

Плужный корпус для прецизионной обработки почвы

Сергей Иванович Старовойтов¹,
доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: starovoytov.si@mail.ru;

Александр Михайлович Гринь²,
доцент,
e-mail: grin-970@mail.ru

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;

²Брянский Государственный аграрный университет, Брянская область, Российская Федерация

Реферат. Показали, что оборот пласта в пределах борозды – важное условие прецизионной обработки почвы. Выявили возможность создать шлейф комбинированных машин, способных за один проход готовить почву к посеву или посадке. Отметили, что цилиндрический плужный корпус при действии сил инерции способен удерживать на своей поверхности пласт с дерниной и без нее. В предварительных испытаниях этого рабочего органа выявили нарушения беспрепятственного прохождения почвенного пласта. Предположили, что повысить технологическую надежность плужного корпуса можно, если разместить на направляющей доске крыло, которое создаст дополнительный закручивающий эффект. (*Цель исследования*) Обосновать длину крыла плужного корпуса и угол его установки ко дну борозды. (*Материалы и методы*) На основе законов теоретической механики составили дифференциальное уравнение вращения сегмента почвенного пласта, где почва как объект обработки характеризуется коэффициентами динамической вязкости, трения скольжения, а также плотностью. (*Результаты и обсуждение*) Определили, что величина обозначенных коэффициентов зависит от абсолютной влажности обрабатываемого пласта. К основным критериям, влияющим на оборот пласта, отнесли абсолютную влажность почвы, скорость движения плужного корпуса, длину крыла отвала, угол установки крыла, толщину взаимодействующего пограничного слоя деформируемого сечения. В результате моделирования установили, что определяющее влияние на угол поворота сегмента почвенного пласта оказывают скорость движения плужного корпуса и угол установки крыла отвала. (*Выводы*) Угол поворота сегмента почвенного пласта, равный 90 градусам, достигим, если длина крыла отвала составляет 0,1 метра, а угол его установки равен 23 градусам.

Ключевые слова: почвенный сегмент, обработка почвы, плужный корпус, оборот почвенного пласта, коэффициент динамической вязкости, коэффициент трения скольжения.

Для цитирования: Старовойтов С.И., Гринь А.М. Плужный корпус для прецизионной обработки почвы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №1. С. 47-52. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-1-47-52.

Working Tool for Precision Tillage

Sergey I. Starovoytov¹,
Dr.Sc.(Eng.), leading researcher,
e-mail: starovoytov.si@mail.ru;

Alexander M. Grin²,
associate professor,
e-mail: grin-970@mail.ru

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;

²Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Russian Federation

Abstract. It was shown that the soil formation turnover within the furrow is an important condition for precision tillage. The authors identified the possibility of creating a train of combined machines capable of preparing the soil for sowing or planting in one pass. It was noted that due to inertia forces, the cylindrical plow body is able to hold a layer with and without turf. The preliminary tests of this working body revealed some barriers to the unhindered passage of the soil layer. It was assumed that it is possible to increase the technological reliability of the plow body by placing a wing on the guide board, which operation will create an additional twisting effect. (*Research purpose*) To substantiate the length of the plow body wing and its angle to the bottom of the furrow. (*Materials and methods*) Based on the laws of theoretical mechanics, a differential equation for the soil layer segment rotation was obtained, where the soil, as a tillage object, is presented by the coefficients of dynamic viscosity, sliding friction, and density. (*Results and discussion*) It was determined that the value of the dynamic viscosity coefficient and sliding friction depend

on the absolute moisture content of the formation being treated. The main criteria influencing the soil formation turnover included the absolute soil moisture content, the plow body speed, the dump wing length, the angle of the wing installation, the thickness of the interacting boundary layer of the deformable section. As a result of the simulation, it was found out that the angle of the soil layer segment rotation predominantly depends on the plow body speed and the angle of the dump wing installation. (*Conclusions*) A 90-degree angle of the soil layer segment rotation can be achieved if the dump wing length is 0.1 meter, and the angle of its installation is 23 degrees.

Keywords: soil segment, tillage, plow body, soil formation turnover, dynamic viscosity coefficient, sliding friction coefficient.

