Комбинированные пахотные агрегаты обеспечивают оборот пласта, а также крошение, рыхление, выравнивание и уплотнение его верхнего слоя и уничтожение сорняков. При этом происходит разрушение и предотвращение образования глыб, более тесное размещение почвенных агрегатов, увеличение капиллярной пори-

стости, создается более однородное состояние обрабатываемого слоя и частичное выравнивание поверхности почвы. Дополнительные устройства, применяемые в пахотных агрегатах для поверхностной обработки, в отечественной и зарубежной литературе принято называть приставками, которые по способу установки на пахотном агрегате бывают навесные – на переднюю навеску трактора (рис. 1а), на раму плуга (рис. 1б) и прицепные (рис. 1в).

Возможны следующие варианты совмещения технологических операций: вспашка-боронование (рис. 2а); вспашка-дискование (рис. 2б); вспашка-прикатывание (рис. 2в, г).

Комбинированный агрегат, содержащий зубовые бороны (рис. 2а), используется для обработки легких и средних почв. Плуг подрезает и оборачивает пласт почвы, а зубовые бороны крошат верхний слой и частично выравнивают гребнистую и глыбистую поверхность пашни. Зубовые бороны рыхлят не уплотняя верхний слой почвы, и не обеспечивают качественную разделку грунта тяжелого механического состава. Для обработки почв на склонах эффективным является использование приспособления со сферическими дисками (рис. 2б). Эффективным также является использование тандема катков: выравнивающего и установленного следом за ним уплотняющего (рис. 2в).

Комбинированный пахотный агрегат с приспособлением (рис. 2г) позволяет выравнивать поверхность поля с уплотнением верхнего слоя. При движении комбинированного агрегата плуг подрезает и оборачивает пласт почвы. Волокуша, вследствие установки под углом к движению агрегата, создает перемещение почвы вдоль ее полки, что обеспечивает

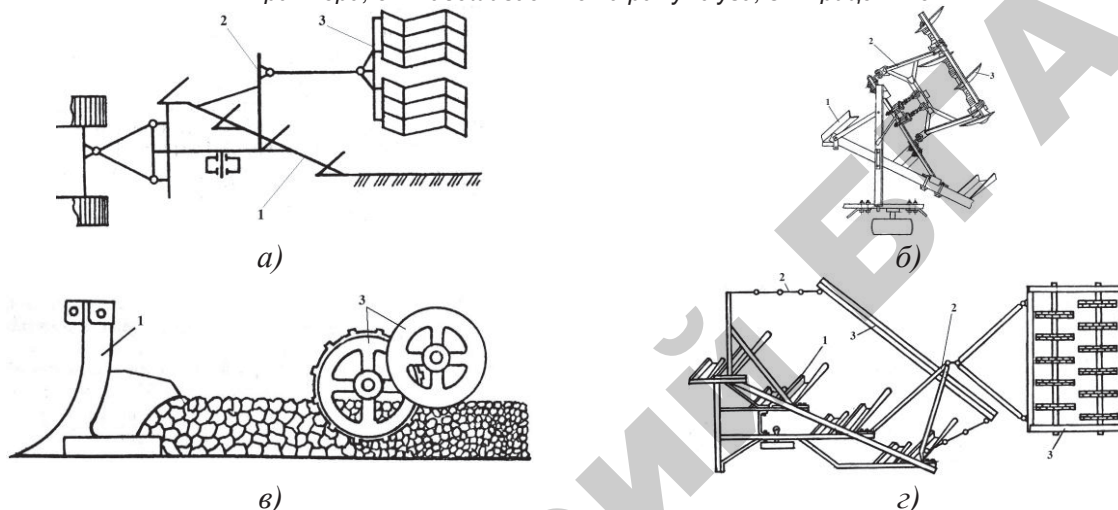


а)

б)

в)

Рис. 1. Способы установки катковых приставок на пахотных агрегатах: а – навешиваемые спереди трактора; б – навешиваемые на раму плуга; в – прицепные



а)

б)

в)

г)

Рис. 2. Схемы приспособлений для поверхностной обработки почвенного пласта в конструкциях пахотных агрегатов: а – зубчатые бороны; б – секция дисковой бороны; в, г – катковые приставки; 1 – плуг; 2 – прицепное устройство; 3 – дополнительное приспособление

заполнение бороздок между гребнями, частичное разрушение непрочных комков и выравнивание поверхности. Установленные следом катки разрушают почвенные комки и уплотняют верхний слой почвы [1-3].

Уплотняющая способность катка зависит от его массы, диаметра и ширины захвата. Катки малого диаметра уплотняют верхний слой, а большого диаметра – более равномерно уплотняют пахотный слой по глубине. Рабочая поверхность данных рабочих органов разнообразна и предназначена для выполнения различных функций. По форме поверхности можно выделить кольчато-шпоровые, кольчато-зубчатые, гладкие, кольчатые, борончатые и прутковые катки. Дополнительные устройства к пахотным агрегатам должны обеспечивать крошение, уплотнение, рыхление и выравнивание поверхностного слоя почвы. При обработке такой эффект можно получить применяя катки с кольчато-прутковыми рабочими органами.

