



Теоретические аспекты оборота пласта в габаритах собственной борозды

Яков Петрович Лобачевский,
доктор технических наук, профессор,
академик РАН,
e-mail: lobachevsky@yandex.ru;

Владимир Васильевич Шаров
кандидат технических наук,
sharov_vv56@mail.ru;

Николай Васильевич Алдошин,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
e-mail: naldoshin@yandex.ru;

Юлия Сергеевна Ценч,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: vimasp@mail.ru;

Андрей Сергеевич Золотарев,
научный сотрудник,
e-mail: zl200@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Оборот пласта остается наиболее распространенным приемом основной обработки почвы. Высокой культуре земледелия в наибольшей степени удовлетворяет так называемая гладкая вспашка без образования свальных гребней и развальных борозд, которая выполняется оборотными плугами. (*Цель исследования*) Обосновать кинематику пласта при его обороте в собственную борозду без поперечного смещения. (*Материалы и методы*) При рассмотрении кинематики пласта принимается допущение, что он состоит из связной упругой среды, в процессе оборота в габаритах собственной борозды претерпевает деформации, но не разрушается. Такое допущение вполне корректно, так как известно, что задерненный и влажный пласт вырезается из почвенного массива сплошной неразрывной лентой и, практически сохраняя свои геометрические размеры, оборачивается на 180° . При обосновании траектории пласта применяются классические методы теоретической механики. (*Результаты и обсуждения*) Рассмотрены уравнения движения точек пласта при его обороте в габаритах собственной борозды. Все точки поперечного сечения пласта в процессе оборота изменяют свое положение в пространстве. Процессы изменений перемещения, скорости и ускорения i -ой точки теоретического пласта происходят по плавным зависимостям, описываемым тригонометрическими функциями. Однако при значении угла поворота $\omega t = \pi/2$ происходит резкая смена направлений графиков перемещения, скорости и ускорения, что указывает на резко переменные нагрузки, которым подвергается пласт в области этой точки. Объясняется это сменой опорного ребра, относительно которого осуществляется вращение поперечного сечения пласта. Центр тяжести поперечного сечения движется с переменными скоростью и ускорением, что говорит о наличии инерционных сил, на преодоление которых потребуется определенная энергия. (*Выводы*) Величина затрачиваемой работы во многом будет зависеть от геометрических параметров пласта a , b и режимов его оборота ω . При обороте поперечного сечения пласта на угол $\omega t = \pi/2 - \gamma$ вертикальное ускорение центральной точки O принимает максимальное значение. В этом положении при определенных условиях возможен отрыв пласта от дна борозды. Исследование кинематики оборота почвенного пласта в собственную борозду позволило обнаружить новые явления, возникающие в процессе его движения и установить закономерности влияния геометрических параметров почвенного пласта на динамические характеристики.

Ключевые слова: гладкая вспашка, почвенный пласт, плуг, оборот пласта, собственная борозда, кинематика, скорость, ускорение, траектория.

■ **Для цитирования:** Лобачевский Я.П., Шаров В.В., Алдошин Н.В., Ценч Ю.С., Золотарев А.С. Теоретические аспекты оборота пласта в габаритах собственной борозды // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №4. С. 4-9. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-4-9. EDN: ACQBLW.

Scientific article

Theoretical Aspects of Soil Layer Turnover Within the Boundaries of Its Own Furrow

Yakov P. Lobachevsky,
Dr.Sc.(Eng.), professor, member of the Russian Academy
of Sciences,
e-mail: lobachevsky@yandex.ru;

Vladimir V. Sharov,
Ph.D.(Eng.),
sharov_vv56@mail.ru;

Nikolay V. Aldoshin,
Dr.Sc.(Eng.), professor, chief researcher,
e-mail: naldoshin@yandex.ru;

Yuliya S. Tsench,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: vimasp@mail.ru;

