

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ НА ПАХОТНЫЙ АГРЕГАТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РАЗДЕЛКИ ПОЧВЕННОГО ПЛАСТА

**Чеботарев В.**, д-р техн. наук, проф.,

<https://orcid.org/0000-0003-0873-9152>, e-mail: v.p.chebotarev@tut.by;

**Крук И.**, канд. тех. наук, доц.,

<https://orcid.org/0000-0002-0333-2065>, e-mail: kruk\_igar@mail.ru;

**Назаров Ф.**, канд. тех. наук,

<https://orcid.org/0000-0001-5946-8941>, e-mail: windor1989@gmail.com;

**Чигарев Ю.**, д-р ф.-м. наук, проф.,

<https://orcid.org/0000-0001-6529-9013>, e-mail: yuri.chigarev.44@bk.ru;

**Яновский Д.**,

<https://orcid.org/0000-0002-6195-9915>, e-mail: yanovskyd31@gmail.com.

Учреждение образования Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

### **Аннотация**

Статья посвящена вопросу проектирования дополнительных орудий для разделки и поверхностной обработки почвенных пластов к оборотным плугам.

**Целью работы** является определение параметров установки дополнительных устройств для разделки почвенного пласта на пахотный агрегат.

**Методы.** Теоретические и экспериментальные исследования процесса движения пласта почвы по лемешно-отвальной поверхности корпуса плуга и за ее пределами.

**Результаты.** Анализ движения частицы почвы, вылетающей с верхней кромки отвала корпуса плуга, позволил получить аналитические зависимости для определения дальности отбрасывания частиц почвенного пласта в зависимости от геометрических параметров рабочей поверхности корпуса плуга (расстояние от поверхности почвы до верхней кромки отвала, углы наклона кромки отвала) и кинематических параметров почвенного пласта (рабочая скорость движения агрегата, скорость движения пласта на кромке отвала, время полета частицы почвы).

Представлено исследование движения пласта почвы по лемешно-отвальной поверхности корпуса плуга. Сечение лемешно-отвальной поверхности корпуса плуга перпендикулярное лемеху описывается уравнением «перевернутой» циклоиды и для его получены зависимости позволяющие определить кинематические параметры движения пласта по рабочей поверхности корпуса плуга в зависимости от его типа и свойств почвы.

Полученные в статье зависимости позволяют на этапе проектирования катковых приставок к пахотным агрегатам определить параметры установки, при которых затраты энергии на процесс вспашки будут минимальны.

**Выводы.** Получены аналитические зависимости, определяющие кинематические и технологические параметры движения пласта почвы по рабочей поверхности плужного корпуса, сечение которой в ортогональной лемеху плоскости имеет вид «перевернутой» циклоиды, от переменных конструктивных и технологических параметров плуга и условий его работы, позволяющие обосновать расстояние установки катковой приставки относительно корпуса с учетом предложенного поправочного коэффициента, который зависит от физико-механических свойств почвы и ее гранулометрического состава.

**Ключевые слова:** вспашка, плуги, дополнительные устройства, катковые приставки, пласт, почва.

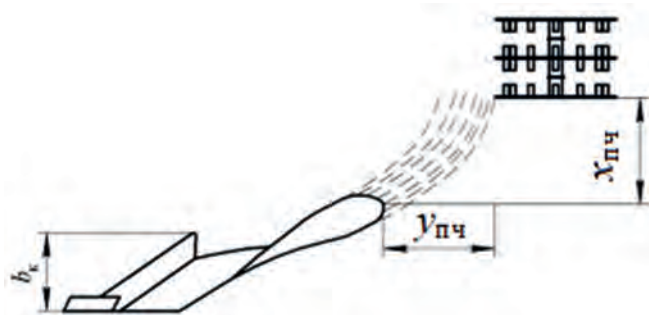
**Вступление.** Возделывание сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь ведется на площади порядка 5902 тыс. га, около 90,8 % которой используется сельскохозяйственными предприятиями. Под посев зерновых и зернобобовых культур сельскохозяйственными предприятиями в 2019 г. было выделено 2318 тыс. га, при этом их валовый сбор составил 6937,4 тыс. тонн при средней урожайности 30,4 ц/га [Сельское хозяйство Республики Беларусь, 2020; Яковчик, С.Г. и др., 2017, 2018].