Следует отметить, что даже распространенные приспособления не обеспечивают одинаковую обработку одних и тех же почв при различных климатических условиях, не говоря уже о различных типах – легкой и тяжелой. Значит, одним из основных требований к проектированию конструкций и рабочих органов почвообрабатывающих приспособлений к па-

хотным агрегатам является обеспечение требуемого качества обработки различных почв, вне зависимости от климатических условий.

Цель данной работы – повышение эффективности основной обработки почвы оборотными плугами с катковыми приставками с кольчато-прутковыми рабочими органами.

### Основная часть

Общие вопросы взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и проектирования рабочих поверхностей представлены в работах В.П. Горячкина [4], Г.Н. Синеокова [5], В.И. Корешкова [6]. Исследованию процесса взаимодействия различных типов катков с почвой посвящены труды В.А. Желиговского [7], С.С. Саакяна [8], М.Н. Летошнева [9], В.В. Кацыгина [10, 11], В.А. Новичихина [12], С.Ф. Тряпичкина [13], В.И. Скорика [14] В.П. Мармалюкова [15], З.И. Избасаровой [16], В.В. Голубева [17], Ю.А. Виноградова [18]. Вопрос совмещения основной и поверхностной обработки с применением прицепных дополнительных устройств рассматривается в работах М.Е. Мацепуро, С.Г. Бабаева [19] и Ю.И. Кузнецова [20]. Однако вопрос эффективного использования дополнительных почвообрабатываю-

щих орудий к оборотным плугам отечественной наукой до конца не решен.

Рассмотрим случай установки приставки на раму плуга, то есть при догрузке помимо собственного веса катка, будут использоваться силы, действующие на плуг. Силы, действующие на комбинированный пахотный агрегат в плоскости  $zOy$ , показаны на рис. 3.

$$R_{плз} + G_{пл} + G_{пр} = Q_z + N_{пр}, \quad (1)$$

где  $R_{плз}$  – составляющая силы  $R$ , действующей, соответственно, в вертикальной плоскости на плуг со стороны почвенного пласта, Н;

$G_{пл}$  – вес плуга, Н;

$G_{пр}$  – сила давления приставки на почву, Н;

$Q_z$  – сила противодействия почвы внедрению опорного колеса, Н;

$N_{пр}$  – сила противодействия почвы внедрения приставки, Н.

Сила давления приставки на почву  $G_{пр}$  складывается из двух сил

$$G_{пр} = P_{пр} + F_d, \quad (2)$$

где  $P_{пр}$  – вес катка, Н;

$F_d$  – сила догрузки, Н.

Перед началом работы устанавливается глубина обработки приставки  $h_{пр}$ . Если для обеспечения заданной глубины обработки хватает собственного веса катка  $P_{пр}$ , то силам  $R_{плз}$  и  $G_{пл}$  противодействует сила  $Q_z$ , а сила  $F_d$  стремится к 0. Если силы давления приставки  $G_{пр}$  недостаточно для обеспечения глубины обработки, догрузка происходит за счет сил  $R_z$  и  $G$ .

Сила  $R_{плз}$  находится по формуле [5, 6]

$$R_{плз} \approx 0,25R_{плх}, \quad (3)$$

где  $R_{плх}$  – горизонтальная составляющая силы  $R$ .

Горизонтальная составляющая силы  $R$  определяется по формуле [5, 6]

$$R_{плх} = k_{поч} ab, \quad (4)$$

где  $k_{поч}$  – удельное сопротивление почвы,  $\text{Н}\cdot\text{м}^{-2}$ ;

$a$  – глубина вспашки, м;

$b$  – ширина захвата корпуса плуга, м.

Силу противодействия почвы внедрения при-

ставки  $N_{пр}$  с кольчато-прутковыми рабочими органами найдем из формулы

$$N_{пр} = n_{п} \frac{\pi k_{см} l_{п} d_{п} h_{п}}{2}, \quad (5)$$

где  $k_{см}$  – коэффициент объемного смятия, учитывающий свойства почвы,  $\text{Н}/\text{м}^3$ ;

$h_{п}$  – элементарное значение заглубления прутка в почву, м;

$l_{п}$  – длина прутка, м;

$n_{п}$  – количество прутков одновременно уплотняющих почву прутков, шт;

$d_{п}$  – диаметр прутка, м.

