

EDN: CZNTZO

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-3-37-42



Научная статья

УДК 631.312



## Исследование эффекта продольного перемещения модели почвенного пласта

**Юлия Сергеевна Ценч<sup>1</sup>,**

доктор технических наук, доцент,  
член-корреспондент Российской академии наук,  
главный научный сотрудник,  
e-mail: vimasp@mail.ru;

**Яков Петрович Лобачевский<sup>1</sup>,**

доктор технических наук, профессор,  
академик Российской академии наук,  
главный научный сотрудник,  
e-mail: lobachevsky@yandex.ru;

**Владимир Васильевич Шаров<sup>2</sup>,**

кандидат технических наук, хранитель фондов,  
e-mail: sharov\_vv56@mail.ru;

**Николай Васильевич Алдошин<sup>1</sup>,**

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

<sup>1</sup>Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;

<sup>2</sup>Музей памяти Лопасненского края, г. Чехов, Российская Федерация

**Реферат.** Рассмотрены вопросы перемещения почвенного пласта при различных способах вспашки. Выявлен эффект продольного перемещения пласта в процессе его оборота. (*Цель исследования*) Изучение кинематики продольного перемещения почвенного пласта при различных способах оборота (в собственную борозду и в соседнюю борозду) и его количественная оценка. (*Материалы и методы*) Явление перемещения пласта в продольном направлении было обнаружено при изучении кинематики физических моделей пластов. Для проведения исследований была изготовлена пластичная модель почвенного пласта толщиной 1 сантиметр, шириной 2 и длиной 7,5 сантиметра. Закрутка пласта на 180° осуществлялась на расстоянии 5 сантиметров. Объяснением этого явления может быть тот факт, что при осуществлении оборота пласта его центр тяжести поднимается над дном борозды дважды в результате смены опорных ребер пласта. Вследствие этого средняя линия пласта приобретает изогнутый вид. (*Результаты и обсуждение*) Проекция изогнутой линии на плоскость дна борозды всегда короче, чем длина самой линии, поэтому, если специально не растягивать пласт, он неминуемо должен переместиться в продольном направлении в сторону заземленного конца на некоторую величину. Установлены зависимости, позволяющие определять величину продольного перемещения, а также скорость и ускорение поперечного сечения пласта при осуществлении оборота в зависимости от кинематических параметров почвенного пласта. (*Выводы*) Величина продольного перемещения пласта прямо пропорциональна его толщине и зависит от коэффициентов устойчивости и закрутки.

**Ключевые слова:** обработка почвы, почвенный пласт, оборот пласта, продольное перемещение пласта, кинематика.

■ **Для цитирования:** Ценч Ю.С., Лобачевский Я.П., Шаров В.В., Алдошин Н.В. Исследование эффекта продольного перемещения модели почвенного пласта // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №3. С. 37-42. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-3-37-42. EDN: CZNTZO.

Scientific article

### Effect of Longitudinal Displacement of the Soil Layer Model

**Yulia S. Tsench<sup>1</sup>,**

Dr.Sc.(Eng.), associate professor, corresponding member  
of the Russian Academy of Sciences,  
chief researcher,  
e-mail: vimasp@mail.ru;

**Yakov P. Lobachevsky<sup>1</sup>,**

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

**Vladimir V. Sharov<sup>2</sup>,**

Ph.D.(Eng.), curator of collections,  
e-mail: sharov\_vv56@mail.ru;

**Nikolay V. Aldoshin<sup>1</sup>,**

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

<sup>1</sup>Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;

