

## Влияние геометрических и установочных параметров плужных рабочих органов на агротехнические и силовые характеристики

**Сергей Алексеевич Сидоров**,  
доктор технических наук,  
главный научный сотрудник;  
**Яков Петрович Лобачевский**,  
академик Российской академии наук,  
доктор технических наук, профессор,  
главный научный сотрудник;

**Денис Александрович Миронов**,  
кандидат технических наук, старший научный  
сотрудник, e-mail: mironov-denis87@mail.ru;  
**Андрей Сергеевич Золотарев**,  
инженер

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Провели анализ влияния геометрических и установочных параметров плужных рабочих органов на агротехнические показатели и тяговое сопротивление плуга. (*Цель исследования*) Определить агротехнические показатели качества обработки почвы в зависимости от типа отвалов и обосновать выбор оптимального отвала для суглинистых почв. (*Материалы и методы*) К агротехническим показателям отнесли крошение, оборот пласта, степень заделки растительных остатков. Увеличение комковатости при вспашке суглинистых почв происходит с ростом содержания глинистых частиц. Угол установки плужного корпуса относительно стенки борозды изменяли посредством выкручивания среднего болта крепления стойки корпуса плуга к раме и постановкой дополнительных шайб на одно из двух оставшихся болтовых соединений. Для экспериментов по влиянию угла наклона лемешно-отвальной поверхности относительно стенки борозды плужные корпуса устанавливали под углами от 30 до 55 градусов. (*Результаты и обсуждение*) Установили, что при углах 30-35 градусов, диаметр комков возрастал до значений, превышающих допустимую норму на 10-20 процентов. Увеличение угла более 45 градусов снизило диаметр комков до 10-30 миллиметров. С увеличением угла до 50-55 градусов наблюдался переход от стружки отрыва к стружке сдвига. Определили тяговое сопротивление плуга с различными типами отвалов. Выявили идентичность результатов аналитического расчета и экспериментальных данных в полевых испытаниях с использованием динамометра. Тяговое сопротивление плуга снижается при переходе от использования цилиндрических отвалов к винтовым. (*Выводы*) Определили, что с увеличением угла установки лемешно-отвальной поверхности к стенке борозды снижается размер почвенных фрагментов, а стружка отрыва переходит в стружку сдвига. Доказали, что на суглинистых почвах культурные и полувинтовые отвалы характеризуются лучшими агротехническими показателями. **Ключевые слова:** плуг, отвал, лемех, суглинистые почвы, тяговое сопротивление, крошение почвенного пласта, оборот пласта, заделка растительных остатков.

■ **Для цитирования:** 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. №2. С. 10-16. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-10-16.

## Influence of Geometric and Setup Parameters of the Arrangement of Working Tools on Agrotechnical and Power Characteristics

**Sergey A. Sidorov**,  
Dr.Sc.(Eng.), chief research engineer;  
**Yakov P. Lobachevskiy**,  
member of RAS, Dr.Sc.(Eng.), professor,  
chief research engineer;

**Denis A. Mironov**,  
Ph.D.(Eng.), senior research engineer;  
**Andrey S. Zolotarev**,  
engineer

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The paper contains the analysis results of the influence of geometric and setup parameters of the plow working tools on agrotechnical indicators and traction resistance of a plow. (*Research purpose*) To determine the agrotechnical indicators of tillage

quality depending on the type of a plow moldboard and determine the optimal moldboard for loamy soils. (*Materials and methods*) Agrotechnical indicators included crumbling, soil layer turnover, and the incorporation (embedding) degree of plant residues. More intensive lumpiness is observed as the content of clay particles increases. The angle of plow body setup relative to the furrow walls is changed using the middle bolts securing the plow body rack of the frame and installing additional washers on one of the two remaining bolted joints. For experiments on the influence of the inclination angle of the plow-bottom surface relative to the furrow wall, the plow bodies were located at angles of 30 to 55 degrees. (*Results and discussion*) It has been established that at angles of 30-35 degrees, the diameter of clods increases to values exceeding the permissible norm by 10-20 percent. An increase in the angle of more than 45 degrees reduced the diameter of clods to 10-30 millimeters. With an increase in angle to 50-55 degrees, shearing chips changed into shifting chips. The authors determined traction resistance of plows with various types of moldboards and identified the results of analytical calculations and experimental data in field trials using a dynamometer. Traction resistance of the plow decreases as cylinder moldboards are substituted with screw (auger-type) ones. (*Conclusions*) It has been determined that as the angle of plow body setup relative to the furrow walls increases, the size of soil fragments decrease, and shearing chips change into shifting chips. It has been proved that general-purpose and half-screw moldboards demonstrate the best agrotechnical indicators on loamy soils

**Keywords:** plow, moldboard, ploughshare, loamy soils, traction resistance, soil layer destruction, soil layer turnover, incorporation of plant residues.