Подставив результаты из формул (2)–(5) в формулу (1), получим

$$F_d = Q_z - 0,25k_{поч} ab - G_{пл} - P_{пр} + n_{п} \frac{\pi k_{см} l_{п} d_{п} h_{п}}{2} \quad (6)$$

Если в формуле (6) принять  $Q_z=0$ , то можно определить допустимое значение силы догрузки приставки, при котором не ухудшается качество основной обработки почвы. Формула примет вид:

$$F_d = n_{п} \frac{\pi k_{см} l_{п} d_{п} h_{п}}{2} - 0,25k_{поч} ab - G_{пл} - P_{пр} \quad (7)$$

Зависимость (7) показывает, что на величину догружающей силы оказывают влияние геометрические параметры приставки, ее вес и состояние почвы.

Анализ конструкций уплотняющих элементов показал, что наиболее эффективно при уплотнении и внедрении себя показывает пруток. При этом на прутках меньшего диаметра быстрее формируется уплотненное ядро.

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

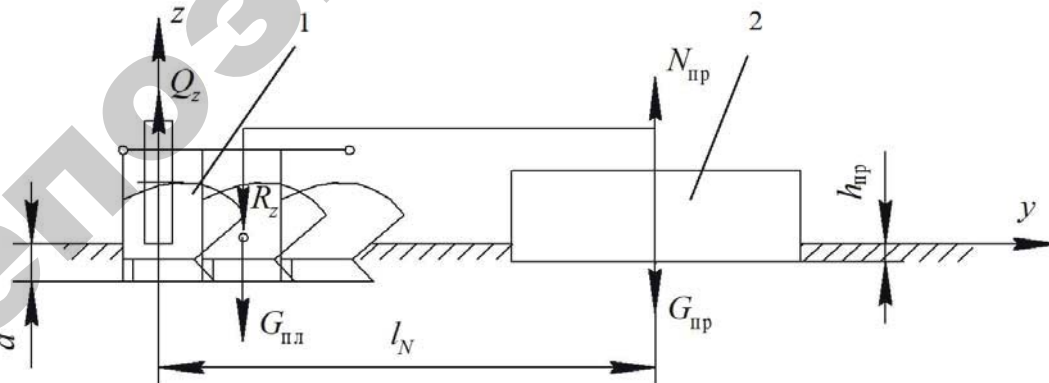


Рис. 3. Схема сил, действующих на комбинированный пахотный агрегат, состоящий из плуга (1) и приставки (2)

$$[d_{\text{п}}] = \left( 2k_{\text{см}} h_{\text{п}} g \rho_{\text{ст}} l_{\text{п}}^2 + \frac{l_{\text{п}}^2 \cdot g n_{\text{п}} k_{\text{см}} h_{\text{п}}}{3v_{\text{пр}}^2 E_{\text{п}}} [\sigma_{\text{ст}}^2] \right) \pm \pm \left( \left( 2k_{\text{см}} h_{\text{п}} g \rho_{\text{ст}} l_{\text{п}}^2 + \frac{l_{\text{п}}^2 \cdot g n_{\text{п}} k_{\text{см}} h_{\text{п}}}{3v_{\text{пр}}^2 E_{\text{п}}} [\sigma_{\text{ст}}^2] \right)^2 - 4 \left( g^2 \rho_{\text{ст}}^2 l_{\text{п}}^2 + n_{\text{п}}^2 k_{\text{см}}^2 h_{\text{п}}^2 \right) k_{\text{см}}^2 h_{\text{п}}^2 l_{\text{п}}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \times \times \left( g^2 \rho_{\text{ст}}^2 l_{\text{п}}^2 + n_{\text{п}}^2 k_{\text{см}}^2 h_{\text{п}}^2 \right)^{-1}, \quad (8)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  
 $\rho_{\text{ст}}$  – плотность материала прутка, кг/м<sup>3</sup>;  
 $v_{\text{пр}}$  – скорость прутка в момент удара, м/с;  
 $[\sigma_{\text{ст}}]$  – допустимое напряжение, Па;  
 $E_{\text{п}}$  – модуль упругости прутка (модуль Юнга), Па.

На рис. 4 показан график, определяющий зависимость допустимого диаметра прутка от его длины.

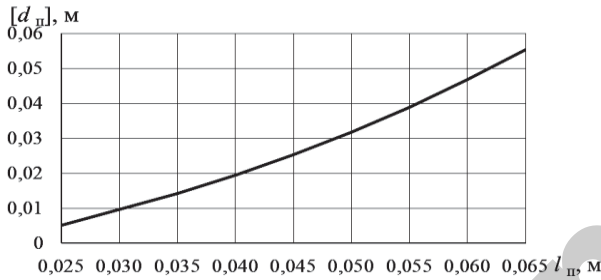


Рис. 4. Зависимость допустимого диаметра прутка  $[d_{\text{п}}]$  от его длины  $l_{\text{п}}$