<sup>2</sup>Lopasnya Region Memorial Museum, Chekhov, Russian Federation

**Abstract.** The study investigates the displacement of the soil layer under different plowing methods. A distinct effect of longitudinal displacement during layer inversion was identified. (*Research purpose*) To examine the kinematics of the longitudinal displacement of the soil layer under different inversion methods (into its own furrow and into the adjacent furrow) and to provide a quantitative assessment of this phenomenon. (*Materials and methods*) The phenomenon of longitudinal displacement was discovered during a kinematic study of physical soil layer models. For the experiments, a plastic model of a soil layer was constructed with dimensions of 1 centimeter in thickness, 2 centimeters in width, and 7.5 centimeters in length. The layer was subjected to a 180° twist over a distance of 5 centimeters. This displacement can be attributed to the elevation of the model's center of gravity above the furrow bottom during inversion, which occurs twice due to the sequential shift of the layer's supporting edges. As a result, the central line of the model becomes curved. (*Results and discussion*) The projection of the curved line onto the plane of the furrow bottom is always shorter than the actual length of the line itself. As a result, unless the layer is forcibly stretched, it inevitably undergoes longitudinal displacement toward the clamped end. The study established relationships that make it possible to determine the magnitude of this displacement, as well as the velocity and acceleration of the soil layer's cross-section during inversion, based on the kinematic parameters of the layer. (*Conclusions*) The magnitude of the soil layer's longitudinal displacement is directly proportional to its thickness and is influenced by the stability and twisting coefficients.

**Keywords:** soil tillage, soil layer, soil layer inversion, soil layer longitudinal displacement, kinematics.

■ **For citation:** Tsench Yu.S., Lobachevsky Ya.P., Sharov V.V., Aldoshin N.V. Effect of longitudinal displacement of the soil layer model. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N3. 37-42 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-3-37-42. EDN: CZNTZO.

Наукой и практикой доказано, что почва в процессе производства продуктов растениеводства не только не изнашивается, как другие средства производства (машины, сооружения и т.д.), но при правильном ее использовании улучшаются показатели плодородия, обеспечивается рост урожайности сельскохозяйственных культур [1, 2].

По данным Вернадского В.И. [3] с момента возникновения осознанного земледелия сменилось уже более 600 поколений людей. Все это время происходило совершенствование способов и орудий труда по обработке почвы. Постепенно, земледelec освоил такой универсальный прием обработки почвы как выделение из сплошного массива и оборот пласта на 130-180°. Это позволило увеличить глубину и однородность обрабатываемого слоя, производить запашку органики и растительных остатков, уничтожать сорные растения, что значительно повысило урожайность возделываемых культур.

Технология отвальной вспашки широко применяется в наши дни и имеет немало разновидностей [4]. Виды вспашки, осуществляемой отвальными плугами, отличаются друг от друга способом оборота почвенного пласта, который при вращении испытывает деформации различного типа (Алдoшин Н.В. Моделирование качества выполнения механизированных работ. Горячкинские чтения; 1-я Междунар. науч.-практ. конф. 2013. С. 6-13), [5, 6]. Проведенные исследования кинематики оборота пласта в соседнюю борозду [7] показывают, что за счет неравномерной деформации ребер и искривления нейтральной линии пласта, его поперечное сечение перемещается не только в поперечном, но и в продольном направлении.

Обобщая исследования испытателей, профессор Ю.А. Вейс в своей книге [8] отмечал, что при де-

тальном изучении работы плугов было обнаружено интересное явление: одновременно с оборотом пласта происходит его смещение не только в поперечном, но и в продольном направлении, причем правая сторона пласта перемещалась вперед в большей степени, чем левая.

Такие же результаты получены В.Г. Кирюхиным [9]. Проведенные им полномасштабные полевые исследования по изучению перемещения почвы плугом выявили, что полевая грань пласта растягивается при обороте, а бороздная сминается, в результате пласт оборачивается вокруг нижнего бороздного ребра и одновременно с этим отгибается, перемещаясь в направлении движения корпуса. Величина перемещения напрямую зависит от глубины вспашки и ширины вырезаемого пласта.

Эти известные примеры из наблюдений за движением пласта при осуществлении традиционной вспашки [9, 10], помимо многих других, авторами приведены намеренно, так как продольное перемещение почвы до сих пор не получило теоретического осмысления и не учитывается при проектировании лемешно-отвальных поверхностей. Необходимо провести определение факторов, влияющих на продольное перемещение почвенного пласта при обороте и дать их оценку.

**Цель исследования.** Изучить кинематику продольного перемещения почвенного пласта при различных способах оборота и дать его количественную оценку.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Для проведения исследований изготавливалась пластиковая модель почвенного пласта толщиной 1 см, шириной 2 и длиной 7,5 см, закрутка пласта на 180° происходила на расстоянии 5 см. Закручивание модели пласта осуществлялось постепенно, с передней части, при аккурат-

ном и плавном нагружении, до поворота поперечного сечения пласта на некоторый угол, после чего нагружалось следующее поперечное сечение и т.д.