Andrey S. Zolotarev,
researcher
e-mail: zl200@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper highlights that soil layer turnover remains the most widely used method of primary tillage. Among the existing techniques, smooth plowing without producing back ridges or furrows, which is achieved using reversible plows, best meets the high standards of modern agricultural practices. (*Research purpose*) The study aims to substantiate the kinematics of soil layer turnover within the boundaries of its own furrow without lateral displacement. (*Materials and methods*) In analyzing the kinematics, the soil layer is assumed to behave as a cohesive elastic substance undergoing deformation during turnover within its own furrow, without disintegration. This assumption is quite reasonable, as it is well-established that a sodded and moist layer can be extracted as a continuous, intact strip that retains its geometric dimensions when turned 180°. The trajectory of the layer is derived using classical methods of theoretical mechanics. (*Results and discussions*) The equations governing the motion of the soil layer points during turnover within its own furrow are analyzed. During this process, all points in the cross-section of the layer undergo spatial displacement. Changes in displacement, velocity, and acceleration of the i -th point of the hypothetical layer exhibit smooth dependencies described by trigonometric functions. However, at a rotation angle of $\omega t = \pi/2$, an abrupt change occurs in the trajectories of displacement, velocity and acceleration graphs, indicating sharply variable loads acting on the soil layer at this point. The abrupt change is attributed to a shift in the support rib which serves as the axis for the rotation of the soil layer's cross-section. The center of gravity of the cross-section moves with variable velocity and acceleration, which indicates the presence of inertial forces. Overcoming these forces requires a certain amount of energy. (*Conclusions*) The energy required largely depends on the geometric parameters of the layer a , b and its rotation modes (ω). When the layer cross-section rotates by an angle $\omega t = \pi/2 - \gamma$, the vertical acceleration of the central point (O) reaches its maximum value. Under certain conditions, the soil layer may detach from the furrow bottom in this position. The kinematics analysis of a soil layer turnover within the boundaries of its own furrow reveals new phenomena occurring during its motion to identifies the patterns of influence that the soil layer's geometric parameters exert on its dynamic characteristics.

Keywords: smooth plowing, soil layer, plow, soil layer turnover, own furrow, kinematics, velocity, acceleration, trajectory.

■ For citation: Lobachevsky Ya.P., Sharov V.V., Aldoshin N.V., Tsench Yu.S., Zolotarev A.S. Theoretical aspects of soil layer turnover within the boundaries of its own furrow. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N4. 4-9 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-4-9. EDN: ACQBLW.

Эффективность земледелия в значительной степени зависит от системы обработки почвы. При рациональной обработке почвы улучшаются ее свойства, плодородие возрастает, урожайность сельскохозяйственных культур увеличивается. Нерациональные приемы обработки почвы могут привести в лучшем случае к снижению плодородия, в худшем – к разрушению и потере плодородного слоя в результате эрозии. В настоящее время площадь плодородных земель в мире, потерянных для сельскохозяйственного производства, составляет 20 млн км², что почти в 1,5 раза больше площади современной пашни (свыше 14 млн км²) [1]. Причем наибольшие потери произошли в последние 100-150 лет и они практически невозможны, так как для образования слоя почвы 20-25 см, по расчетам почвоведов, требуется от 2000 до 4000 лет.

Определение рациональной технологии обработки почвы с учетом почвенно-климатических и

агрорландшафтных условий местности ставит актуальную задачу как перед учеными, создающими новые виды техники, так и перед сельскохозяйственными производителями в отношении правильного применения технологии [2, 3].

Наибольшее распространение в Российской Федерации получила отвальная вспашка (около 70% пашни). Основные задачи такой обработки почвы сводятся к подрезанию сорняков, обороту пласта, полной заделке пожнивных остатков, рыхлению пахотного слоя на заданную глубину, заделке растительной массы, минеральных и органических удобрений [4, 5]. Отвальной вспашке плугами общего назначения присущи значительные недостатки, в частности, высокая гребнистость и глыбистость поверхности пашни, наличие пустот (пазух) в обработанном слое почвы, невозможность регулирования степени крошения почвы, высокая энергоемкость процесса. Из-за смещения почвенных пластов в поперечном направлении на поле при

смежных проходах образуются свальные гребни и развальные борозды.

С позиции повышения культуры земледелия наиболее предпочтительна гладкая вспашка, без образования свальных гребней и развальных борозд. Такую операцию можно выполнять, например, оборотными плугами. Они имеют двойной набор рабочих органов, которые действуют попеременно. Это дает возможность улучшить качество вспашки (обеспечивают гладкую пахоту), но приводит к большому увеличению удельной массы плуга со всеми вытекающими отрицательными последствиями (значительное усложнение конструкции, более высокая удельная масса и стоимость плуга, снижение КПД, повышение эксплуатационных расходов) [6-8].