Из приведенного графика очевидно, что с ростом длины прутка его допустимый диаметр увеличивается. На диске обычно устанавливается от 48 до 60 прутков, количество которых определяется его конструктивными параметрами. Применение прутков с большей длиной приводит к увеличению их массы, а следовательно и массы катка (рис. 5). Однако при увеличении длины прутка, увеличивается расстояние между катками, и их количество в секции катковой приставки с установленной шириной

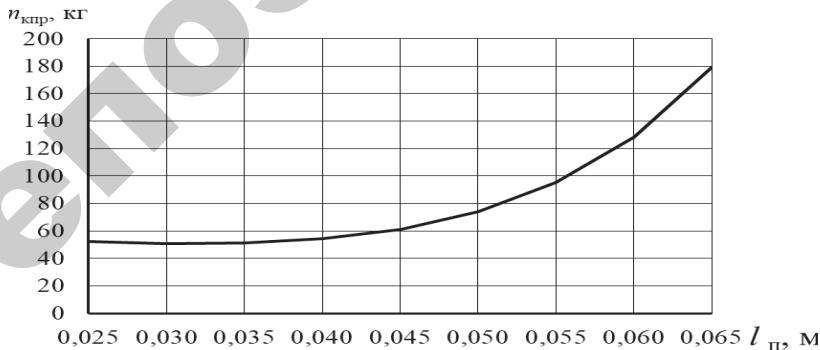


Рис. 5. Зависимость массы катковой приставки  $m_{\text{кпр}}$  от длины прутка  $l_{\text{п}}$  при соответствующем допустимом его диаметре  $[d_{\text{п}}]$ .

захвата может быть сокращено без снижения качества выполнения технологического процесса.

Из представленного графика видно, что, с точки зрения надежности и наименьшей металлоемкости приставки, оптимальная длина прутка – до 0,040 м. Данной длине прутка соответствует диаметр 0,02 м.

Оптимальный шаг установки прутков на диск находим по формуле:

$$l = \frac{2h_1 - d_{\text{пр}} \cdot \cos \varphi_2 + d_{\text{пр}} \cdot \sin \varphi_2 \cdot \text{ctg} \varphi_1}{\text{ctg} \varphi_1}, \quad (9)$$

где  $h_1$  – глубина перекрытия уплотнений, м;  
 $\varphi_1$  – угол внутреннего трения;  
 $\varphi_2$  – угол внешнего трения.

Расстояние между дисками найдем по формуле:

$$L_{\text{пр}} = 2l_{\text{п}} + l \quad (10)$$

Найдем диаметр диска, на котором будут установлены прутки

$$r_{\text{уст}} = \frac{l^2}{d_{\text{п}}}. \quad (11)$$

Возникающую в почве деформацию при внедрении катковой приставки найдем по формуле:

$$e = \frac{3 \cos^2 \alpha_{\text{м}}}{2 \pi R_{\text{м}}^2} \left( \frac{F_{\text{п}}}{E} + \frac{F_{\text{п}}}{k_{\text{с}}} - \frac{k_{\text{п}} \dot{F}_{\text{п}}}{k_{\text{с}}^2} \right) - \frac{k_{\text{пл}}}{k_{\text{с}}}, \quad (12)$$

где  $F_{\text{п}}$  – сила, необходимая для заглупления прутка в почву, Н;

$R_{\text{м}}$  – расстояние от точки приложения силы  $F_{\text{п}}$  на поверхности почвенного полупространства до рассматриваемой точки, м;

$\alpha_{\text{м}}$  – угол между линией действия силы  $F_{\text{п}}$  и расстоянием  $R_{\text{м}}$ , град;

$E$  – модуль упругости почвы, Па;

$k_{\text{пл}}$ ,  $k_{\text{с}}$ ,  $k_{\text{п}}$  – соответственно коэффициенты пластичности, упрочнения, вязкости.

Величина данной деформации характеризует процессы, происходящие при обработке почвы в зависимости от глубины, состояния почвы и веса приставки, который определяется геометрическими параметрами и материалом изготовления ее рабочих органов.

При этом усилии, необходимое на заглупление прутка в почву, определим по формуле:

$$F_{\text{п}} = \frac{\pi k_{\text{см}} l d_{\text{п}} h_{\text{п}}}{2}. \quad (13)$$

При установке приставки, минимальное плечо будет зависеть от дальности отбрасывания почвенного пласта корпусом плуга.