Под посев озимых зерновых культур в 2019 году выделено 1292 тыс. га., что составляет 24,1 % от всех посевных площадей [Беларусь в цифрах, 2021]. При их возделывании в условиях республики основным приемом механической обработки является отвальная вспашка. Однако свежевспаханная почва не позволяет обеспечить качественный сев из-за их недостаточной плотности. В этой связи требуется время ожидания для проведения сева, что часто ведет к нарушению агросроков высева культур и, как следствие, потере будущего урожая. Для решения данной проблемы при проведении вспашки применяются плуги с различными устройствами для разделки и поверхностной обработки почвенных пластов, которые крошат, рыхлят и уплотняют верхний слой обернутого пласта. В литературе данные типы дополнительных устройств для поверхностной обработки и разделки почвенного пласта принято называть приставками. Наибольшее применение среди рабочих органов приставок нашли катки различных конструкций, выбор которых обусловлен требованиями к качеству основной обработки [И. С. Крук и др., 2017, В. Р. Торосян и др., 2018].

Испытания различных серийно выпускаемых катковых приставок показали, что их применение в пахотных агрегатах приводит к увеличению удельного расхода топлива в пределах от 3 % до 35 %, что обусловлено способам их установки, конструктивными и технологическими параметрами рабочих органов [И. С. Крук и

др., 2017]. При этом следует учитывать, что важным параметром установки, влияющим на энергоемкость процесса, является расстояние ( $x_{пч}$ ,  $y_{пч}$ ) между кромкой отвала корпуса плуга и рабочими органами катковой приставки (рисунок 1). Увеличение данного расстояния приводит к росту силы, стремящейся развернуть плуг в поперечной плоскости, что повышает давление на полевые доски, а, следовательно, приводит к росту затрат энергии на проведение вспашки и увеличивает износ рабочих органов.

Наименьшее расстояние установки катковых приставок определяется условием полного оседания частиц почвы, которым была передана энергия движения корпуса плуга до начала воздействия на почву дополнительных рабочих органов. Поэтому определение траектории движения частиц почвы по отвальной поверхности плуга и дальности их отбрасывания является одной из первоочередных задач.



**Рисунок 1** – Схема установки дополнительных почвообрабатывающих устройств относительно корпуса плуга

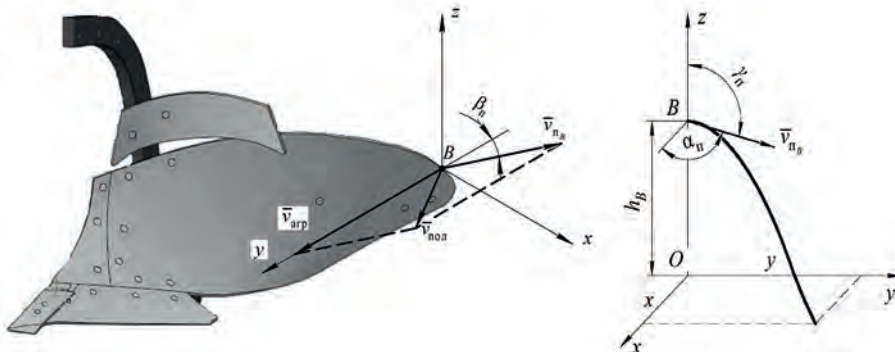
**Постановка задачи.** Для достижения поставленной цели необходимо решить следующую задачу: теоретически обосновать наименьшее расстояние установки катковых приставок относительно корпуса плуга в зависимости от конструктивных и технологических параметров, физико-механических свойств почвы.

**Методы и материалы.** Решение поставленной в работе задачи осуществлялось на основе применения общенаучных методов исследования. Теоретические исследования проводились на основе законов механики, математического анализа,

моделирования, а экспериментальные – на основе общепринятых и стандартных методов исследований, а также статистической обработки данных с использованием пакетов прикладных компьютерных программ и измерительной аппаратуры.

**Результаты.** Наименьшее расстояние установки катковых приставок при идеальных условиях должно совпадать с дальность отбрасывания частиц почвенного пласта отвалами – в этом случае давление на полевые доски будет минимально.