В процессе закручивания модели пласта соблюдалось условие перемещения центра тяжести его поперечного сечения только в продольно-вертикальной плоскости, при этом нижнее ребро пласта не отрывалось от дна борозды. Величина поворота каждого сечения рассчитывалась в зависимости от расстояния, на котором должно произойти оборачивание пласта на 180°. Последовательное воздействие на поперечные сечения осуществлялось с помощью специальной рамки, размеры которой соответствуют поперечным размерам модели.

При достижении оборота поперечного сечения пласта на 180° проводились замеры длины всех ребер пласта и других кинематических показателей.

Для сравнения кинематических показателей аналогичная модель пласта закручивалась на 180° с укладкой в соседнюю борозду (рис. 1).

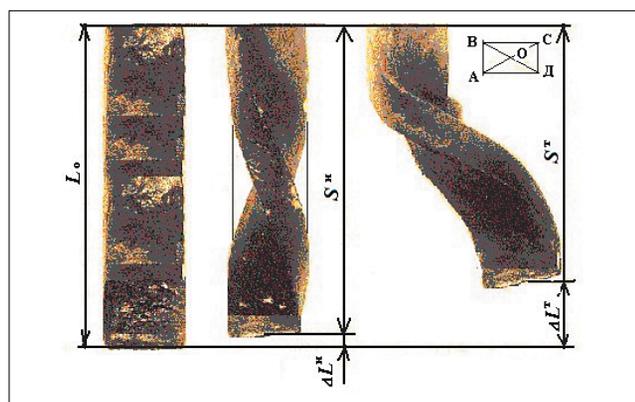


Рис. 1. Кинематика пластиковой модели пласта: слева – пласт до закручивания; в середине – пласт обернут в собственную борозду; справа – в соседнюю борозду

Fig. 1. Kinematics of the soil layer model made of plastic: left – before twisting; center – inverted into its own furrow; right – rotated into the adjacent furrow

Эффект перемещения пласта в продольном направлении был обнаружен при изучении кинематики физических моделей пластов [11]. Объяснением этого явления может быть тот факт, что при обороте пласта его центр тяжести поднимается над дном борозды дважды. Первый раз когда поперечное сечение пласта вращается относительно ребра Д, второй – при смене опорного ребра и вращении пласта вокруг ребра С. В результате средняя линия пласта О–О'–О'' приобретает изогнутый вид (рис. 2). Проекция изогнутой линии на плоскость дна борозды всегда короче, чем длина самой линии, поэтому, если специально не растягивать пласт, он неминуемо должен переместиться в продольном направлении в сторону заземленного конца на некоторую величину ΔL.

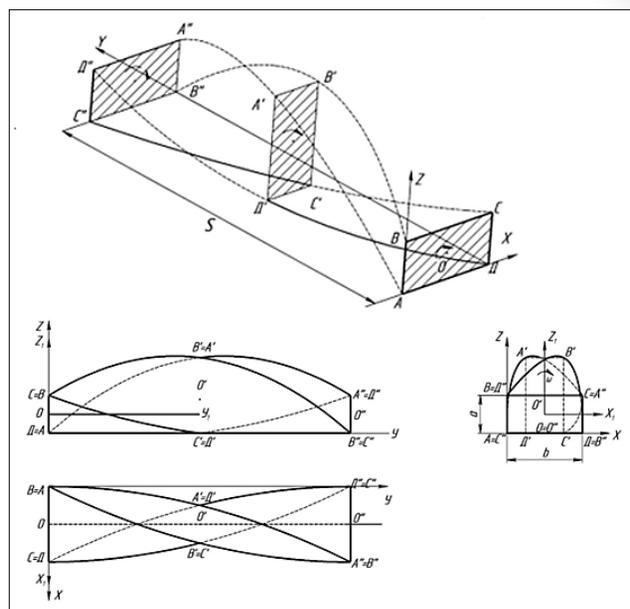


Рис. 2. Кинематика теоретического пласта при обороте в собственную борозду

Fig. 2. Kinematics of the theoretical soil layer during inversion into its own furrow

Усредненные значения результатов исследования пластиковой модели почвенного пласта приведены в таблице.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Наблюдения за кинематикой модели пласта, в которой коэффициент устойчивости  $k = b/a = 2$ , а коэффициент закрутки  $\mu = S/b = 2,5$ , показали, что при закрутке в свою борозду пласт перемещается в продольном направлении на 3 мм, что составляет 5,8% его первоначальной длины. Ребра пласта при этом подвергаются растяжению, причем величина деформации ребер А и В (34,62%) примерно в 3 раза превышает деформацию ребер С и Д (11,54%).