Рассмотрим силы, действующие на плуг с приставками, навешивае-

мыми на раму полунавесного плуга (рис. 6). Запишем для данного случая уравнения моментов сил, действующих на пахотный агрегат в горизонтальной плоскости относительно точки присоединения плуга.

$$\sum_{i=1}^n M_O(F_k)_i = 0;$$

$$-R_{пр}(B_{пр1} + B_{пр2}) - \sum_{i=1}^n R_{плху} b_{плн} + Q_x B_k = 0, \quad (14)$$

где  $R_{пр}$  – тяговое сопротивление катка, Н;  
 $R_{плху}$  – составляющие силы  $R$ , действующей в горизонтальной плоскости  $xOy$  на плуг со стороны почвенного пласта, Н;

$Q_x$  – сила противодействия почвы движению опорного колеса, Н;

$b_{плн}$  – соответствующие плечи сил  $R_{плху}$  относительно точки  $O$ ;

$B_{пр1}$  и  $B_{пр2}$  – плечи сил тягового сопротивления катков  $R_{прx1}$  и  $R_{прx2}$  относительно точки  $O$ ;

$B_k$  – плечо силы  $Q_x$  относительно точки  $O$ .

Для данного случая уравнение моментов сил,

действующих на пахотный агрегат в вертикальной плоскости относительно точки опоры заднего колеса, примет следующий вид:

$$\sum_{i=1}^n M_O(F_k)_i = 0;$$

$$-N_{п}(L + a_{п}) + G_{тр} a_{ц.т.} + N_{к} a_{к} + \sum_{i=1}^n R_{плz} l_{2n} +$$

$$+ \sum_{i=1}^n R_{плx} h_{5n} + N_{пр}(l_{пр1} + l_{пр2}) + 2R_{прx} h_5 -$$

$$-G_{пл} l_1 + Q_z l_3 - Q_x h_4 = 0, \quad (15)$$

где  $G_{тр}$  – вес трактора, Н;

$N_{п}$  – реакция передних колес трактора, Н;

$N_{к}$  – реакция задних колес трактора, Н;

$R_{плx}$  – составляющая силы  $R$ , действующей в горизонтальной плоскости на плуг со стороны почвенного пласта, Н;

$Q_x$  – сила противодействия почвы движению опорного колеса, Н.

Анализ зависимостей (14)

и (15) показывает, что при работе плуга с навесной приставкой возникающий момент

$\sum_{i=1}^n R_{прi} B_{прi}$  совпадает по

направлению с моментом тягового сопротивления плуга, что приводит к увеличению угла между линией действия силы тяги и линией движения центра агрегата. При этом возрастает давление полевых досок на стенку борозды, а, следовательно, и силы трения, что увеличивает необходимую силу тяги для работы плуга. Это приводит к повышению энергоемкости процесса обработки и увеличению износа полевых досок. Для уменьшения возникающих моментов сил сопротивления катковых приставок необходимо сократить их плечо, приблизив к корпусам плугов.

Дальность отбрасывания почвенного пласта отвалов определяется скоростью движения агрегата, типом и параметрами отвала, размерами и состоянием пласта и другими факторами. Определить ее можно по формуле:

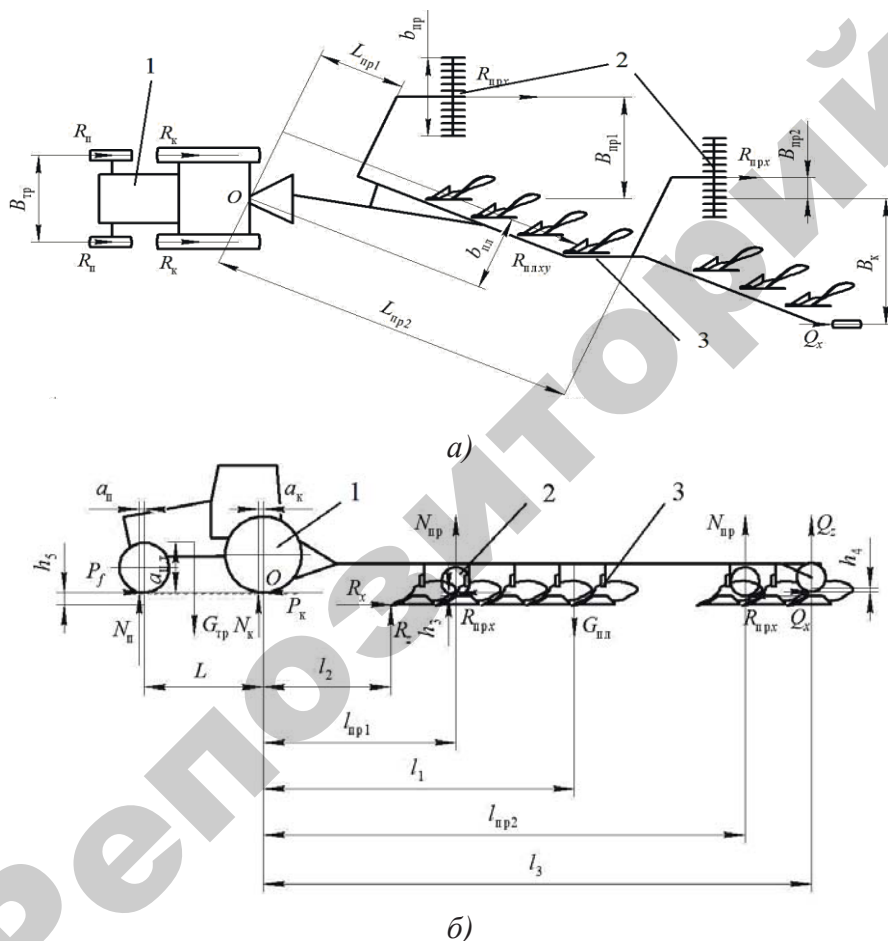


Рис. 6. Схема сил, действующих на пахотный агрегат с закрепленными на раме плуга приставками: а) – в горизонтальной плоскости; б) – в вертикальной плоскости: 1 – трактор; 2 – приставка; 3 – плуг