Пласт почвы на верхней кромке отвала разрушается [Kim, Y. S. и др., 2020, Vasilenko V. V. и др., 2021, Ranjbarian, S. и др, 2017]. Следовательно, для определения дальности отбрасывания пласта почвы необходимо рассматривать движение частиц почвы, вылетающих с верхней кромки отвала, которая движется в пространстве относительно неподвижной системы координат (рисунок 2). Полная скорость движения частиц  $v_{пол}$  почвенного пласта на кромке отвала зависит от скорости почвенного пласта  $v_{пв}$  в момент схождения с кромки отвала и скорости движения агрегата  $v_{агр}$ .



**Рисунок 2** – Схема траектории движения частиц почвенного пласта

Полет частиц почвы при отсутствии сил сопротивления воздуха можно описать уравнениями движения

$$\begin{cases} m_{пч} \ddot{x} = 0; \\ m_{пч} \ddot{y} = 0; \\ m_{пч} \ddot{z} = -m_{пч} g, \end{cases} \quad (1)$$

где  $m_{пч}$  – масса частицы почвы, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}$  – ускорения почвенной частицы вдоль осей  $x, y$  и  $z$  соответственно, м/с<sup>2</sup>.

После интегрирования и преобразований формул (1) получим

$$\begin{cases} x = v_{пол} t_2 \cos \alpha_n; \\ y = v_{пол} t_2 \cos \beta_n; \\ z = -0,5gt_2^2 + v_{пол} t_2 \cos \gamma_n + h_B, \end{cases} \quad (2)$$

где  $v_{пол}$  – полная скорость движения частиц почвенного пласта на кромке отвала, м/с;  $t_2$  – время полета частицы почвы, с;  $\alpha_n, \beta_n$  и  $\gamma_n$  – углы наклона кромки отвала, град;  $h_B$  – расстояние от поверхности почвы до верхней кромки отвала, м.

Время полета частиц почвы находим из третьего уравнения системы (2) при  $z = 0$ :

$$t_2 = \frac{v_{пол} \cos \gamma_n \pm \sqrt{v_{пол}^2 \cos^2 \gamma_n + 2gh_B}}{g}. \quad (3)$$

Решив систему уравнений (2) получим координаты ( $x_{пчс}; y_{пчс}$ ) места падения частицы почвы на поверхности поля.

$$\begin{cases} x_{пчс} = \frac{v_{пол} \sqrt{2gh_B}}{g} \cos \alpha_n; \\ y_{пчс} = \frac{v_{пол} \sqrt{2gh_B}}{g} \cos \beta_n. \end{cases} \quad (4)$$

Значения, полученные по формулам (4), определяют место падения частиц почвы, находящихся в центре пласта, остальные частицы пласта будут находиться в пределах  $x_{пчс} \pm \frac{a}{2}$  и  $y_{пчс} \pm \frac{a}{2}$ . Так же они учитывают перемещение плуга

вдоль оси  $y$  в момент полета почвенных частиц. С учетом данных уточнений минимальное расстояние установки навесной приставки, находится по формулам

$$\begin{cases} x_{пчс} = \frac{v_{пол} \sqrt{2gh_B}}{g} \cos \alpha_n + \frac{a}{2}; \\ y_{пчс} = \frac{v_{пол} \sqrt{2gh_B}}{g} \cos \beta_n + \frac{a}{2} + v_{агр} t_2, \end{cases} \quad (5)$$

где  $a$  – глубина вспашки, м;  $v_{арг}$  – рабочая скорость движения агрегата, м/с.

Система уравнений (5) показывает, что дальность отбрасывания частиц почвенного пласта зависит от геометрических параметров рабочей поверхности корпуса плуга ( $h_B, \alpha_n, \beta_n$ ) и кинематических параметров почвенного пласта ( $v_{арг}, v_{пол}, t_2$ ).

Полную начальную скорость  $v_{пол}$  движения почвенной частицы на основании рисунка 2 определим по формуле

$$v_{пол} = \sqrt{v_{арг}^2 + v_{пБ}^2 - 2v_{арг}v_{пБ} \cos \beta_n}, \quad (6)$$

где  $\beta_n$  – угол между вектором скорости  $v_{пБ}$  и осью  $y$ .

Из рисунка 2 видно, что на дальность полета частиц почвы относительно корпуса плуга вдоль оси  $x$  и  $z$  влияет только одна из составляющих полной скорости движения почвенной частицы –  $v_{пБ}$ , следовательно для наших условий справедливо равенство  $v_{пол} = v_{пБ}$ .