■ **For citation:** 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. 10-16 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-10-16.

**Н**а 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, и установочные параметры их расположения относительно дна и стенки образующейся при обработке почвы борозды. Влияют они и на тяговое сопротивление.

**Цель исследования** – определить агротехнические показатели качества обработки почвы при изменении геометрических параметров в конструкции рабочих органов и установочных показателей их расположения относительно дна и стенки борозды; обосновать выбор типа отвала для суглинистых почв.

**Материалы и методы.** К агротехническим показателям качества при обработке почвы были отнесены крошение, оборот пласта, степень заделки растительных остатков.

Крошение напрямую связано с расположением лемешно-отвальной поверхности рабочих органов и установкой лемеха по отношению к стенке борозды. Степень крошения определяют по среднему диаметру почвенных фрагментов. На крошение большое влияние оказывают также физико-механические свойства почвы, ее твердость, влажность [1]. Лучшие показатели по крошению имеют легкие почвы песчаного и супесчаного механического состава. Увеличение комковатости происходит с ростом содержания глинистых частиц, особенно на тяжелосуглинистых черноземах с содержанием глинистой фракции до 50-70% по объему и почвах глинистого состава, где объем-

ная доля глины превышает 80% [2].

Заделка растительных и пожнивных остатков на дно борозды необходима для нейтрализации корневых систем, остающихся после уборочных работ. На полях образуется дополнительный перегной, что способствует лучшему росту, развитию и созреванию последующих посевных культур.

Плужный рабочий орган для подрезания пласта представляет собой лемех, состоящий из трапециевидной основы и накладного долота. Рабочий орган предназначен для отечественных плугов общего назначения, выпускаемых в настоящее время. Геометрические параметры, влияющие на силовые и агротехнические показатели вспашки, приняты в соответствии с данными анализа опубликованных материалов и результатов собственных исследований [3, 4].

Вылет долота составлял 40 мм, угол заострения режущей части – 7° [5]. Лицевая поверхность рабочего органа представляла плоскость.

Угол установки относительно стенки борозды изменяли посредством выкручивания среднего болта крепления стойки корпуса плуга к раме и постановки дополнительных шайб на одно из двух оставшихся болтовых соединений. При постановке шайб под первый болт угол между лезвием рабочего органа и стенкой борозды уменьшали, под последний – увеличивали.

Агротехнические показатели почвенного состава имели следующие характеристики: механический состав – тяжелосуглинистый чернозем, твердость в период испытаний 3,1 МПа на глубине 25-27 см, влажность 12-15%, послеуборочные пожнивные остатки – ячмень, кукуруза.

Почвообрабатывающий агрегат включал трактор МТЗ-82, плуг ПЛН-3-35. Скорость движения агрегата – 2,2 м/с. Дальность движения при каждом эксперименте – 100-110 м.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Острота лезвия и вылет долота лемеха влияют на заглубляющую способность и силовые характеристики плуга [6-8]. В проведенных экспериментах испытывали лемехи, угол заострения лезвия которых составлял  $7^\circ$ . Такой угол принят на основании предыдущих испытаний по определению оптимальной геометрии режущей части плужных рабочих органов. Вылет долота равнялся 40 мм.

Для экспериментов по влиянию угла наклона лемешно-отвальной поверхности по лезвию относительно стенки борозды плужные корпуса устанавливали под углами 30; 35; 38; 40; 42; 45; 50 и  $55^\circ$  относительно стенки борозды.

В задачу данного исследования входило определение оптимальных значений угла установки корпуса плуга относительно стенки борозды  $\beta$  при работе на тяжелосуглинистых почвах (рис. 1).