$$\begin{cases} x_{пч} = \frac{v_{пБ} \sqrt{2gh_B}}{g} \cos \alpha_{п} \\ y_{пч} = \frac{v_{пБ} \sqrt{2gh_B}}{g} \cos \beta_{п}, \end{cases} \quad (16)$$

где  $v_{пБ}$  – скорость движения пласта на кромке отвала в момент времени  $t_1$ , м/с;

$h_B$  – расстояние от поверхности почвы до верхней кромки отвала, м;

$\alpha_{п}$  и  $\beta_{п}$  – углы наклона кромки отвала, град.

Значения, полученные по формуле (16), определяют место падения частиц почвы, находящихся в центре пласта, остальные частицы пласта будут находиться в пределах  $x_{пч} \pm \frac{a}{2}$  и  $y_{пч} \pm \frac{a}{2}$ .

Тогда минимальное расстояние установки навесной приставки, с учетом перемещения плуга во время полета почвенных частиц, находится по формулам:

$$\begin{cases} x_{пч} = \frac{v_{пБ} \sqrt{2gh_B}}{g} \cos \alpha_{п} + \frac{a}{2}, \\ y_{пч} = \frac{v_{пБ} \sqrt{2gh_B}}{g} \cos \beta_{п} + \frac{a}{2} + v_{п_0} t_2, \end{cases} \quad (17)$$

где  $v_{п_0}$  – скорость движения пласта почвы по лемеху, м/с;

$t_2$  – время полета частиц почвы, с.

Скорость движения пласта на кромке отвала в момент схода определяется по формуле:

$$v_{пБ} = \left( \left( \frac{\mu}{m_{п}} \right)^2 + \frac{g}{r_{ц}} \right)^{\frac{1}{2}} e^{\frac{\sqrt{\left( \frac{\mu}{m_{п}} \right)^2 + \frac{g}{r_{ц}}}}{2} t_1} \left( \left( \frac{F_T}{m_{п}} - g + \frac{v_{п_0}}{2} \left( -\frac{\mu}{m_{п}} + \sqrt{\left( \frac{\mu}{m_{п}} \right)^2 + \frac{g}{r_{ц}}} \right) \right) e^{-\frac{\mu}{2m_{п}} t_1} + \left( g - \frac{F_T}{gm_{п}} + \frac{v_{п_0}}{2} \left( \frac{\mu}{m_{п}} + \sqrt{\left( \frac{\mu}{m_{п}} \right)^2 + \frac{g}{r_{ц}}} \right) \right) \right), \quad (18)$$

где  $F_T$  – сила тяги плуга, Н;

$m_{п}$  – масса пласта, кг;

$\mu$  – коэффициент сопротивления, Н·с/м;

$r_{ц}$  – радиус кривизны отвала, м;

$t_1$  – время движения почвы по корпусу плуга, с.

Время движение почвы по корпусу плуга будет равно:

$$t_1 = \frac{s + 4r_{ц} \left( 1 - \frac{F_T}{m_{п}g} \right) - v_{п_0} \sqrt{\left( \frac{\mu}{m_{п}} \right)^2 + \frac{g}{r_{ц}}}}{v_{п_0}}, \quad (19)$$

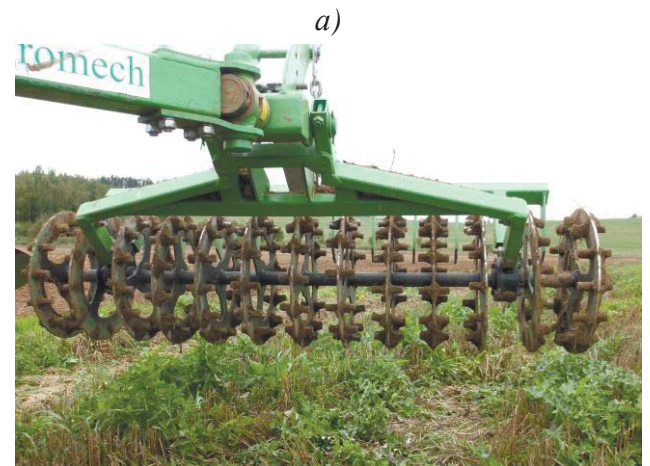
где  $s$  – путь, пройденный пластом почвы за время  $t_1$ , м.