Скорость частиц почвенного пласта  $v_{пБ}$  в момент схождения с кромки отвала зависит от скорости движения агрегата, типов и параметров отвала, свойств почвы. Для ее нахождения нами рассмотрен процесс движения пласта почвы массой  $m_n$  на лемешно-отвальной поверхности. Сечение лемешно-отвальной поверхности корпуса плуга перпендикулярное лемеху опишем уравнением «перевернутой» циклоиды (рисунок 3). Свяжем точку почвенного пласта с подвижной системой координат ( $\tau, n$ ). Ось  $\tau$ – $\tau$  – касательная к циклоиде,  $n$ – $n$  – нормаль. Пласт движется вдоль касательной к траектории движения, которая в каждый момент времени меняет свое направление.

На элемент почвенного пласта будут действовать: сила тяжести  $G_n$ , сила трения  $F_{тр} = \mu s$  ( $\mu$  – коэффициент сопротивления, Н·с/м;  $s$  – скорость почвенного пласта, м/с),  $s = VM$  – путь, пройденный точкой  $M$  за время  $t_1$ , м), затрачиваемая на перемещение пласта по лемешно-отвальной поверхности сила  $F_\tau$  и центробежная сила инерции  $F_n^{ин} = -m_n \bar{a}_n$  ( $a_n$  – нормальное ускорение).

Уравнение движения пласта почвы от-

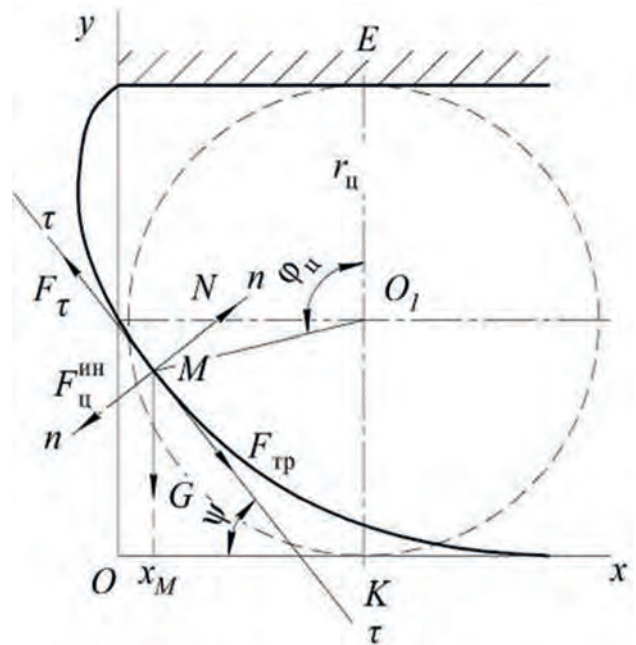


Рисунок 3 – Схема к определению кинематических параметров движения почвенного пласта

носительно оси  $\tau$ – $\tau$  примет вид

$$m_n \frac{d^2 s}{dt_1^2} = -m_n g \sin \psi - \mu \frac{ds}{dt_1} + F_\tau, \quad (7)$$

где  $\psi$  – угол наклона касательной, проведенной к циклоиде в точке  $M$ , к горизонту, град;  $m_n$  – масса пласта, кг.

Коэффициент сопротивления учитывает упруго-вязко-пластичные свойства. Для его определения нами предложена формула [И.С. Крук, 2017]

$$\mu = \eta \cdot b_{тр}, \quad (8)$$

где  $\eta$  – динамическая вязкость почвы, Па·с;

$b_{тр}$  – размер преобладающих почвенных частицы, м [И. М. Панов, В. И. Веттохин, 2008].

На основании уравнения (5) и рисунка 2 скорость частиц почвенного пласта в момент схождения с кромки отвала можно определить по формуле

$$v_{n_0} = \left( \left( \frac{F_T}{m_n} - g + v_{n_0} \left( -\frac{\mu}{2m_n} + \frac{\sqrt{\left(\frac{\mu}{m_n}\right)^2 + \frac{g}{r_u}}}{2} \right) \right) e^{-\frac{\mu}{2m_n} t_1} + g - \frac{F_T}{gm_n} + \right. \\ \left. + v_{n_0} \left( \frac{\mu}{2m_n} + \frac{\sqrt{\left(\frac{\mu}{m_n}\right)^2 + \frac{g}{r_u}}}{2} \right) \right) e^{\frac{\mu}{2m_n} t_1} \left( \left(\frac{\mu}{m_n}\right)^2 + \frac{g}{r_u} \right)^{-\frac{1}{2}}, \quad (9)$$

где  $F_T$  – сила тяги плуга, Н;  $v_{n_0}$  – скорость движения пласта почвы по лемеху, м/с;  $r_u$  – радиус кривизны отвала, м;  $t_1$  – время движения почвы по корпусу плуга, с.