Также гладкую вспашку можно производить плугами с оборотом пласта на 180° и его укладкой не в соседнюю борозду, как при традиционном способе, а в свою собственную [9-11]. Схема оборота почвенного пласта такими плугами показана на рисунке 1.

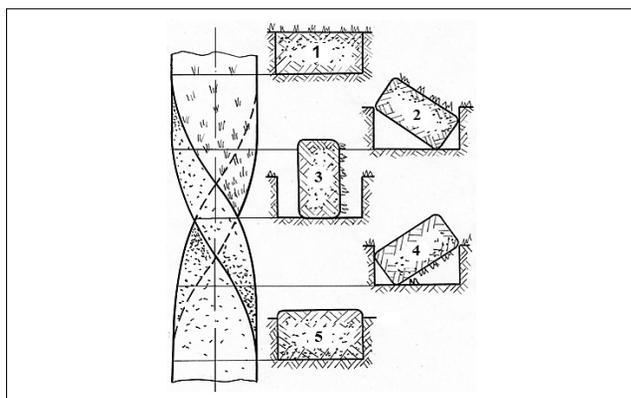


Рис. 1. Схема оборота почвенного пласта, с укладкой в собственную борозду: 1-5 – последовательные положения поперечного сечения пласта в процессе оборота
 Fig. 1. Diagram of soil layer turnover within the boundaries of its own furrow: 1-5 – sequential positions of the layer's cross-section during the turnover process

Таким образом осуществляется гладкая вспашка без свальных гребней и развальных борозд. Данный способ особенно привлекателен при обработке задерненных почв, когда пласт необходимо обернуть сплошной неразрывной лентой дерниной вниз, чтобы облегчить последующую поверхностную обработку почвы [6]. При этом центр тяжести поперечного сечения пласта в процессе оборота не смещается в поперечном направлении. Такая технология предполагает выигрыш по затратам энергии в сравнении с традиционной вспашкой на 12-15% и в наибольшей степени проявляется при высокой рабочей скорости (до 9-12 км/ч).

Эффективность работы таких плугов во многом определяется выбором их рациональных конструк-

тивно-технологических параметров. Прежде всего это параметры почвенного пласта и его кинематика [5-7].

Цель исследования. Изучить и обосновать кинематику пласта при его полном (на 180°) обороте в собственную борозду без поперечного смещения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Земледельческая механика как наука составляет представление о почве, как о физическом теле с комплексом физико-механических свойств. Это положение, уже ставшее общепринятым, позволяет при рассмотрении вопросов механического движения почвенного пласта в процессе вспашки применять классические законы теоретической механики, которая наряду с математикой и физикой служит научной основой современной сельскохозяйственной техники [8-10].

При рассмотрении кинематики связного пласта предполагается, что в процессе оборота в габаритах собственной борозды он состоит из упругой сплошной среды и не разрушается (Шаров В.В. Оборота пласта без поперечного и продольного смещения (кинематика). Совершенствование рабочих органов почвообрабатывающих и уборочных машин; сб. науч. трудов. М.: МИИСП, 1986. 138 с.; Лобачевский Я.П. Разработка технологических основ создания фронтальных плугов для гладкой вспашки; автореф. дисс. ... техн. наук. М., 1987. 16 с.).

Такое допущение вполне корректно, так как известно, что задерненный и влажный пласт вырезается из почвенного массива сплошной неразрывной лентой и оборачивается на 180° , практически сохраняя свои геометрические размеры [12, 13].

Рассмотрим процесс оборота почвенного пласта, вырезанного с трех сторон и закручиваемого на угол π рад (180°) на расстоянии S (рис. 2). Вначале (от 0 до $\pi/2$) пласт почвы поворачивается, опираясь на ребро DD' , которое лежит на дне борозды, и перемещается в плоскости XAY . Обернувшись на $\pi/2$ рад, пласт становится на дно борозды боковой гранью $D'C'$. Дальнейшее вращение (от $\pi/2$ до π) происходит, когда пласт опирается на ребро $C'C$, расположенное на дне борозды.