Время полета частиц почвы находим по формуле:

$$t_2 = \frac{v_{пБ} \cos \gamma_{п} \pm \sqrt{v_{пБ}^2 \cos^2 \gamma_{п} + 2gh_B}}{g}, \quad (20)$$

где  $\gamma_{п}$  – угол наклона кромки отвала, град.

Данные формулы позволяют разработать методику определения основных конструктивных и технологических параметров катковых приставок с кольчато-прутковыми рабочими органами. На основании данной методики, для плуга ПО-(8+4)-40 были разработаны и изготовлены на Минойтовском ремонтном заводе три катковые приставки с кольчато-прутковыми рабочими органами (рис. 7). Каждая



**Рис. 7. Плуг ПО-(8+4)-40 с тремя катковыми приставками (кольчато-прутковые катки) в транспортном (а) и рабочем (б) положениях**

приставка состояла из следующих основных узлов: несущей балки, кольчато-прутковых рабочих органов, рамы, кронштейнов крепления приспособления к плугу, механизма регулировки глубины обработки

почвы. Перевод из рабочего положения в транспортное осуществляется с помощью шарнирного механизма, обеспечивающего горизонтальное положение рабочего органа, как в работе, так и при транспортных переездах.

Испытания плуга с приставками проводились в КУП «Минская овощная фабрика» (рис. 8) и ДП «Минойтовский ремонтный завод».

Результаты испытаний плуга ПО-(8+4)-40 показали, что применение приставок улучшает крошение пласта (количество фракции размером до 50 мм повысилось на 2,8 %), уплотнение почвы (в слое 5-10 см плотность повысилась на 0,16 г/см<sup>3</sup>) и выравненность поверхности (высота гребней сократилась на 1 см) (рис. 8). При этом наблюдается снижение производи-



Рис. 8. Плуг ПО-(8+4)-40 с приставками в процессе работы

тельности на 0,14 га/ч (это связано с падением рабочей скорости на 0,1 км/ч), повышение удельных затрат топлива на 0,2 кг/га [22].

Для оценки основных технико-экономических показателей возделывания озимой пшеницы были составлены две технологические карты на основную обработку почвы для плуга ПО-(8+4)-40 без приставок и с приставками.

Совмещение операций основной и поверхностной обработки почвы исключает из технологического процесса промежуточную культивацию. Результаты расчета сравнительной экономической эффективности показали, что, благодаря этому, затраты труда снижаются на 34,7 %, а расход топлива – на 17,44 %. При этом срок окупаемости абсолютных капитальных вложений составил 2,94 года. Годовой приведенный экономический эффект от применения приставок составил 4208,4 руб.

На основании обзора зарубежных и отечественных аналогов для экономической оценки, в качестве аналога был принят плуг ЕвроТитан 10 (8+3+1) L100 с почвоуплотнителем ВариоПак S110WD70 фирмы Lemken [23]. Расчет сравнительной экономической эффективности показал, что применение плуга ПО-(8+4)-40 с приставками с трактором Беларус 4522С экономически более выгодно, чем его зарубежного аналога. При этом затраты труда и расход топлива, соответственно, снизились на 9,1 % и 9,2 %. Годовой

приведенный экономический эффект от применения пахотного агрегата составил 83867,4 руб.

### Заключение

Таким образом, предложенные зависимости позволяют на этапе проектирования, в зависимости от технических характеристик плуга и условий его работы, определить параметры приставок с кольчатопрутковыми рабочими органами (диаметр, длину и шаг прутков, диаметр диска, массу катка, величину силы догружения и положение приставки относительно корпуса плуга).

Применение плуга ПО-(8+4)-40 с катковыми приставками, разработанными с учетом представленных зависимостей, позволило улучшить крошение пласта (количество фракции размером до 50 мм повысилось на 2,8 %), уплотнение почвы (в слое 5-10 см плотность повысилась на 0,16 г/см<sup>3</sup>), выравненность поверхности (высота гребней сократилась на 1 см) и обеспечить проведение последующего сева озимых культур комбинированным почвообрабатывающим посевным агрегатом без проведения промежуточной культивации. При этом затраты труда снижаются на 34,7 %, а расход топлива – на 17,44 %. Срок окупаемости абсолютных капитальных вложений составил 2,94 года. Экономический эффект от применения разработанных приставок с плугом ПО-(8+4)-40 в технологии предпосевной обработки составляет 4208,4 руб.