Величина продольного перемещения при закручивании пластиковой модели пласта в соседнюю борозду составила 19,23% от первоначальной длины, а деформация ребер А и Д равна 48,08%, что в 1,4 раза больше деформации аналогичных ребер пласта при обороте в собственной борозде.

Выявленный эффект продольного перемещения пласта до сих пор не подвергался теоретическим исследованиям. С целью проведения всестороннего анализа необходимо составить математическую модель, описывающую процесс оборота пласта.

Если принять условие, что средняя линия пласта О–О'–О'' одновременно является и нейтральной, т.е. напряжения сжатия и растяжения в ней равны нулю, тогда величина продольного перемещения пласта определится разницей между длиной средней линии пласта  $L_0$  и расстоянием, на котором осуществляется закрутка пласта:

$$S = \mu \cdot b = \mu \cdot k \cdot a, \text{ т.е. } \Delta L = L_0 - S,$$

Кинематические параметры пластиковой модели пласта Kinematic parameters of the soil layer model made of plastic					
Показатели	S, мм	L (0-π), мм	L <sub>0</sub> , мм	E, %	ΔL, мм
Ребро А	50 (48)	70 (77)	52 (52)	34,62 (48,08)	3 (10)
Ребро В	50 (48)	70 (77)	52 (52)	34,62 (48,08)	3 (10)
Ребро С	50 (48)	58 (52)	52 (52)	11,54 (0)	3 (10)
Ребро Д	50 (48)	58 (52)	52 (52)	11,54 (0)	3 (10)

S – расстояние, на котором происходит закрутка модели пласта на π рад, мм; L (0-π) – длина ребер и средней линии модели пласта после его оборота на π рад., мм; L<sub>0</sub> – первоначальный продольный размер модели пласта, участвующий в обороте, мм; E – деформация ребер модели пласта, %; ΔL – продольное перемещение поперечного сечения модели пласта, мм.  
В скобках указано значения при укладке модели пласта в соседнюю борозду.

$$\text{или } \Delta L = \mu \cdot k \cdot a \cdot \left( \frac{2}{\pi} \cdot \sqrt{1 + \frac{\pi^2(k^2 + 1)}{4 \cdot \mu^2 \cdot k^2}} \times \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - \frac{\pi^2(k \cdot \sin \alpha + \cos \alpha)^2}{4 \cdot \mu^2 \cdot k^2 + \pi^2(1 + k^2)}} d\alpha - 1 \right). \quad (1)$$

Анализ полученной зависимости показывает, что величина продольного перемещения пласта ΔL прямо пропорциональна его толщине и зависит от коэффициентов k и μ. Графические зависимости продольного перемещения пласта ΔL от k и μ в интервале оборота от 0 до 90° показаны на рисунке 3.

Характеры графических зависимостей носят вид плавных кривых. С увеличением коэффициента устойчивости пласта k величина перемещения ΔL возрастает, и наоборот, с ростом коэффициента закрутки пласта μ, перемещение ΔL плавно уменьшается. При толщине пласта a = 15 см продольное перемещение максимальное ΔL = 9,2 см при k = 2,6, μ = 1,5 и минимальное ΔL = 1,6 см при k = 1,0; μ = 4,0. С увеличением толщины пласта до a = 30 см максимальное значение перемещения ΔL = 18,3 см при k = 2,6; μ = 1,5, а минимальное значение ΔL = 3,3 см при k = 1,0; μ = 4,0. Таким образом, видно, что с ростом толщины пласта в два раза его максимальное и минимальное перемещения в продольном направлении также увеличиваются в два раза.