Процесс оборота пласта в заданной системе координат с целью обеспечения рациональности затрат энергии и некоторых упрощений при выводе математических зависимостей должен удовлетворять условиям:

1. Центр тяжести пласта (точка O) не должен смещаться по оси X ;
2. Почвенный пласт вращается, не отрываясь от дна борозды;
3. В процессе оборота форма поперечного сечения пласта остается неизменной.

Для получения уравнения i -ой точки пласта в координатной форме зафиксируем неподвижную прямоугольную систему координат $AXYZ$ в точке

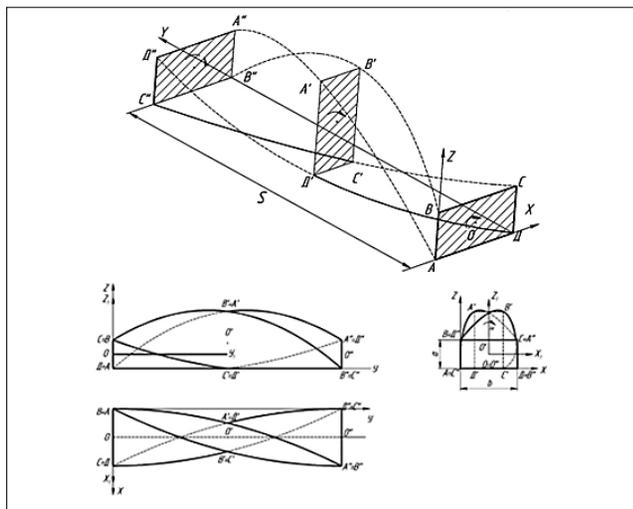


Рис. 2. Кинематика теоретического пласта при обороте в собственную борозду

Fig. 2. Kinematics of the hypothetical layer during soil layer turnover within its own furrow

А (рис. 2). Ось Y примем по направлению движения и расположим на дне борозды. Ось X перпендикулярна направлению движения и также находится на дне борозды. Ось Z совпадает с начальным положением боковой грани пласта AB .

Подвижную систему координат $OX_1Y_1Z_1$ расположим в центре тяжести поперечного сечения пласта O , при этом она будет перемещаться относительно неподвижной системы координат $AXYZ$ со скоростью V , а их соответствующие оси будут оставаться параллельными.

Результаты и обсуждения. Уравнение траектории i -ой точки пласта в подвижной системе координат $OX_1Y_1Z_1$ при выбранном направлении вращения выглядит следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= R_i \cos(\varphi - \omega t), \\ Y_1 &= 0, \\ Z_1 &= R_i \sin(\varphi - \omega t). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где R_i – расстояние от начала координат O до искомой i -ой точки пласта в его поперечном сечении, м; φ – угол в системе $OX_1Y_1Z_1$ между осью X_1 и радиусом R_i , рад; ω – мгновенное значение угловой скорости, c^{-1} ; t – текущее значение времени, с.

Система уравнений (1) описывает окружность с радиусом R_i .

Начальная точка системы координат $OX_1Y_1Z_1$ движется относительно неподвижной декартовой системы координат $AXYZ$ согласно условию 1 только по осям Y и Z .

Перемещение по оси Z :

$$Z = \frac{d}{2} \sin(\omega t \pm \gamma), \quad (2)$$

где ωt – угол поворота поперечного сечения пласта ($0 < \omega t < \pi$), рад; γ – угол между диагональю попе-

речного сечения пласта и его основанием, рад; d – диагональ поперечного сечения пласта, м.

Перемещение по оси Y является функцией от угла оборота поперечного сечения пласта:

$$Y = \frac{S}{\pi} \cdot \alpha, \quad (3)$$

где угол α изменяется в интервале $0 \leq \alpha \leq \pi$; S – расстояние, на котором происходит закрутка пласта на π рад, м.

Приняв $\alpha = \omega t$ и $S = \mu \cdot b$, получаем:

$$Y = \frac{\mu \cdot b}{\pi} \cdot \omega t. \quad (4)$$

Координата центра тяжести пласта по оси X остается постоянной, и в нашем случае $X = b/2$, где b – ширина почвенного пласта.

Таким образом, начало координат системы $OX_1Y_1Z_1$ движется относительно неподвижной системы $AXYZ$ по траектории, описываемой системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} X &= b / 2 \\ Y &= \frac{\mu \cdot b}{\pi} \cdot \omega t \\ Z &= \frac{d}{2} \cdot \sin(\omega t \pm \gamma) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где угол поворота находится в интервале $0 \leq \omega t \leq \pi$, при этом угол γ положительный от 0 до $\pi/2$ и отрицательный от $\pi/2$ до π .