Ожидаемый годовой экономический эффект от использования плуга ПО-(8+4)-40 с катковыми приставками в сравнении с зарубежным аналогом ЕвроТитан 10 (8+3+1) L 100 с приставками ВариоПак S110WD70 составляет 83867,4 руб.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковчик, С.Г. Перспективные направления создания инновационной сельскохозяйственной техники в Республике Беларусь / С.Г. Яковчик, Н.Г. Бакач, Ю.Л. Салапура, Э.В. Дыба // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2018. – Вып. 51. – С. 3-9.
2. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г.Е. Листопад [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1986. – 687 с.
3. Сельскохозяйственные машины / А.В. Ключков [и др.]; под ред. Р.Я. Лифшиц. – Минск: Ураджай, 1997. – 494 с.
4. Горячкин, В.П. Собрание сочинений [Текст]: в 3 т. / В.П. Горячкин; под ред. Н.Д. Лучинского. – М.: Колос, 1965. – Т. 2 – 459 С.
5. Синеоков, Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков. – М.: Машиностроение, 1965. – 312 с.
6. Клецкин, М.И. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / М.И. Клецкин. – М.: Машиностроение, 1967. – Т. 2. – 830 с.

7. Желиговский, В.А. Колея и механика качения колеса: сб. трудов по земледельческой механике / В.А. Желиговский. – М.: Сельхозиздат. – 1956. – Т. 1. – С. 419-450.
8. Саакян, С.С. Взаимодействие ведомого колеса и почвы / С.С. Саакян. – Ереван: Министерство сельского хозяйства Арм. ССР, 1959. – 65 с.
9. Летошнев, М.Н. Сельскохозяйственные машины / М.Н. Летошнев. – М.: Сельхозгиз, 1955. – 759 с.
10. Кацыгин, В.В. О закономерности сопротивления почв сжатию / В.В. Кацыгин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1962. – № 5. – С. 28-29.
11. Кацыгин, В.В. Основы теории выбора оптимальных параметров мобильных сельскохозяйственных машин и орудий / В.В. Кацыгин // Вопросы сельскохозяйственной механики. – М.: Сельхозгиз. – 1963. – Т. 12. – 215 с.
12. Новичихин, В.А. Деформация опорными поверхностями сжимаемой среды / В.А. Новичихин. – Минск: Высшая школа, 1964. – 137 с.
13. Тряпичкин, С.В. Исследование сельскохозяйственных катков на повышенных скоростях: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / С.В. Тряпичкин. – Омск, 1963. – 23 с.
14. Скорик, В.И. Исследование некоторых вопросов процесса взаимодействия гладких катков и почвы: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / В.И. Скорик; МИИСП. – М., 1965. – 19 с.
15. Мармалюков, В.П. Исследование процесса механизации предпосевной обработки почвы катком-выравнивателем в условиях нечерноземной зоны: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.П. Мармалюков. – Минск, 1980. – 196 с.
16. Избасарова, З.И. Обоснование конструктивно-технологических и режимных параметров спирального пневматического катка для уплотнения почв повышенной влажности: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / З.И. Избасарова; ФГОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет». – Оренбург, 2009. – 22 с.
17. Голубев, В.В. Обоснование параметров и режимов работы почвообрабатывающего катка для предпосевной обработки почвы под мелкосеменные культуры: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / В.В. Голубев; ФГОУ ВПО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия». – Тверь, 2004. – 20 с.
18. Виноградов, Ю.А. Обоснование параметров пруткового сетчато-зубового катка, используемого в технологическом процессе предпосевной обработки почвы: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Ю.А. Виноградов; МИИСП. – Москва, 1992 – 20 с.
19. Вопросы земледельческой механики: в 5 т. / Институт механизации и электрификации сельского хозяйства / М.Е. Мацепуро [и др.]. – Минск: Академия сельскохозяйственных наук БССР. – 1960. – Т. 5. – 320 с.
20. Кузнецов, Ю.И. Механико-технологическое обоснование и разработка комплексов комбинированных агрегатов для совмещения операций обработки почвы в системе интенсивного земледелия: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Ю.И. Кузнецов; ВИМ. – Москва, 1991. – 51 с.
21. Мацепуро, М.Е. Укатывание торфяно-болотных почв / М.Е. Мацепуро, В.А. Новичихин // Вопросы земледельческой механики: сб. науч. тр. – Минск, 1960. – Т. IV. – С. 78-96.
22. Приемочные испытания опытного плуга 12-корпусного оборотного ПО-(8+4)-40. Протокол № 093 Б 1/2-2016 ИЦ от 27 декабря 2016 года. – Привольный: ИЦ ГУ «Белорусская МИС», 2016. – 75 с.
23. Обработка почвы. Посев. Защита растений: прайс-лист на технику; введ. в действие 01.01.2015. – Alpen: LEMKEN GmbH&Co. KG. – 2015. – 436 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 22.01.2019

**“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.**

**Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).**

**Журнал выходит один раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842.**

**Стоимость подписки на 1-е полугодие 2019 года: для индивидуальных подписчиков - 19,77 руб., ведомственная подписка - 21,54 руб.**