Наличие продольного перемещение пласта говорит о том, что он приобретает в процессе оборота не только угловое, но и продольное ускорение, которое определяется по формуле:

$$a_{\text{пр}} = (V_{\text{max}} - V_0) / t, \quad (2)$$

где V<sub>max</sub> – максимальная продольная скорость поперечного сечения пласта при его обороте в собственной борозде, м/с; V<sub>0</sub> – начальная скорость поперечного сечения пласта, м/с; t – время, за которое происходит изменение скорости продольного перемещения пласта, с.

Время t определяется как отношение величины продольного перемещения поперечного сечения пласта в интервале оборота от 0 до 90° – ΔL/2 к средней скорости движения (V<sub>max</sub> – V<sub>0</sub>) / 2

$$t = \Delta L / (V_{\text{max}} - V_0).$$

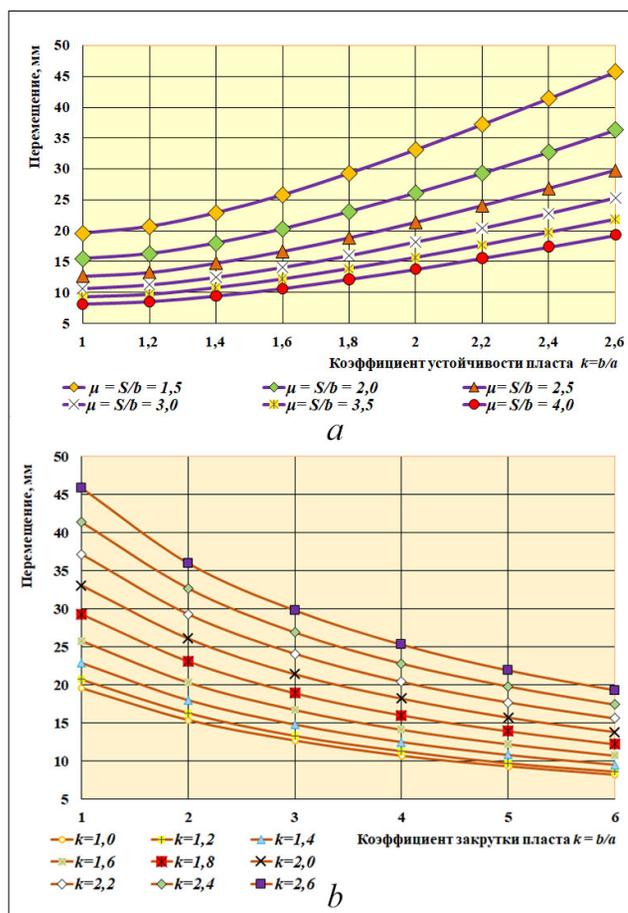


Рис. 3. Продольное перемещение теоретического пласта в интервале от 0 до 90° при толщине пласта a = 0,15 м: а – в зависимости от коэффициента μ, при различных значениях коэффициента k; б – в зависимости от коэффициента k, при различных значениях коэффициента μ  
Fig. 3. Longitudinal displacement of the theoretical soil layer in the range from 0 to 90° at a soil layer thickness of a = 0.15 m: a – as a function of coefficient μ, at different values of coefficient k; b – as a function of coefficient k, at different values of coefficient μ

За время оборота поперечного сечения продольная скорость пласта вначале увеличивается от 0 (начальное положение) до максимума при обороте пласта на 90°, а затем вновь уменьшается до 0 (конечное положение) [12, 13]. Такое изменение скорости соответству-

ет общей схеме протекания естественных процессов, описанных академиком В.П. Горячкиным [14, 15].

Время  $t$ , за которое происходит изменение скорости продольного перемещения пласта, соответствует времени, за которое деформатор (корпус плуга) проходит расстояние, равное половине длины оборачиваемого пласта  $L_0/2$ . Из этого следует:

$$t = L_0 / 2 \cdot V_{\text{АГР}} \quad (3)$$

при  $V_0 = 0$ ,  $V_{\text{max}}$  определяется из соотношения:

$$V_{\text{max}} = (2 \cdot \Delta L \cdot V_{\text{АДТ}}) / L_0 \quad (4)$$

С учетом обусловленных закономерностей формулу по определению продольного ускорения (2) можно преобразовать следующим образом:

$$a_{\text{ПР}} = \frac{V_{\text{max}} - V_0}{t} = \frac{V_{\text{max}}}{t} = \frac{2 \cdot \Delta L \cdot V_{\text{АГР}}}{t \cdot L_0} = 4 \cdot \Delta L \cdot \left( \frac{V_{\text{АГР}}}{L_0} \right)^2 \quad (5)$$