Уравнения траектории любой точки пласта в неподвижной системе координат $AXYZ$ получим по известным в математике правилам:

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{b}{2} + R_i \cos(\varphi - \omega t) \\ Y &= \frac{\mu b}{\pi} \cdot \omega t \\ Z &= \frac{d}{2} \sin(\omega t \pm \gamma) + R_i \sin(\varphi - \omega t) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Система уравнений (6) описывает траекторию любой точки пласта при его обороте 0 до π рад.

Определим скорость и ускорение точек почвенного пласта. Скорость какой-либо точки пласта равна производной по времени от уравнения, описывающего ее траекторию (6):

$$\left. \begin{aligned} \dot{X} &= R_{iu} \cdot \omega \cdot \sin(\varphi - \omega t) \\ \dot{Y} &= \frac{\mu b}{\pi} \cdot \omega \\ \dot{Z} &= \frac{d}{2} \cdot \omega \cdot \cos(\omega t \pm \gamma) - R_i \cdot \omega \cdot \cos(\varphi - \omega t) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Модуль скорости i -ой точки пласта:

$$\begin{aligned} V_i &= \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = \\ &= \omega \cdot \sqrt{R_i^2 + \frac{\mu^2 \cdot b^2}{\pi^2} + \frac{d^2}{4} \cdot \cos^2(\omega t \pm \gamma) - d \cdot R_i \cdot \cos(\omega t \pm \gamma) \cdot \cos(\varphi - \omega t)}. \end{aligned} \quad (8)$$

Направление вектора скорости определяется с помощью направляющих косинусов

$$\cos(\overline{V_i, X}) = \frac{\dot{X}}{V_i}; \cos(\overline{V_i, Y}) = \frac{\dot{Y}}{V_i}; \cos(\overline{V_i, Z}) = \frac{\dot{Z}}{V_i}. \quad (9)$$

Взяв производную по времени от скорости i -ой точки пласта (7) получим ее ускорение:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{X} &= -R_i \cdot \omega^2 \cdot \cos(\varphi - \omega t) \\ \ddot{Y} &= 0 \\ \ddot{Z} &= -\frac{d}{2} \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t \pm \gamma) - R_i \cdot \omega^2 \cdot \sin(\varphi - \omega t) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Модуль вектора ускорения точки равен:

$$\begin{aligned} W_i &= \sqrt{\ddot{X}^2 + \ddot{Y}^2 + \ddot{Z}^2} = \\ &= \omega \cdot \sqrt{R_i^2 + \frac{d^2}{4} \cdot \sin^2(\omega t \pm \gamma) + d \cdot R_i \sin(\omega t \pm \gamma) \cdot \sin(\varphi - \omega t)}. \end{aligned} \quad (11)$$

Направляющие косинусы вектора ускорения определяются:

$$\cos(\overline{W_i, X}) = \frac{\ddot{X}}{W_i}; \cos(\overline{W_i, Y}) = \frac{\ddot{Y}}{W_i}; \cos(\overline{W_i, Z}) = \frac{\ddot{Z}}{W_i}. \quad (12)$$

Для наглядности представления процесса оборота пласта приведем кинематические диаграммы характерных точек пласта A, B, C, D и O в продольно-вертикальной плоскости (рис. 3).

Значения перемещений, скоростей и ускорений точек определялись уравнениями:

$$\begin{aligned} S_o &= d / 2 \cdot \sin(\omega t \pm \gamma); S_{ABCD} = d \cdot \sin(\pm \alpha) \cdot \cos \omega t; \\ V_o &= d / 2 \cdot \omega \cdot \cos(\omega t \pm \gamma); V_{ABCD} = d \cdot \omega \cdot \sin(\pm \alpha) \cdot \sin \omega t; \\ J_o &= -d / 2 \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t \pm \gamma); J_{ABCD} = d \cdot \omega^2 \cdot \sin(\pm \alpha) \cdot \cos \omega t. \end{aligned}$$