Время движения почвы по корпусу плуга можно найти по формуле

$$t_1 = \frac{s + 4r_u \left( 1 - \frac{F_T}{m_n g} \right) - v_{n_0} \sqrt{\left(\frac{\mu}{m_n}\right)^2 + \frac{g}{r_u}}}{v_{n_0}}. \quad (10)$$

При проведении испытаний плуга ПО-(8+4)-40 с катковыми приставками в полевых условиях КУП «Минская овощная фабрика» Минского района, при помощи скоростной съемки определялась дальность отбрасывания почвенных частиц [Новиков, А. В. и др., 2017]. При скорости движения плуга 2,64 м/с была определена дальность полета частиц почвы относительно корпуса плуга, которая составила 0,83 м.

По формулам (5) и (9) для данного плуга на заданной скорости движения были определены полная начальная скорость движения почвенной частицы в момент отрыва от кромки отвала (2,09 м/с) и максимальная дальность полета пласта почвы (0,87 м).

На основании данных, полученных в ходе экспериментов, можно сделать вывод, что полученная математическая модель, описывающая движение пласта почвы по корпусу плуга и с достаточной точностью позволяет определить дальность полета частицы.

**Обсуждение.** Вопросу проектирования дополнительных устройств для поверхностной обработки почвенных пластов посвящены исследования М. Е. Мацепу-

ро и С. Г. Бабаев [М. Е. Мацепуро, 1960]. Полученные результаты позволяют определить влияние дополнительных приспособлений на давление полевой доски. Однако их применение возможно только при проектировании прицепных приставок для пахотных агрегатов. Также полученные зависимости не позволяют определить рациональные параметры установки приставки относительно плуга.

Исследования Ю. И. Кузнецова были использованы при проектировании приспособлений для измельчения почвы, выравнивания, уплотнения на всю глубину пахотного горизонта ПВР-2,3, ПВР-2,7, ПВР-3,5 [Кузнецов, Ю. И., 1991]. Автор теоретически определил место присоединения прицепных дополнительных устройств к плугам и необходимую длину цепи. Однако полученные результаты исследований применимы только для прицепных дополнительных устройств и не учитывают конструктивные особенности навешиваемых непосредственно на раму плуга приставок.

**Выводы.** Полученные зависимости (3), (5) и (9) позволяют на этапе разработки в зависимости от технических характеристик плуга и условий его работы определить наименьшее расстояние установки катковых приставок относительно корпусов плуга, что позволит снизить затраты энергии на проведение вспашки и износ рабочих органов плуга.

## Перелік літератури

Беларусь в цифрах (2021). Статистический справочник., Нац. статистич. комитет Республики Беларусь, Минск, 73.

Крук И. С., Назаров Ф. И., Чигарев Ю. В., Назарова Г. Ф., Карпович С. К., Маринич Л. А., Бакач Н. Г., Лепешкин Н. Д. (2017) Проектирование катковых приставок для пахотных агрегатов. Рекомендации, БГАТУ, Минск, 104.

Кузнецов Ю. И. (1991) 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, Москва, 51.

Мацепуро М. Е. (1960) Вопросы земледельческой механики: в 5 т., Ин-т механизации и электрификации сел. хозяйства, Изд-во Академии с.-х. наук БССР, Т. 5, Минск, 320.

Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В., Заяц Д. В., Филиппов А. И., Пузевич К. Л. (2021). Перспективный плуг по-(8+4)-40 для тракторов мощностью 450 л.с., Вестник БГСХА, № 1, 167-171.

Новиков, А. В., Жданко Д. А., Непарко Т. А., Назаров Ф. И., Лепешкин Н. Д. (2017) Эксплуатационная оценка широкозахватного пахотного агрегата на базе трактора «Беларус-4522С», Агропанорама, 121(3), 2-7.