Ускорение пласта вначале имеет положительное значение (от 0 до 90°), а затем отрицательное (от 90 до 180°). Величина продольного ускорения прямо пропорционально квадрату скорости деформатора

$V_{\text{АГР}}$  и значению продольного перемещения  $\Delta L$ .

Таким образом, проведенный анализ позволил установить зависимости (1), (4), (5) для определения величины продольного перемещения  $\Delta L$ , а также скорость  $V_{\text{max}}$  и ускорение  $a_{\text{ПР}}$  поперечного сечения пласта при осуществлении оборота в свою борозду в зависимости от кинематических параметров  $a, b, S, L_0, V_{\text{АГР}}$ . Следует предполагать, что при взаимодействии с отвалом продольное перемещение пласта за счет сил трения должно возрасти.

**Выводы.** Получены зависимости, характеризующие продольное перемещение почвенного пласта при его обороте во время обработки почвы. Проведена оценка величины продольного перемещения пласта  $\Delta L$ , которое прямо пропорционально его толщине и зависит от коэффициентов устойчивости  $k$  и закрутки  $\mu$ . Определены скорость  $V_{\text{max}}$  и ускорение  $a_{\text{ПР}}$  поперечного сечения пласта при осуществлении оборота в свою борозду в зависимости от кинематических параметров.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гареев И.Ф., Хабибуллин Р.Ф., Мударисов С.Г. Современные технологии обработки почвы: комплексный анализ эффективности и условий применения // *Российский электронный научный журнал*. 2025. N1 (55). С. 134-143. DOI: 10.31563/2308-9644-2025-55-1-134-143.
2. Косолапов В.М., Цыгуткин А.С., Алдошин Н.В., Лылин Н.А. Агронимические основы инженерного обеспечения биологизации земледелия // *Кормопроизводство*. 2022. N3. С. 41-47. DOI: 10.25685/krm.2022.3.2022.007.
3. Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Методологические аспекты стандартизации машинных технологий производства продукции растениеводства // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N1 (34). С. 61-67. EDN: WDXYHY.
4. Трубилин Е.И., Масловский В.И., Дробот В.А. и др. Многомашинные агрегаты для основной обработки почвы // *Техника и оборудование для села*. 2017. N12. С. 10-15. EDN: ZXYGID.
5. Старовойтов С.И., Ценч Ю.С., Коротченя В.М., Личман Г.И. Технические системы цифрового контроля качества обработки почвы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N1. С. 16-21. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21.
6. 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. DOI: 10.1016/j.jterra.2023.06.001.
7. Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С., Квас С.А. Развитие технологий полосной энергоресурсосберегающей обработки почвы // *Технический сервис машин*. 2018. Т. 132. С. 232-237. EDN: VLSWCQ.
8. Божко И.В., Пархоменко Г.Г., Громаков А.В. и др. Разработка комбинированного рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы // *Тракторы и сельхозмашины*. 2016. N8. С. 3-6. DOI: 10.17816/0321-4443-66172.
9. Белоусов С.В., Рыков В.Б., Камбулов С.И., Туровский Б.В. Разрушение слоя почвы рабочими органами плоскорезающего типа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. N1. С. 61-68. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-61-68.
10. Mudarisov S., Farkhutdinov I., Khamaletdinov R. et al. Evaluation of the significance of the contact model particle parameters in the modelling of wet soils by the discrete element method. *Soil & Tillage Research*. 2022. Vol. 215. 105228. DOI: 10.1016/j.still.2021.105228.
11. Лобачевский Я.П., Шаров В.В., Алдошин Н.В. и др. Теоретические аспекты оборота пласта в габаритах собственной борозды // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N4. С. 4-9. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-4-9.
12. Коротченя В.М., Ценч Ю.С., Лобачевский Я.П. Система машин как фактор научно-технического прогресса в агропромышленном комплексе // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2024. N4. С. 67-72. DOI: 10.31857/S250026272404012.
13. Мударисов С.Г., Фархутдинов И.М., Аминов Р.И. Моделирование технологического процесса обработки почвы MDE и CFD-методами // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N3 (32). С. 147-155. EDN: DDZGFU.
14. Миронова А.В. Технологические и физико-механические свойства задерненных почв // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N1. С. 63-68. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-1-63-68.
15. Драняев С.Б., Чаткин М.Н., Корявин С.М. Моделирование работы винтового г-образного ножа почвообрабатывающей фрезы // *Тракторы и сельхозмашины*. 2017. N7. С. 13-19. EDN: ZDNIHX.