Анализ выражений (6), (7), (10) и приведенной диаграммы показывает, что все точки поперечного сечения пласта с началом оборота испытывают возмущение и изменяют свое положение в пространстве. Процессы изменений перемещения, скорости и ускорения i -ой точки теоретического пласта происходят по плавным зависимостям, описываемым тригонометрическими функциями. Однако при $\omega t = \pi/2$ происходит резкая смена направлений графиков перемещения, скорости и ускорения, что говорит о резко переменных нагрузках, которым подвергается пласт в области этой точки. Объясняется

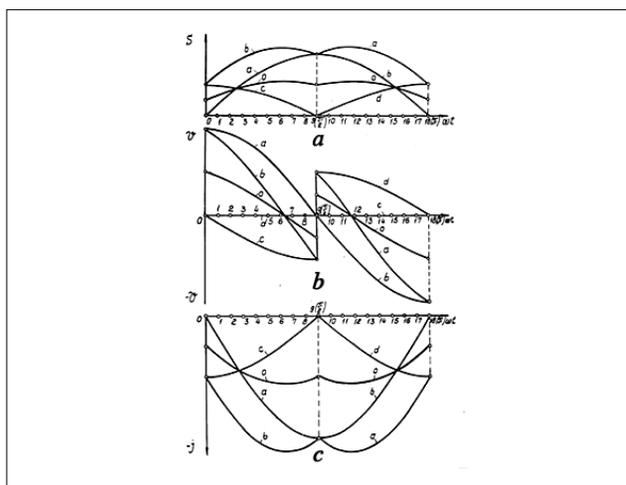


Рис. 3. Кинематические диаграммы, описывающие движение точек теоретического пласта при его обороте в собственную борозду: a – точки перемещений; b – точки скоростей; c – точки ускорений

Fig. 3. Kinematic diagrams illustrating the movement of the hypothetical layer's points during its turnover within its own furrow: a – displacement points; b – velocity points; c – acceleration points.

это сменой ребра, на которое опирается поперечное сечение пласта в процессе своего оборота.

Выводы. Центр тяжести поперечного сечения – точка O движется с переменной скоростью и ускорением, что свидетельствует о наличии инерционных сил, на преодоление которых потребуется определенная энергия. Величина затрачиваемой энергии во многом будет зависеть от геометрических параметров пласта a, b и режимов его оборота ω .

При обороте поперечного сечения пласта на угол $\omega t = \pi/2 - \gamma$ вертикальное ускорение точки O принимает максимальное значение, т.е. в этом положении при определенных условиях возможен отрыв пласта от дна борозды.

Исследование кинематики оборота почвенного пласта в собственную борозду позволило обнаружить новые явления, возникающие в процессе его целенаправленного движения, и установить закономерности влияния геометрических параметров почвенного пласта на динамические характеристики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Косолапов В.М., Цыгуткин А.С., Алдошин Н.В., Лылин Н.А. Агронамические основы инженерного обеспечения биологизации земледелия // *Кормопроизводство*. 2022. N3. С. 41-47. DOI: 10.25685/krm.2022.3.2022.007.
2. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N4. С. 4-12. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12.
3. Ценч Ю.С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N2. С. 4-13. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13.
4. Лобачевский Я.П., Панов А.И., Панов И.М. Перспективные направления совершенствования конструкций лемешно-отвальных плугов // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2000. N6. С. 2-5.
5. Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С., Квас С.А. Развитие технологий полосной энергоресурсосберегаю-

- шей обработки почвы // *Технический сервис машин*. 2018. Т. 132. С. 232-237. EDN: VLSWCQ.
6. Сакун В.А., Лобачевский Я.П., Сизов О.А. Современный этап и пути дальнейшего развития пахотных агрегатов // *Техника в сельском хозяйстве*. 1991. N3. С. 9-12. EDN: UCQXIZ.
 7. Шаров В.В. Деформация почвенного пласта при различных способах вспашки // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2004. N5. С. 23-24.
 8. Алдошин Н.В. Анализ технологических процессов в растениеводстве // *Техника в сельском хозяйстве*. 2008. N1. С. 34-37. EDN: IJOHAV.
 9. Сакун В.А., Лобачевский Я.П., Шаров В.В. Фронтальные плуги. *Земледелие*. 1982. Т 9. С. 53-54. EDN: UCXQPX.
 10. Шаров В.В., Лобачевский Я.П. Прогноз использова-
 - ния почвообрабатывающих машин с активными рабочими органами // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2009. N1-2. С. 41. EDN: SZOKRZ.
 11. Шаров В.В. Технология комбинированной обработки почвы с активным оборотом и крошением пласта // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2004. N10. С. 20-22. EDN: ZTMHNN.
 12. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevsky Ya.P. et al. Modeling the technological process of tillage. *Soil&Tillage Research*. 2019. Т. 190. С. 70-77. DOI: 10.1016/j.still.2018.12.004.
 13. Mudarisov S.G., Lobachevsky Ya.P., Farkhutdinov I.M. et al. Justification of the soil dem-model parameters for predicting the plow body resistance forces during plowing. *Journal of Terramechanics*. 2023. Т. 109. С. 37-44. DOI: 10.1016/j.jterra.2023.06.001.