For citation: Starovoytov S.I., Grin' A.M. Pluzhnyy korpus dlya pretsizionnoy obrabotki pochvy [Working tool for precision tillage]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N1. 47-52 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-1-47-52.

Основная и предпосевная обработка почвы считаются важнейшими составляющими в системе машин для комплексной механизации сельского хозяйства [1, 2]. Сельскохозяйственное производство потребляет значительное количество энергии, до 80% которой расходуется в растениеводстве при выполнении работ, связанных с обработкой почвы [3-5].

Техническую модернизацию агропромышленного комплекса следует проводить с учетом современных достижений науки и технического прогресса, направленных на энерго- и ресурсосбережение [6].

В последние годы во многих регионах нашей страны ученые ведут активные исследования по определению возможности сокращения интенсивности основной обработки почвы [7-9].

В качестве универсального технического средства для борьбы с трудновыводимыми сорняками плуг до сих пор остается постоянно востребованным инструментом для обработки почвы [10]. По прогнозам мировой сельскохозяйственной науки, отвальная вспашка еще на долгие годы останется преобладающим способом обработки в почвенно климатических зонах с выпадением осадков более 500 мм в год [11].

На качество агротехнических показателей, таких как крошение и оборот почвенного пласта, заделка растительных остатков, влияют геометрические параметры, заложенные в конструкции рабочих органов, осуществляющих подрезание и перенос почвенного пласта по рабочей поверхности плужного корпуса [12].

Известны рабочие органы, которые в процессе вспашки укладывают пласт на сторону или в собственную борозду (*Пат. РФ 188560 А01В 49/02, 2019*) [13-15]. Гладкая вспашка, при которой пласт укладывается в свою борозду, способствует образованию поверхности без свальных гребней и развальных борозд [16-17].

Первым известным орудием для гладкой вспашки был конный плуг. Функцию отвала выполнял кожух в виде вырезной цилиндрической трубы. Передняя часть трубы имела горизонтальную режущую кромку, а верхняя – развитое крыло, перпендикуляр-

ное движущемуся почвенному потоку. К днищу под углом прикреплена полоса, которая должна давить на боковую грань пласта, заставляя его двигаться по трубе и укладываться обернутым в собственную борозду.

В 1962 г. в США предложен однопластовый тракторный плуг. Его рабочий орган выполнен в виде скрученного на 180° коробчатого лотка с двумя криволинейными стенками и днищем. Через отверстия в боковинах предусматривалось подавать сжатый воздух для уменьшения сил трения.

Первый работоспособный плуг, осуществляющий оборот пласта в собственной борозде, изготовлен в 1972 г. фирмой «Аллис Чалмерс». Этот симметричный фронтальный рабочий орган спроектировали американские инженеры Л. Кауфман и Д. Тоттен [18].

Однако существующие конструкции фронтальных (полнооборотных плугов) энергоемки и не обеспечивают беспрепятственное прохождение почвы через рабочие органы, поскольку оборот пласта происходит при его перемещении по дну борозды в условиях повышенного трения [19].

Известен полнооборотный модульный плуг Андриксона А.Н., содержащий лемешно-отвальную поверхность и направляющую доску (*Пат. РФ № 2683234, МПК А01В 15/08, 2018*). К недостаткам устройства можно отнести большую энергоемкость процесса.

Позднее создан рабочий орган в виде усеченного цилиндрического отвала, снабженный направляющей доской переменного сечения. Она связывает крайнюю левую точку горизонтального диаметра передней части и нижнюю точку бороздного обреза цилиндрического отвала, жестко закрепленного на отвале (*Пат. РФ № 2714243 МПК А01В49/00, 2020*). Предварительные испытания выявили нарушения беспрепятственного прохождения почвенного пласта.

Повысить технологическую надежность плужного корпуса можно путем дополнительного размещения на направляющей доске крыла, которое создает дополнительный закручивающий эффект (*рис. 1*).

Усеченный цилиндрический отвал расположен под углом 3-4° ко дну борозды.