Панов И. М., Ветохин В. И. (2008) Физические основы механики почв, Феникс, Киев, 266.

Сельское хозяйство Республики Беларусь (2020). Статистич. сборник., Нац. статистич. комитет Республики Беларусь, Минск, 179.

Торосян, В. Р., У. А. Козырева, В. А. Ружьев (2018) Применение почвоуплотнителей при комплектовании и оптимизации режимов работы пахотных агрегатов. Вестник Студенческого научного общества, 9(2), 96-99.

Яковчик С. Г., Бакач Н. Г., Салапура Ю. Л. (2016) Направления развития механизации сельского хозяйства республики беларусь, Механизация и электрификация сел. хозяйства: межвед. тематич. сб., РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сел. хозяйства», 50, 3-8.

Kim, Y. S, Kim, W. S., Siddique, M. A. A., Baek, S. Y., Baek, S. M., Cheon, S. H., Kim, Y. J. (2020). Power Transmission Efficiency Analysis of 42 kW Power Agricultural Tractor According to Tillage Depth during Moldboard Plowing. *Agronomy*, 10(9), 1263.

Ranjbarian, S., Askari M., Jannatkhah J. (2017) Performance of tractor and tillage implements in clay soil. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 16, 154-162.

Vasilenko V. V., Afonichev D. N., Vasilenko S. V. (2021) Review and analysis of methods for applying vibration in ploughing, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 868, 012010.

## References

Agriculture of the Republic of Belarus (2020). Statistical. collection., Nat. statistical Committee of the Republic of Belarus, Minsk, 179.

Belarus in numbers (2021). Statistical handbook., Nat. statistical Committee of the Republic of Belarus, Minsk, 73.

Kim, Y. S, Kim, W. S., Siddique, M. A. A., Baek, S. Y., Baek, S. M., Cheon, S. H., Kim, Y. J. (2020). Power Transmission Efficiency Analysis of 42 kW Power Agricultural Tractor According to Tillage Depth during Moldboard Plowing. *Agronomy*, 10(9), 1263.

Kruk I. S., Nazarov F. I., Chigarev Yu. V., Nazarova G. F., Karpovich S. K., Marynich L. A., Bakach N. G., Lepeshkin N. D. (2017) Design of roller attachments for arable machines. Recommendations, BSATU, Minsk, 104.

Matsepuro M. E. (1960) Questions of agricultural mechanics: in 5 volumes, Institute of mechanization and electrification of villages. economy, Publishing house of the Academy of Agricultural Sciences. sciences BSSR, Т. 5, Минск, 320.

N. D. Lepeshkin, V. V. Mizhurin, D. V. Zayats, A. I. Filippov, K. L. Puzevich (2021). A promising plow po (8 + 4) -40 for tractors with a capacity of 450 hp, *Bulletin BGSKhA*, No. 1, 167-171.

Novikov, A.V., Zhdanko D.A., Neparco T. A., Nazarov F. I., Lepeshkin N. D. (2017) Operational assessment of a wide-cut plowing unit based on the Belarus-4522S tractor, *Agropanorama*, 121 (3), 2-7.

Panov I. M., Vetokhin V. I. (2008) Physical Foundations of Soil Mechanics, Phoenix, Kiev, 266.

Ranjbarian, S., Askari M., Jannatkhah J. (2017) Performance of tractor and tillage implements in clay soil. *Journal of the Saudi*

Society of Agricultural Sciences 16, 154-162.

Torosyan, V. R., U. A. Kozyrev, V. A. Rouzhev (2018) The use of packers in the acquisition and optimization of operating modes of arable machines. Bulletin of the Student Scientific Society, 9 (2), 96-99.

Vasilenko V. V., Afonichev D. N., Vasilenko S. V. (2021) Review and analysis of methods for applying vibration in ploughing, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 868, 012010.

Yakovchik S. G., Bakach N. G., Salapura Yu.L. (2016) Directions for the development

of agricultural mechanization in the Republic of Belarus, Mechanization and electrification of villages. farms: mezhved. thematic Sat, RUE "Scientific and Production Center of the National Academy of Sciences of Belarus for the Mechanization of Villages. farms «, 50, 3-8.