Исследование проводили с использованием куль-

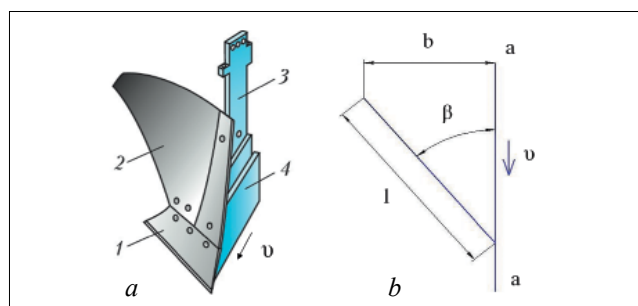


Рис. 1. Корпус плуга (а) и схема его установки относительно стенки борозды (b): 1 – лемех, 2 – отвал, 3 – стойка, 4 – полевая доска, а-а – линия расположения стенки борозды; b – ширина захвата плужного корпуса; l – длина рабочего органа, подрезающего пласт;  $\beta$  – угол установки корпуса плуга относительно стенки борозды

турных отвалов. При значении угла  $\beta = 30-35^\circ$  размер комков превышал допустимые нормативные значения на 10-20%. При  $\beta = 40-42^\circ$  среднее значение диаметра комков составило 20-50 мм, что укладывается в агротехнические нормы. Если  $\beta$  превышает  $45^\circ$  (в экспериментах  $50^\circ$  и  $55^\circ$ ), то средний диаметр комков снижается до 10-30 мм. При этом в ряде случаев наблюдался переход от стружки отрыва к стружке сдвига, что непременно вызовет увеличение тягового сопротивления плуга [9]. Кроме того, чрезмерное снижение значений комковатости поверхностного слоя

турных отвалов. При значении угла  $\beta = 30-35^\circ$  размер комков превышал допустимые нормативные значения на 10-20%. При  $\beta = 40-42^\circ$  среднее значение диаметра комков составило 20-50 мм, что укладывается в агротехнические нормы. Если  $\beta$  превышает  $45^\circ$  (в экспериментах  $50^\circ$  и  $55^\circ$ ), то средний диаметр комков снижается до 10-30 мм. При этом в ряде случаев наблюдался переход от стружки отрыва к стружке сдвига, что непременно вызовет увеличение тягового сопротивления плуга [9]. Кроме того, чрезмерное снижение значений комковатости поверхностного слоя

почвы (менее 10-20 мм в диаметре) может привести при осенней послеуборочной вспашке к росту ее уплотнения и, соответственно, понижению кислородного и водного проникновения в зимне-весенний период, что отрицательно скажется на предпосевной обработке почвы и урожайности посевных культур [10]. По указанным причинам обоснованным углом  $\beta$  можно считать  $40-42^\circ$  для наиболее распространенных в средней полосе РФ суглинистых почв.

Помимо крошения, оценивали оборот почвенного пласта и степень заделки растительных остатков. Для этого использовали четыре основных типа отвалов: цилиндрический марки ПЦО.8.30/45.3-5, культурный ПНЧС-401, полувинтовой П401А и винтовой РЗЗ-4-01.

На суглинистых почвах твердостью 2,7-4,1 МПа лучшие результаты по обороту пласта и заделке растительных остатков показал полувинтовой отвал, который при вспашке обеспечивал полный оборот пласта и заделку стерни. Растительные остатки запахивались на 15-17 см от поверхности пашни, что удовлетворяет допустимым нормам, а количество почвенных фрагментов диаметром более 5 см не превышало 10%.

При вспашке с использованием культурных отвалов на почвах твердостью 2,7-3,5 МПа отмечены хорошее крошение и заделка растительных остатков, однако дальнейшее увеличение твердости повышало тяговое сопротивление. Это связано с повышением давления на лемешно-отвальную поверхность.

У винтовых отвалов оборот пласта имел удовлетворительные значения. Винтовая поверхность отвала улучшает скольжение почвенных частиц вследствие снижения угла трения почвы о металл [11]. Но при этом увеличиваются почвенные фрагменты и снижается качество крошения, вплоть до глыбообразования [12].

После вспашки плугами с различными видами отвалов может проявляться существенная разница в качестве обработки полей (рис. 2).

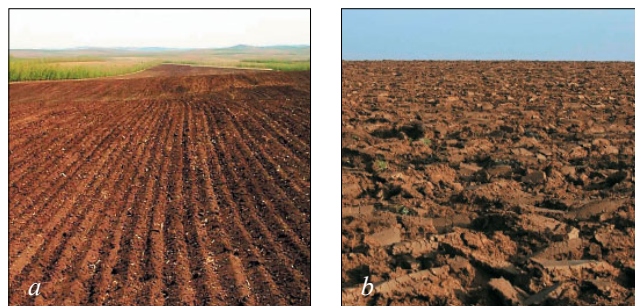


Рис. 2. Вид поверхности полей при вспашке плугом: а – на легкосуглинистых почвах, с применением цилиндрических отвалов; б – на задернелых целинных почвах, с применением винтовых отвалов

Fig. 2. View of the field surface during plowing: a – on light loamy soils using cylindrical moldboards; b – on sod-covered virgin soils using screw (auger-type) moldboards



Цилиндрический отвал на корпусе плуга поставлен достаточно круто, в соответствии с углом  $\alpha$  наклона лемешно-отвальной поверхности к дну борозды (рис. 3). Подрезанный пласт при подъеме по отвалу резко изгибается, дает трещины и при падении крошится.