В процессе вспашки передняя часть цилиндриче-

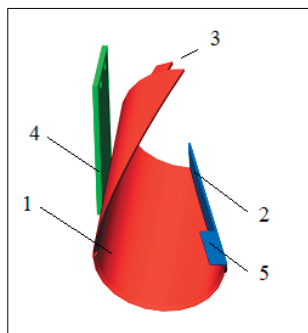


Рис. 1. Схема рабочего органа для прецизионной обработки почвы: 1 – усеченный цилиндрический отвал; 2 – направляющая доска; 3 – сталкиватель; 4 – стойка; 5 – крыло

Fig.1. Scheme of the working body for precision tillage: 1 – truncated cylindrical dump; 2 – guide board; 3 – pusher; 4 – rack; 5 – wing

ского отвала отрезает пласт почвы в форме полукруга. Крыло дополнительно закручивает его. Далее пласт движется по внутренней поверхности цилиндрического отвала, а перемещения пласта по почве исключены. Тем самым можно снизить силы трения при обработке, повысить скорость движения, уменьшить энергоёмкость.

Контакт пласта почвы с направляющей переменной сечения цилиндрического отвала обеспечит его оборот против часовой стрелки. Энергоёмкость оборота пласта с сечением в виде полукруга меньше, чем при прямоугольном сечении. Пласт практически не поднимается над дном борозды. На момент окончания взаимодействия с цилиндрическим отвалом пласт принимает вертикальное положение и под действием сталкивателя укладывается в свою борозду.

Цель исследования – обоснование длины крыла и угла его установки ко дну борозды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Рассмотрим дифференциальное уравнение вращения сегмента почвенного пласта (Пат. РФ №2757937 МПК А01В15/08, 2021):

$$I \cdot \ddot{\varphi} + M_{\text{вс}} \cdot \dot{\varphi} + M_t \cdot \varphi = A_{\text{внеш}}, \quad (1)$$

где I – момент инерции сегмента почвенного пласта, кг·м²;

$\ddot{\varphi}$ – угловое ускорение сегмента почвенного пласта, с⁻²;

$M_{\text{вс}}$ – момент сил вязкостного сопротивления, Н·м·с;

$\dot{\varphi}$ – угловая скорость вращения сегмента почвенного пласта, с⁻¹;

M_t – момент сил трения почвы, Н·м;

φ – угол поворота сегмента почвенного пласта, рад;

$A_{\text{внеш}}$ – работа внешних сил, Дж.

Момент инерции сегмента почвенного пласта равен:

$$I = \frac{m d^2}{16}, \quad (2)$$

где m – масса почвенного сегмента, кг;

d – длина хорды сегмента, м.

Выразим момент сил вязкостного сопротивления:

$$M_{\text{вс}} = \eta \cdot F \cdot t_{\text{пс}}, \quad (3)$$

где η – коэффициент динамической вязкости, Па·с;
 F – площадь сечения сегмента почвенного пласта, м²;

$t_{\text{пс}}$ – толщина деформируемого слоя почвенного сегмента, м.

Момент сил трения почвы о поверхность плужного корпуса находим по формуле:

$$M_t = g \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{16} \cdot l_k \cdot \rho \cdot f, \quad (4)$$

где l_k – длина крыла плужного корпуса, м;

ρ – плотность почвы, кг/м³;

f – коэффициент трения скольжения почвенного пласта о крыло отвала.

Работа внешних сил равна:

$$A_{\text{внеш}} = \frac{\pi r^2}{2} \cdot l_k \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \sin \alpha, \quad (5)$$

где r – радиус сегмента почвенного пласта, м;

v – скорость движения плужного корпуса, м/с.

α – угол наклона крыла плужного корпуса, рад.

Таким образом, угол закручивания почвенного сегмента будет определяться из следующего выражения:

$$\varphi = \frac{\omega_0 \cdot M_t + A_{\text{внеш}} \cdot k_1}{k_1 \cdot M_t \cdot \left(\frac{k_2}{k_1} - 1\right)} \cdot (e^{k_2 \cdot t} - e^{k_1 \cdot t}) + \frac{A_{\text{внеш}}}{M_t}, \quad (6)$$

где k_1, k_2 – корни квадратного уравнения;

ω_0 – начальная угловая скорость вращения почвенного сегмента, рад/с;

Найдем корни квадратного уравнения:

$$k_1 = -n + \sqrt{n^2 - \omega^2}; \quad k_2 = -n - \sqrt{n^2 - \omega^2},$$

где n – коэффициент, учитывающий отношение момента сил вязкостного сопротивления и момента инерции сегмента почвенного пласта, с⁻¹;

ω – коэффициент, учитывающий отношение момента сил трения и момента инерции сегмента почвенного пласта, с⁻¹.