## REFERENCES

- Gareev I.F., Khabibullin R.F., Mudarisov S.G.. Modern soil cultivation technologies: comprehensive analysis of efficiency and conditions of application. *Russian Electronic Scientific Journal*. 2025. N1(55). 134-143 (In Russian). DOI: 10.31563/2308-9644-2025-55-1-134-143
- Kosolapov V.M., Tsygutkin A.S., Aldoshin N.V., Lylin N.A. Mechanized agronomy as means for arable farming biologization. *Kormoproizvodstvo*. 2022. N3. 41-47 (In Russian). DOI: 10.25685/krm.2022.3.2022.007.
- Beilis V.M., Tsench Yu.S. Methodological aspects of standardization of machine technologies for crop production. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2019. N1 (34). 61-67 (In Russian). EDN: WDXYHY.
- Trubilin E.I., Maslovsky V.I., Drobot V.A. Multi-machine units for basic soil cultivation. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2017. N12. 10-15 (In Russian). EDN: ZXYGID.
- Starovoytov S.I., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M., Lichman G.I. Technical systems for digital soil quality control. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020, Vol. 14. N1. 16-21 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21.
- 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.
- 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.
- Bozhko I.V., Parkhomenko G.G., Gromakov A.V. et al. Development of combined working organ for graded sub-surface tillage. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2016. N8. 3-6 (In Russian). DOI: 10.17816/0321-4443-66172.
- Belousov S.V., Rykov V.B., Kambulov S.I., Turovsky B.V. Soil Layer destruction by flat-cutting working bodies. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 61-68 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-61-68.
- Mudarisov S., Farkhutdinov I., Khamaletdinov R. et al. Evaluation of the significance of the contact model particle parameters in the modelling of wet soils by the discrete element method. *Soil & Tillage Research*. 2022. Vol. 215. 105228 (In English). DOI: 10.1016/j.still.2021.105228.
- Lobachevsky Ya.P., Sharov V.V., Aldoshin N.V. et al. 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.
- Korotchenya V.M., Tsench Yu.S., Lobachevsky Ya.P. The machine system as a factor of scientific and technological progress in agro-industrial complex. *Russian Agricultural Sciences*. 2024. N4. 67-72 (In Russian). DOI: 10.31857/S250026272404012.
- Mudarisov S.G., Farkhutdinov I.M., Aminov R.I. Modeling of technological process of tillage MDE and CFD methods. *Innovations in agriculture*. 2019. N3 (32). 147-155 (In Russian). EDN: DDZGFU.
- Mironova A.V. Technological and physico-mechanical properties of blackened soils. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022 Vol. 16. N1. 63-68 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-1-63-68.
- Dranyaev S.B., Chatkin M.N., Koryavin S.M. Modeling the operation of a screw L-shaped knife of a tiller. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2017. N7. 13-19 (In Russian). EDN: ZDNIHX.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Заявленный вклад соавторов:

Ценч Ю.С. – написание текста статьи;

Лобачевский Я.П. – руководство исследованием, концептуализация, создание окончательной версии (доработка) и редактирование рукописи;

Шаров В.В. – методология статьи, проведение исследования; Алдошин Н.В. – администрирование проекта, создание черновика рукописи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

### Coauthors' contribution:

Tsench Yu.S. – writing the manuscript text;

Lobachevsky Ya.P. – research supervision, conceptualization, preparation of the final manuscript (revision), and editing; Sharov V.V. – methodology of the article, conducting the research; Aldoshin N.V. – project administration, preparation of the manuscript draft.

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

27.06.2025

25.08.2025