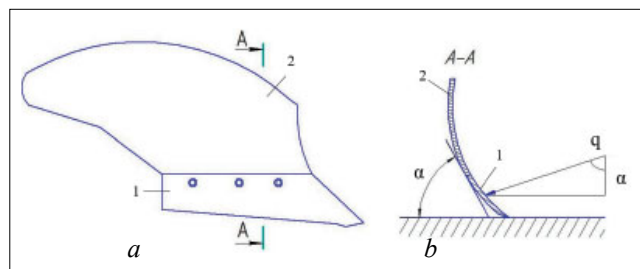


Рис. 3. Лемешно-отвальная поверхность: а – вид спереди; б – вид с торца; 1 – лемех; 2 – отвал;  $\alpha$  – угол наклона плужного корпуса к дну борозды;  $q$  – нормаль к усредненной поверхности корпуса плуга

Fig. 3. The end view of the plow-bottom surface: а – front view; б – end view.; 1 – ploughshare; 2 – blade;  $\alpha$  – inclination angle of the plow body to the furrow bottom;  $q$  – normal to the averaged surface of the plow body

Во время вспашки с цилиндрическим отвалом не бывает полного оборота пласта, но происходит его удовлетворительное рыхление. Этот отвал обеспечивает хорошее качество пахоты на легких и окультуренных землях.

Культурный отвал отличается от цилиндрического большей изогнутостью его верхней части. Он неплохо рыхлит почву и удовлетворительно ее отваливает. Плуги с культурными отвалами применяют на легких почвах и при подъеме травяного пласта.

Полувинтовой отвал занимает промежуточное положение между цилиндрическим и винтовым. Он хорошо оборачивает пласт и частично его крошит. Его используют при вспашке как старопахотных, так и задернелых почв с кустарником.

Сильно задернелую почву (залежей и лугов) пахнут плугом с винтовыми отвалами. Подрезанный пласт, поднимаясь по винтообразно завернутой плоскости, переворачивается и укладывается в борозду, не крошась. Поэтому его необходимо дополнительно рыхлить.

Определим тяговое сопротивление плуга (горизонтальную составляющую) с различными типами отвалов и сопоставим аналитические данные с экспериментальными, полученными в полевых испытаниях.

Горизонтальная составляющая силы тяги, как и вертикальная, зависит от физико-механических свойств почвы, размеров почвенного пласта, углов наклона лемеха к дну и стенке борозды, глубины пахоты, скорости движения агрегата, а также от геометрических параметров корпуса плуга, в том числе от конфигурации отвала [13].

Тяговое сопротивление плуга можно определить по известной формуле В.П. Горячкина [14]:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = fG + kab + \varepsilon v^2 ab, \quad (1)$$

где  $P_1$  – сила, направленная на протаскивание плуга в расчищенной борозде, без работы плужных корпусов при скольжении лемехов и качении колеса по дну борозды, кН;

$P_2$  – полезное сопротивление на деформацию пласта, кН;

$P_3$  – сопротивление отбрасыванию пласта в зависимости от скорости движения плуга, кН;

$k$  – коэффициент сопротивления почвы, кН/м<sup>2</sup>;

$f$  – коэффициент трения почвы о сталь;

$G$  – вес плуга, кН;

$a$  – глубина обработки, м;

$b$  – ширина захвата корпуса плуга, м;

$\varepsilon$  – коэффициент, зависящий от твердости почвы, кН с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;

$v$  – скорость движения плуга, м/с.

В приведенной формуле первый член  $P_1 = fG$  и третий  $P_3 = \varepsilon v^2 ab$ , можно считать постоянными для неизменных почвенных условий и неизменной скорости движения плуга.

Второй член  $P_2 = kab$  не может оставаться постоянным вследствие различающегося давления почвенных частиц на отвальную поверхность по причине неодинаковой геометрической конфигурации отвалов и при изменении скорости вспашки.