В свою очередь:

$$n = \frac{M_{\text{вс}}}{2 \cdot I}, \quad (7)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{M_t}{I}}. \quad (8)$$

Угловая скорость вращения сегмента почвенного пласта будет равна:

$$\dot{\varphi} = \frac{\omega_0 \cdot M_t + A_{\text{внеш}} \cdot k_1}{k_1 \cdot M_t \cdot \left(\frac{k_2}{k_1} - 1\right)} \cdot (k_2 \cdot e^{k_2 \cdot t} - k_1 \cdot e^{k_1 \cdot t}). \quad (9)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. К основным критериям, влияющим на оборот пласта, можно отнести:

- абсолютную влажность почвы;

- скорость движения плужного корпуса;
- длину крыла отвала;
- угол установки крыла;
- толщину взаимодействующего пограничного слоя деформируемого сечения.

Первоначально рассмотрим влияние скорости движения плужного корпуса на угол оборота пласта при следующих начальных условиях: $\omega = 20\%$, $l_k = 0,2$ м, $\alpha = 13^\circ$, $t_{nc} = 0,001$ м (рис. 2).

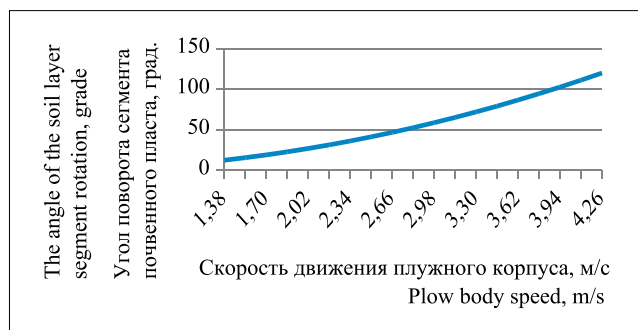


Рис. 2. Зависимость угла поворота сегмента почвенного пласта от скорости движения плужного корпуса
 Fig. 2. The dependence of the angle of the soil layer segment rotation on the plow body speed

Отмечается тенденция увеличения угла поворота сегмента почвенного пласта при повышении скорости движения плужного корпуса. Тем не менее с учетом представленных выше начальных условий угол поворота в 90° будет достигнут только при скорости движения 3,78 м/с.

Определим зависимость угла поворота сегмента почвенного пласта от угла поворота крыла отвала при следующих начальных условиях: $\omega = 20\%$, $l_k = 0,2$ м, $v = 2,7$ м/с, $t_{nc} = 0,001$ м (рис. 3).

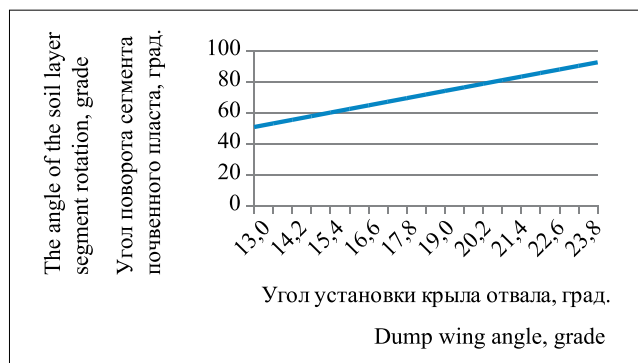


Рис. 3. Зависимость угла поворота сегмента почвенного пласта от угла поворота крыла отвала
 Fig. 3. The dependence of the angle of the soil layer segment rotation on the angle of the dump wing rotation

Чем шире угол установки крыла отвала, тем больше угол поворота сегмента почвенного пласта, который составит 90° , если первый показатель равен $23,2^\circ$.

Выявили нелинейную зависимость угла поворота

сегмента почвенного пласта от абсолютной влажности суглинистой почвы (рис. 4).