Yu. I. Kuznetsov (1991) Mechanical and technological substantiation and development of complexes of combined aggregates for combining soil cultivation operations in the system of intensive farming: author. dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.20.01, Moscow, 51.

UDC 631.312

## DETERMINATION OF THE INSTALLATION PARAMETERS FOR ADDITIONAL ATTACHMENTS ON THE PLOWING UNIT FOR SOIL TILLAGE

**Chebotarev V.**, D-r Tech. Scs, Prof.,

<https://orcid.org/0000-0003-0873-9152>, e-mail: v.p.chebotarev@tut.by;

**Kruk I.**, PhD Tech. Scs., Associate Prof.,

<https://orcid.org/0000-0002-0333-2065>, e-mail: kruk\_igar@mail.ru;

**Nazarov F.**, PhD Tech. Scs,

<https://orcid.org/0000-0001-5946-8941>, e-mail: windor1989@gmail.com;

**Chigariev Y.**, D-r Phys.-Math. Scs., Prof.,

<https://orcid.org/0000-0001-6529-9013>, e-mail: yuri.chigarev.44@bk.ru;

**Yanovsky D.**,

<https://orcid.org/0000-0002-6195-9915>, e-mail: yanovskyd31@gmail.com.

Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus

### Summary

*This article is dedicated to the subject of designing additional tools for use with reversible ploughs that cuts and loosens topsoil.*

**The aim** is to reduce power consumption spent for soil tillage by using reversible ploughs with roller cultivators.

**Methods.** Theoretical and experimental studies of the topsoil movement on the plough's wing, the mouldboard and beyond.

**Results.** Analysis of the movement of soil particles falling from the top edge of the plough's mouldboard has allowed to obtain analytical dependence for determining the size range of soil particles based on the geometry of the working surface of the plough's body (distance from the soil surface to the top edge of the mouldboard, the angles of the edge of the mouldboard) and the kinematic parameters of the soil (speed of the plough and roller cultivator, soil particles speed on the edge of

mouldboard, soil particles descent time).

A research, on the movement of the soil particles, on the mouldboard surface of the plough's body is presented. The section through the mouldboard perpendicular to the wing of the plough is described by the equation of the "inverted" cycloid and based on it the dependences have been obtained to determine the kinematic parameters of the movement of the soil particles on the surface of the plough's body, depending on the mouldboard type and properties of the soil.

Results obtained in this article allow to design the roller cultivators for reversible ploughs with determined parameters of installation, in which the power consumption costs of the plowing process will be minimal.

**Conclusions.** Obtained analytical dependences, that determine kinematic and technological parameters of the soil movement on the working surface of the plow, the section through the orthogonal wing that has the form of an "inverted" cycloid, the variable design and technological parameters of the plough and the conditions of its operation, allowing to justify the installation parameters of the roller cultivator relative to the plough, taking into account the proposed correction ratio, which depends on the mechanical properties of the soil and its structure.

**Key words:** plowing, plows, additional, roller attachments, seam, soil.

УДК 631.312

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВСТАНОВЛЕННЯ НА ОРНИЙ АГРЕГАТ ДОДАТКОВИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ОБРОБКИ ҐРУНТОВОГО ПЛАСТА**

**Чеботарев В.**, д-р. техн. наук, проф.,

<https://orcid.org/0000-0003-0873-9152>, e-mail: v.p.chebotarev@tut.by;

**Крук І.**, канд. тех. наук, доц.,

<https://orcid.org/0000-0002-0333-2065>, e-mail: kruk\_igar@mail.ru;

**Назаров Ф.**, канд. тех. наук,

<https://orcid.org/0000-0001-5946-8941>, e-mail: windor1989@gmail.com;

**Чигарев Ю.**, д-р. ф.-м. наук, проф.,

<https://orcid.org/0000-0001-6529-9013>, e-mail: yuri.chigarev.44@bk.ru;

**Яновский Д.**,

<https://orcid.org/0000-0002-6195-9915>; e-mail: yanovskyd31@gmail.com.

Установа освіти Білоруський державний аграрний технічний університет,  
м. Мінськ, Республіка Білорусь

### **Анотація**

Стаття присвячена питанню проектування додаткових знарядь для обробки та поверхневого обробітку ґрунтових пластів до оборотних плугів.

**Метою роботи** є визначення параметрів встановлення на орний агрегат додаткових пристроїв для обробки ґрунтового пласта.