Величина  $k$  в формуле (1) названа коэффициентом сопротивления почвы. Этот показатель зависит от веса пласта  $G_{пл}$ , сил инерции пласта  $F_{ин}$  при движении по лемешно-отвальной поверхности, силы трения пласта о металл  $T$  и силы сопротивления почвы деформации  $R_g$  [15].

В этом случае сила сопротивления почвы, приходящаяся на деформацию пласта, находится из уравнения:

$$P_2 = G_{пл} + F_{ин} + T + R_g. \quad (2)$$

Величины  $G_{пл}$ ,  $F_{ин}$ ,  $T$  и  $R_g$ , отражающие тяговое сопротивление по формулам применительно к горизонтальной составляющей силы тяги, равны [7]:

$$G_{пл} = ablp_g;$$

$$F_{ин} = 2abpv^2 \cos\alpha/2;$$

$$T = ablp_g (tg\alpha + tg\varphi),$$

где  $\rho$  – плотность почвы, кг/м<sup>3</sup>;

$\alpha$  – угол наклона корпуса плуга к дну борозды, град.;

$\varphi$  – угол трения почвы по стали, град.

Величина  $R_g$  представляет силы, возникающие при взаимодействии почвенных частиц с лемешно-отвальной поверхностью во время движения пахотного агрегата и создающие напряженное состояние, пик которого наступает в момент разрушения пласта. При этом наибольшее напряжение испытывает носовая часть

лемеха как вершина трехгранного клина, которая первой вонзается в почвенную массу. В этой зоне возникают касательные напряжения, способствующие смятию и разрушению почвенного пласта, и нормальные напряжения, из-за которых возникает первичная трещина и происходит отрыв пласта.

Остальная часть лемешно-отвальной поверхности работает в основном на смятие почвы, а главным компонентом напряженного состояния являются касательные напряжения.

В таком случае величина  $R_g$  примет вид:

$$R_g = R_g^\sigma + R_g^\tau = k_v (\tau_n a_n b_n + \tau_o a_o b_o) \sin \alpha \cos \beta + k_v \sigma_n a_n b_n \sin \alpha \cos \beta = k_v (\tau_n a_n b_n + \tau_o a_o b_o + \sigma_n a_n b_n) \sin \alpha \cos \beta, \quad (3)$$

где  $R_g^\sigma$  – силы, возникающие от нормальных напряжений при отрыве пласта, кН;

$R_g^\tau$  – силы, возникающие от касательных напряжений при деформации пласта, кН;

$k_v$  – коэффициент, зависящий от скорости движения плуга (на суглинистых почвах при скорости 2,0-2,2 м/с его значение составляет 2,5-4,5 в зависимости от твердости почвы);

$\tau_n$  – касательные напряжения в зоне носка, МПа;

$a_n b_n$  – площадь поверхности зоны носка, полученная от произведения глубины резания  $a_n$  на ширину захвата носовой части корпуса плуга  $b_n$ , м<sup>2</sup>;

$\tau_o$  – касательные напряжения на основной площади лемешно-отвальной поверхности, МПа;

$a_o b_o$  – площадь лемешно-отвальной поверхности, полученная от произведения глубины резания  $a_o$  на ширину захвата остова лемеха плужного корпуса  $b_o$ , м<sup>2</sup>;

$\sigma_n$  – нормальные напряжения, возникающие при отрыве пласта, МПа.

Площадь лемешно-отвальной поверхности определяли по отдельной методике [16].

Коэффициент  $\varepsilon$  в формуле (1) зависит от твердости почвы. Лабораторные исследования позволили установить зависимость тягового сопротивления  $P_T$  от твердости абразивной почвенной среды  $H_{\text{анс}}$  [17-19]. Она показала линейное увеличение  $P_T$  с ростом твердости, описываемое уравнением:

$$P_T = K_M H_{\text{анс}}$$

где  $P_T$  – тяговое сопротивление, кН;

$K_M$  – коэффициент, зависящий от механического состава почвы, кН·МПа<sup>-1</sup>;

$H_{\text{анс}}$  – твердость абразивной почвенной среды, МПа.

Для суглинистых почв с содержанием глины 70-80%  $K_M$  находится в пределах 0,6-0,9 кН·МПа<sup>-1</sup>, при этом  $\varepsilon = 4200-5100 \text{ Нс}^2/\text{м}^4$ , что согласуется с исследованиями академика В.П. Горячкина.