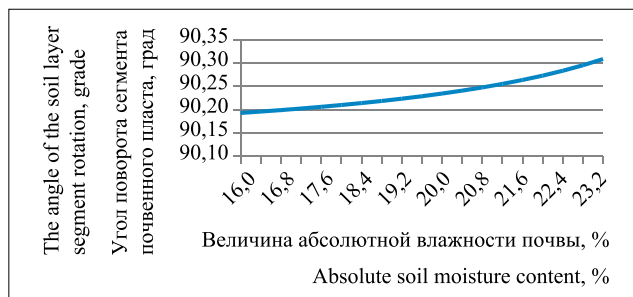


Рис. 4. Зависимость угла поворота сегмента почвенного пласта от абсолютной влажности суглинистой почвы
 Fig. 4. The dependence of the angle of the soil layer segment rotation on the absolute loamy soil moisture content

Точки экстремума отсутствуют. Изменение абсолютной влажности в интервале от 16 до 23% увеличивает угол поворота всего лишь на $0,1^\circ$. Таким образом, можно признать незначительным влияние величины абсолютной влажности на угол поворота почвенного сегмента.

Зависимость угла поворота сегмента почвенного пласта от длины крыла плужного корпуса имеет прямо пропорциональный характер без точек экстремума (рис. 5). Чем длиннее крыло отвала, тем шире угол поворота сегмента почвенного пласта. В то же время изменение длины крыла от 0,10 до 0,28 м вызывает увеличение угла поворота всего лишь на $0,12^\circ$, что можно признать незначительным.



Рис. 5. Зависимость угла поворота сегмента почвенного пласта от длины крыла плужного корпуса
 Fig. 5. The dependence of the angle of the soil layer segment rotation on the plow body wing length

Угол поворота сегмента почвенного пласта нелинейно зависит от толщины деформируемого слоя почвенного сегмента (рис. 6).

Причем в интервале толщины слоя от 0,001 до 0,0125 угол поворота уменьшается прямо пропорционально, а в интервале 0,0125-0,2080 он остается практически постоянным и составляет $90,11^\circ$. В целом можно сказать, что толщина почвенного сегмента не вли-

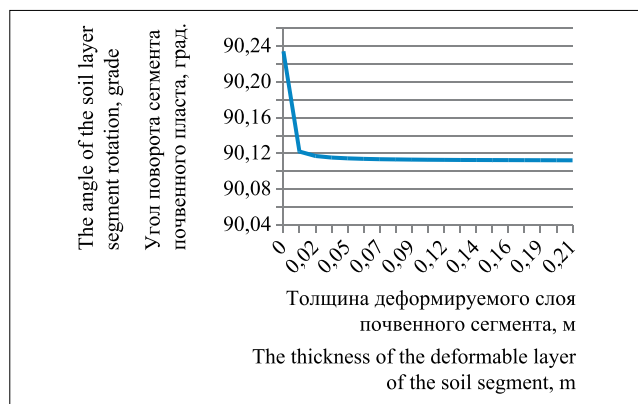


Рис. 6. Зависимость угла поворота сегмента почвенного пласта от толщины деформируемого слоя почвенного сегмента
 Fig. 6. The dependence of the angle of the soil layer segment rotation on the thickness of the deformable layer of the soil segment

яет на его угол поворота.

Таким образом, определяющее воздействие на угол поворота сегмента почвенного пласта оказывают скорость движения и угол установки крыла отвала. При скорости движения 2,77 м/с угол поворота крыла отвала должен составлять 23,2°.