REFERENCES

1. Kosolapov V.M., Tsygutkin A.S., Aldoshin N.V., Lylin N.A. mechanized agronomy as means for arable farming biologization. *Fudder Journal*. 2022. N3. 41-47 (In Russian). DOI: 10.25685/krm.2022.3.2022.007.
2. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S. Principles of forming machine and technology systems for integrated mechanization and automation of technological processes in crop production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. Vol. 16. N4. 4-12 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12.
3. Tsench Yu.S. Scientific and technological potential as the main factor for agricultural mechanization development. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. Vol. 16. N2. 4-13 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13.
4. Lobachevsky Ya.P., Panov A.I., Panov I.M. Promising directions for improving the designs of plough shares. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2000. N6. 2-5 (In Russian).
5. Akhalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh., Tsench Ju.S., Kvas S.A. Improved technology for stripe energy resource-saving soil processing. *Machinery Technical Service*. 2018. Vol. 132. 232-237 (In Russian). EDN: VLSWCQ.
6. Sakun V.A., Lobachevsky Ya.P., Sizov O.A. The modern stage and ways of further development of arable aggregates. *Machinery in Agriculture*. 1991. N3. 9-12 (In Russian). EDN: UCQXIZ.
7. Sharov V.V. Deformation of the soil layer in various plowing methods. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2004. N5. 23-24 (In Russian).
8. Aldoshin N.V. Analysis of technological processes in crop production. *Machinery in Agriculture*. 2008. N1. 34-37 (In Russian). EDN: IJOHAV.
9. Sakun V.A., Lobachevsky Ya.P., Sharov V.V. Frontal plows. *Zemledelie*. 1982. Vol. 9. 53-54 (In Russian). EDN: UCXQPX.
10. Sharov V.V., Lobachevsky Ya.P. Forecast of the use of tillage machines with active working organs. *Agricultural Machinery: Service and Repair*. 2009. N1-2. 4-43 (In Russian). EDN: SZOKRZ.
11. Sharov V.V. Technology of combined tillage with active turnover and crumbling of the formation. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2004. N10. 20-22 (In Russian). EDN: ZTMHNN.
12. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevsky Ya.P. et al. Modeling the technological process of tillage. *Soil&Tillage Research*. 2019. Vol. 190. 70-77 (In English). DOI: 10.1016/j.still.2018.12.004.
13. Mudarisov S.G., Lobachevsky Ya.P., Farkhutdinov I.M. et al. Justification of the soil dem-model parameters for predicting the plow body resistance forces during plowing. *Journal of Terramechanics*. 2023. Vol. 109. 37-44 (In English). DOI: 10.1016/j.jterra.2023.06.001.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Лобачевский Я.П. – руководство исследованием, концептуализация, создание окончательной версии рукописи;
 Шаров В.В. – написание исходного варианта статьи;
 Алдошин Н.В. – администрирование проекта, создание черновика рукописи;
 Ценч Ю.С. – редактирование текста, формулировка выводов;
 Золотарев А.С. – участие в моделировании оборота пласта.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Lobachevsky Ya.P. – research supervision, conceptualization, development of the final manuscript version (refining);
 Sharov V.V. – writing the manuscript draft;
 Aldoshin N.V. – project administration, drafting the manuscript;
 Tsench Yu.S. – proofreading and refining the manuscript, formulation of conclusions;
 Zolotarev A.S. – participation in modeling the soil layer turnover.
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

03.10.2024

05.12.2024