Таким образом, формула (1) принимает вид:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = fG + kab + \varepsilon v^2 ab = fG + ablp_g + 2abpv^2 \cos \alpha / 2 + ablp_g(tg \alpha + tg \varphi) + k_o (\tau_n a_n b_n + \tau_o a_o b_o + \sigma_n a_n b_n) \sin \alpha \cos \beta. \quad (4)$$

Результаты полевых испытаний, проведенных на суглинистых почвах твердостью 3,1 МПа, и данных аналитического расчета показали идентичность в определении тяговых характеристик плуга. Получены данные исследования физико-механических свойств почвы, на которой проходили испытания, а также характеристики условий проведения испытаний:

- плотность почвы  $\rho = 1400 \text{ кг/м}^3$ ;
- скорость движения плуга  $v = 2,2 \text{ м/с}$ ;
- глубина обработки  $a = 0,22 \text{ м}$ ;
- ширина захвата корпуса плуга  $b = 0,35 \text{ м}$ ;
- длина лемешно-отвальной поверхности на глубине пахоты  $l = 0,6 \text{ м}$ ;
- максимальные касательные напряжения в носовой части лемеха  $\tau_n = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ;
- максимальные касательные напряжения на остове лемеха  $\tau_o = 0,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$ ;
- максимальные нормальные напряжения в носовой части лемеха  $\sigma_n = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ;
- глубина резания в зоне носка  $a_n = 0,4 \text{ м}$ ;
- ширина захвата в зоне носка  $b_n = 0,06 \text{ м}$ ;
- глубина резания в зоне остова лемеха  $a_o = 0,22 \text{ м}$ ;
- ширина захвата по остову лемеха  $b_o = 0,3 \text{ м}$ ;
- вес плуга  $G = 3,5 \text{ кН}$ ;
- вес почвенного пласта  $G_{\text{пл}} = 0,14 \text{ кН}$ ;
- угол наклона плужного корпуса к дну борозды  $\alpha = 85^\circ$ ;
- угол наклона лемешно-отвальной поверхности к стенке борозды  $\beta = 40^\circ$ ;
- ускорение свободного падения  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;
- угол трения почвы по стали  $\varphi = 30^\circ$ ;
- коэффициент трения почвы по стали  $f = 0,4$ ;
- коэффициент, зависящий от твердости почвы,  $\varepsilon = 4,0 \text{ кНс}^2/\text{м}^4$ ;
- коэффициент скорости почвенного агрегата  $K_v = 1,2$ ;
- количество корпусов  $n = 3$ .

В соответствии с показателями физико-механических свойств почвы и условиями проведения полевых испытаний определили результаты аналитического расчета и экспериментальных исследований тягового сопротивления плуга, оснащенного полувинтовыми отвалами:

- сила, направленная на протаскивание плуга в расчищенной борозде, без работы плужных корпусов при скольжении лемехов и качении колеса по дну борозды  $P_1 = 1,4 \text{ кН}$ ;
- полезное сопротивление на деформацию пласта  $P_2 = 12,1 \text{ кН}$ ;
- сопротивление отбрасыванию пласта в зависимости от скорости движения плуга  $P_3 = 4,5 \text{ кН}$ ;
- общее тяговое сопротивление плуга определенное аналитическим путем составило  $P_a = 18,0 \text{ кН}$ ;
- тяговое сопротивление плуга, определенное экспериментально, при проведении полевых испытаний  $P_3 = 17,6 \text{ кН}$ .



Из всех составляющих формулы (1) на силу  $P_2$  приходится более 65% сопротивления движению плуга.

Сравнительный анализ по каждому типу отвалов не проводили вследствие различного назначения для определенных почвенных условий.

Агротехнические показатели, включающие крошение, оборот пласта, степень заделки растительных остатков, позволяют сделать некоторые выводы относительно предпочтения использования тех или иных видов отвалов.

Так, лучшее крошение, как и ожидалось, обеспечивают отвалы с цилиндрической поверхностью. Диаметр комков на испытываемом участке при твердости суглинистой почвы 3,1 МПа не превышал 30-50 мм. Однако при обороте пласта наблюдалось неполное заделывание растительных остатков, нередко нарушалась прямолинейность хода плуга относительно стенки борозды.

Лучшие показатели имели культурные и полувинтовые отвалы. После прохождения борозды почвенные фрагменты имели удовлетворительные размеры, достигался полный оборот пласта. По тяговым характеристикам некоторое преимущество имели полувинтовые отвалы.