Выводы. Получили выражение для определения угла закручивания почвенного сегмента, образовавшегося при воздействии цилиндрического плужного корпуса, где почва как объект обработки выражена через коэффициенты динамической вязкости, трения скольжения, а также плотность. Угол поворота сегмента почвенного пласта, равный 90°, достигим при угле установки крыла отвала 23° и длине 0,1 м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // *История науки и техники*. 2019. N12. С. 47-54.
2. Сизов И.В., Блинов Ф.Л., Морозов П.В. Использование комбинированных рабочих органов и агрегатов при возделывании льна-долгунца // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N3. С. 35-39.
3. Ляхов А.П., Кошля Г.И. К определению энергоемкости механизированных тракторных работ // *Агронаorama*. 2017. N4. С. 20-22.
4. Лобачевский Я.П., Комогорцев В.Ф., Старовойтов С.И., Храмовский К.А. Анализ тягового сопротивления элементов цилиндрического плужного корпуса // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. Т. 10. N2. С. 11-15.
5. Алдошин Н.В., Маматов Ф.М., Исмаилов Н.И. Средства механизации для обработки почвы в бахчеводстве // *Техника и оборудование для села*. 2021. N2. С. 12-15.
6. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Мазитов Н.К. Почвообрабатывающая техника: пути импортозамещения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. Т. 11. N2. С. 37-42.
7. Дридигер В.К., Невечера А.Ф., Токарев И.Д., Вайцеховская С.С. Экономическая эффективность технологии No-till в засушливой зоне Ставропольского края // *Земледелие*. 2017. N3. С.16.
8. Дрепа Е.Б., Власова О.И., Голубь А.С., Донец И.А. Влияние технологии возделывания на агрофизические свойства черноземов выщелоченных и урожайность подсолнечника // *Земледелие*. 2020. N3. С. 18-20.
9. Ахалая Б.Х., Старовойтов С.И., Ценч Ю.С., Шогенов Ю.Х., Адамия Л.С. Комбинированный агрегат с универсальным рабочим органом для поверхностной обработки почвы // *Техника и оборудование для села*. 2020. N8. С. 8-11.
10. Сенке Ш. Плуг Kongskilde HRWT 51080 с корпусом XLD. *Agroreport*. 2017. 4. 60.
11. Василенко В.В., Василенко С.В., Рыльков И.В. Результаты производственных испытаний оборотного плуга. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2013. N4. С. 99-101.
12. Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Миронов Д.А., Золотарев А.С. Влияние геометрических и установочных параметров плужных рабочих органов на агротехнические и силовые характеристики // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N2. С. 10-15.
13. Лобачевский Я.П., Сизов О.А., Золотарев С.А., Смирнова Л.А. Использование плугов для гладкой вспашки на различных типах почв и сельхозугодий: Рекомендации. М.: Росинформагротех. 2009. 36 с.
14. Mamatov F., Aldoshin N., Mirzaev B., Ravshanov H., Kurbanov Sh., Rashidov N. Development of a frontal plow for smooth, furless plowing with cutoffs. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1030. 012135.
15. Mamatov F., Mirzaev B., Mirzahodzhaev Sh., Uzakov Z, Choriyeva D. Development of a front plow with active and passive working bodies. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1030. 012164.
16. Mamatov F., Ergashev I., Mirzaev B., Pardaev X., Choriyeva D. Research of the Penetration Process of the Frontal Plow. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. 1779. 012002.
17. Mamatov F., Mirzaev B., Tursunov O. A Justification of Broach-Plow's Parameters of the Ridge-Stepped Ploughing. *E3S Web of Conferences*. 2019. 97. 05035.
18. Kaufman L.C., Totten D.C. Development of the inverting moldboard plow. *Transactions of the ASAE*. 1972. N1. 55-60.
19. Маматов Ф.М., Эргашев И.Т., Мирзаев Б.М., Мирзаходжаев Ш. Комбинированный фронтальный плуг // *Сельский механизатор*. 2011. N10. С. 10-11.

REFERENCES

1. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S., Beylis V.M. Sozдание i razvitie mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve [Creation and development of systems for machines and technol-