У винтовых отвалов наблюдались хорошие показатели по обороту пласта и степени заделки растительных остатков, но крошение почвы оставляло же-

лать лучшего. Во многих местах диаметр комков достигал 100 мм и более.

Таким образом, на суглинистых почвах, наиболее распространенных в центральной зоне, предпочтение можно обоснованно отдать использованию плугов, оснащенных корпусами с культурными и полувинтовыми отвалами.

### Выводы

1. Увеличение комковатости при вспашке суглинистых почв происходит с ростом содержания глинистых частиц.

2. При увеличении угла установки лемешно-отвальной поверхности к стенке борозды снижаются размеры почвенных фрагментов с переходом от стружки отрыва к стружке сдвига, что может вызвать повышение тягового сопротивления плуга.

3. Тяговое сопротивление плуга с винтовыми отвалами ниже, чем с цилиндрическими. Это связано с уменьшением угла наклона отвальной поверхности к дну борозды, что снижает давление почвы на лцевую поверхность отвала.

4. Лучшие агротехнические параметры при вспашке суглинистых почв показали культурные и полувинтовые отвалы.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каштанов А.Н., Сизов О.А. Проблемы восстановления угодий, выбывших из сельскохозяйственного использования // *Экономика сельского хозяйства России*. 2008. N11. С. 174-176.
2. Лобачевский Я.П. Прочностные и деформационные свойства связанных задерненных почв // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. N 3. С18-21.
3. Лискин И.В., Миронов Д.А. Влияние почвенных условий на износ рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. N5. С. 29-31.
4. Karmakar S., Kushwaha R. CFD Simulation of Soil Forces on a Flat Tillage Tool. *ASAE Meeting Presentation*. 2005. N2. 56-61.
5. Лискин И.В., Панов А.И., Горбачев И.В. Результаты испытаний лемехов с накладным долотом // *Сельский механизатор*. 2017. N5. С. 8-9.
6. Миронов Д.А., Лискин И.В., Сидоров С.А. Влияние геометрических параметров долота на тяговые характеристики и ресурс лемехов отечественных плугов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. N6. С. 25-29.
7. Лискин И.В., Миронов Д.А., Сидоров С.А. Равновесие плуга в продольно-вертикальной плоскости // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. N6. С. 41-46.
8. Сидоров С.А., Миронов Д.А. Обоснование повышения эксплуатационных характеристик лемехов плугов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. N6. С.14-17.
9. Izmailov A.Yu., Liskin I.V., Lobachevsky Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkow V.K., Mironova A.V., Luznova E.S. Simulation of soil-cutting blade wear in an artificial abrasive environment based on the similarity theory. *Russian Agricultural Sciences*. 2017. Vol. 43. N1. 71-74.
10. Raper R.L., Reeves D.W., Burt E.C. Using In-Row Subsoiling to Minimize Soil Compaction Caused by Traffic. *The Journal of Cotton Science*. 1998. N2. 130-135.
11. Лобачевский Я.П., Колчина Л.М. Современное состояние и тенденции развития почвообрабатывающих машин. М.: Росинформагротех. 2005. 116 с.
12. Руденко Н.Е., Падальцин К.Д. Исследование процесса взаимодействия комбинированного рабочего органа с почвой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. N2. С. 26-29.
13. Лобачевский Я.П., Панов А.И., Панов И.М. Перспективные направления совершенствования конструкций лемешно-отвальных плугов // *Тракторы и сельхозмашины*. 2000. N5. С. 12-18.
14. Горячкин В.П. Собрание сочинений. Т. 2. М.: Колос. 1965. 459 с.
15. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение. 1977. 328 с.
16. Бурченко П.Н. Механико-технологические основы почвообрабатывающих машин нового поколения. М.: Российская академия сельскохозяйственных наук. 2002. 212 с.
17. Лискин И.В., Лобачевский Я.П., Миронов Д.А., Сидоров С.А., Панов А.И. Результаты лабораторных исследова-



ний почворежущих рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №4. С. 41-47.

18. Мазитов Н.К., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С. Сельскохозяйственная техника: решения и перспективы // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. №3. (32). С. 94-100.

1. Kashtanov A.N., Sizov O.A. Problemy vosstanovleniya ugodiy, vybyvshikh iz sel'skokhozyaystvennogo ispol'zovaniya [Problems of restoring out-of-use farmlands]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2008. N11. 174-176 (In Russian).

2. Lobachevskiy Ya.P. Prochnostnye i deformatsionnye svoystva svyazannykh zadernennykh pochv [Strength and deformation properties of coherent sod-covered soils]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2011. N3. 18-21 (In Russian).