- ogies for the complex mechanization of technological processes in crop production]. *Istoriya nauki i tekhniki*. 2019. N12. 47-54 (In Russian).
2. Sizov I.V., Blinov F.L., Morozov P.V. Ispol'zovanie kombinirovannykh rabochikh organov i agregatov pri vozdeystvii l'na-dolguntsa [The use of combined working bodies and units for fiber flax cultivation]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N3. 35-39 (In Russian).
 3. Lyakhov A.P., Koshlya G.I. K opredeleniyu energoemkosti mekhanizirovannykh traktornykh rabot [Determining the energy intensity of mechanized tractor work]. *Agropanorama*. 2017. N4. 20-22 (In Russian).
 4. Lobachevskiy Ya.P., Komogortsev V.F., Starovoytov S.I., Khramovskiy K.A. Analiz tyagovogo soprotivleniya elementov tsilindroidalnogo pluzhnogo korpusa [Analysis of tractive resistance of general plow body elements]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. Vol. 10. N2. 11-15 (In Russian).
 5. Aldoshin N.V., Mamatov F.M., Ismailov N.I. Sredstva mekhanizatsii dlya obrabotki pochvy v bakhchevodstve [Mechanization means for tillage in melon growing]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2021. N2. 12-15 (In Russian).
 6. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Mazitov N.K. Pochvoobrabatyvayushchaya tekhnika: puti importozameshcheniya [Soil-cultivating machinery: ways of import substitution]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. Vol. 11. N2. 37-42 (In Russian).
 7. Dridiger V.K., Nevecherya A.F., Tokarev I.D., Vaytsekhovskaya S.S. Ekonomicheskaya effektivnost' tekhnologii No-till v zasushlivoy zone Stavropol'skogo kraya [Efficiency of No-Till Technology in the Droughty Zone of Stavropol Krai]. *Zemledelie*. 2017. N3. 16 (In Russian).
 8. Drepa E.B., Vlasova O.I., Golub' A.S., Donets I.A. Vliyanie tekhnologii vozdeystviya na agrofizicheskie svoystva chernozemov vyshchelochennykh i urozhaynost' podsolnechnika [Influence of cultivation technology on the agrophysical properties of leached chernozems and sunflower yield]. *Zemledelie*. 2020. N3. 18-20 (In Russian).
 9. Akhalaya B.H., Starovoytov S.I., Tsench Yu.S., Shogenov Yu.Kh., Adamia L.S. Kombinirovannyi agregat s universal'nym rabochim organom dlya poverkhnostnoy obrabotki pochvy [A combined unit fitted with a versatile working body for surface tillage]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2020. N8. 8-11 (In Russian).
 10. Senke Sh. Plug Kongskilde HRWT 51080 s korpusom XLD [Kongskilde HRWT 51080 plough with XLD body]. *Agroreport*. 2017. 4. 60 (In Russian).
 11. Vasilenko V.V., Vasilenko S.V., Rylkov I.V. Rezultaty proizvodstvennykh ispytaniy oborotnogo pluga [Results of one-way plough field tests]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2013. N4. 99-101 (In Russian).
 12. Sidorov S.A., Lobachevskiy Ya.P., Mironov D.A., Zolotarev A.S. Vliyanie geometricheskikh i ustanovochnykh parametrov pluzhnykh rabochikh organov na agrotekhnicheskie i silovye kharakteristiki [Influence of geometric and setup parameters of the arrangement of working tools on agrotechnical and power characteristics]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 10-15 (In Russian).
 13. Lobachevskiy Ya.P., Sizov O.A., Zolotarev S.A., Smirnova L.A. Ispol'zovanie plugov dlya gladkoy vspashki na razlichnykh tipakh pochvy i sel'khozugodiy: Rekomendatsii [The use of ploughs for smooth tillage on various types of soil and farmland: Recommendations.]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2009. 36 (In Russian).
 14. Mamatov F., Aldoshin N., Mirzaev B., Ravshanov H., Kurbanov Sh., Rashidov N. Development of a frontal plow for smooth, furless plowing with cutoffs. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1030. 012135 (In English).
 15. Mamatov F., Mirzaev B., Mirzahodzhaev Sh., Uzakov Z., Choriyeva D. Development of a front plow with active and passive working bodies. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1030. 012164 (In English).
 16. Mamatov F., Ergashev I., Mirzaev B., Pardaev X., Choriyeva D. Research of the Penetration Process of the Frontal Plow. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. 1779. 012002 (In English).
 17. Mamatov F., Mirzaev B., Tursunov O. A Justification of Broach-Plow's Parameters of the Ridge-Stepped Ploughing. *E3S Web of Conferences*. 2019. 97. 05035 (In English).
 18. Kaufman L.C., Totten D.C. Development of the inverting moldboard plow. *Transactions of the ASAE*. 1972. N1. 55-60 (In English).
 19. Mamatov F.M., Ergashev I.T., Mirzaev B.M., Mirzakhodzhaev Sh. Kombinirovannyi frontalnyy plug [The combined frontal plough with passive and active working parts]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2011. N10. 10-11 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Старовойтов С.И. – разработка теоретических предпосылок;
Гринь А.М. – литературный анализ, доработка текста, формирование общих выводов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Starovoytov S.I. – development of theoretical premises
Grin' A.M. – literature review, finalizing the manuscript, drawing general conclusions

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

12.01.2022

25.02.2022