3. Liskin I.V., Mironov D.A. Vliyaniye pochvennykh usloviy na iznos rabochikh organov [Influence of soil conditions on the wear of working tools]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013. 5. 29-31 (In Russian).

4. Karmakar S., Kushwaha R. CFD Simulation of Soil Forces on a Flat Tillage Tool. *ASAE Meeting Presentation*. 2005. N2. 56-61 (In English).

5. Liskin I.V., Panov A.I., Gorbachev I.V. Rezul'taty ispytaniy lemekhov s nakladnym dolotom [Test results of chisel shares]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2017. N5. 8-9 (In Russian).

6. Mironov D.A., Liskin I.V., Sidorov S.A. Vliyaniye geometricheskikh parametrov dolota na tyagovye kharakteristiki i resursy lemekhov otechestvennykh plugov [Influence of the geometrical parameters of the chisel on the traction characteristics and the resource share of domestic plows]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. N6. 25-29 (In Russian).

7. Liskin I.V., Mironov D.A., Sidorov S.A. Ravnovesiye pluga v prodol'no-vertikal'noy ploskosti [Equilibrium of the plow in the longitudinal vertical plane]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2014. N6. 41-46 (In Russian).

8. Sidorov S.A., Mironov D.A. Obosnovaniye povysheniya ekspluatatsionnykh kharakteristik lemekhov plugov [Grounds for improving the operational characteristics of plowshares]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013. N6. 14-17 (In Russian).

9. Izmaylov A.Yu., Liskin I.V., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkova V.K., Mironova A.V., Luznova Ye.S. Simulation of soil-cutting blade wear in an artificial abrasive environment based on the similarity theory. *Russian Agricultural Sciences*. 2017. Vol. 43. N1. 71-74 (In English).

10. Raper R.L., Reeves D.W., Burt E.C. Using In-Row Subsoiling to Minimize Soil Compaction Caused by Traffic. *The Jour-*

19. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Chemisov N.N. Energeticheskaya i tekhnologicheskaya otsenka pochvoobrabatyvayushchego rabochego organa // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. N5. С.10-13.

## REFERENCES

*nal of Cotton Science*. 1998. N2. 130-135 (In English).

11. Lobachevskiy Ya.P., Kolchina L.M. Sovremennoye sostoyaniye i tendentsii razvitiya pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Current state and development trends of tillage machines]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2005. 116 (In Russian).

12. Rudenko N.E., Padal'tsin K.D. Issledovaniye protsessa vzaimodeystviya kombinirovannogo rabochego organa s pochvoy [Study of the interaction of a combined working tool with the soil]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2014. N2. 26-29 (In Russian).

13. Lobachevskiy Ya.P., Panov A.I., Panov I.M. Perspektivnyye napravleniya sovershenstvovaniya konstruktivnykh lemeshno-otval'nykh plugov [Promising directions for improving the design of moldboard plows]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2000. N5. 12-18 (In Russian).

14. Goryachkin V.P. Sbornik sochineniy [Collected works]. Vol. 2. Moscow: Kolos. 1965. 459 (In Russian).

15. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Theory and calculation of tillage machines]. Moscow: Mashinostroeniye. 1977. 328 (In Russian).

16. Burchenko P.N. Mekhaniko-tekhnologicheskie osnovy pochvoobrabatyvayushchikh mashin novogo pokoleniya [Mechanical and technological foundations of a new generation of tillage machines]. Moscow: Rossiyskaya akademiya sel'skokhozyaystvennykh nauk. 2002. 212 (In Russian).

17. Liskin I.V., Lobachevskiy Ya.P., Mironov D.A., Sidorov S.A., Panov A.I. Rezul'taty laboratornykh issledovaniy pochvorenzhushchikh rabochikh organov [Laboratory study results of soil-cutting tools]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N4. 41-47 (In Russian).

18. Mazitov N.K., Shogenov Yu.Kh., Tsench Yu.S. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: resheniya i perspektivy [Agricultural machinery: solutions and prospects]. *Vestnik VIESH*. 2018. N3(32). 94-100 (In Russian).

19. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Chemisov N.N. Energeticheskaya i tekhnologicheskaya otsenka pochvoobrabatyvayushchego rabochego organa [Energy and technological assessment of the tillage working body]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. N5. 10-13 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 27.06.2019**  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 27.06.2019

**Статья принята к публикации 11.05.2020**  
The paper was accepted  
for publication on 11.05.2020