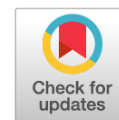


УДК 631.31(470.44)

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-105085>

Оригинальное исследование



Результаты экспериментальных исследований плуга для агрегатирования с тракторами тягового класса 3

В.М. Бойков, С.В. Старцев, А.В. Павлов, Е.С. Нестеров

Саратовский государственный аграрный университет, Саратов, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Для выращивания сельскохозяйственных культур широко применяется технология основной отвальной обработки почвы. На нее затрачивается более 40% энергетических ресурсов, что обусловлено тяговым сопротивлением рабочих органов плугов общего назначения. Технологический процесс вспашки такими органами исторически не претерпел особых изменений. Подрезание почвенного пласта осуществляется лемехом, крошение и оборот отвалом, устойчивость движения корпуса обеспечивается полевой доской. При этом на долю сопротивления полевой доски приходится до 20% суммарной составляющей тягового сопротивления корпуса плуга. Для снижения тягового сопротивления в Саратовском ГАУ разработан корпус плуга, у которого полевая доска отсутствует.

Цель работы – определение тягово-эксплуатационных показателей лемешно-отвального плуга ПБС-5М для агрегатирования с тракторами тягового класса 3 на тяжелосуглинистых почвах.

Материалы и методы. Опыты проводились на дискованном поле после уборки озимого ячменя в Новокубанском районе Краснодарского края. Влажность почвы в слое от 0 до 30 см составляла от 16,4 до 19,7%, твердость почвы – от 1,86 до 2,74 МПа. Масса растительных и пожнивных остатков на участке составляла в среднем 185 г/м², а высота сорных растений в среднем была 10,8 см.

Результаты. Установлены тягово-эксплуатационные показатели пахотного агрегата, состоящего из серийного трактора тягового класса 3 Т-150К и экспериментального плуга ПБС-5М. Опыты проведены в двух вариантах: в комплектации плуга из пяти корпусов при рабочей ширине захвата 2,83 м и вспашке почвы глубину 22 см; в четырехкорпусной комплектации при рабочей ширине захвата плуга 2,27 м на глубину 30 см. В первом варианте режим движения Т-150К+ПБС-5М изменялся в диапазоне рабочей скорости от 7,27 до 9,2 км/ч, во втором до 5,72 км/ч. Определена энергоёмкость пятикорпусного плуга, соответствующая показателям тяговой и мощностной характеристикам трактора тягового класса 3 с небольшим запасом мощности 2,87%. Для работы четырехкорпусного плуга ПБС-5М требуется мощность практически равная эксплуатационной мощности двигателя трактора Т-150К.

Выводы. В результате экспериментальных исследований пахотного агрегата Т-150К+ПБС-5М при обработке дискованного поля после уборки озимого ячменя установлено, что плуг может агрегатироваться тракторами тягового класса 3. Рациональный режим работы плуга в пятикорпусном исполнении обеспечивается при скорости движения 7–8 км/ч и глубине хода рабочих органов 22–21 см. Производительность за время основной работы агрегата составила 2,1–2,3 га/ч, расход топлива 12,9–12,7 кг/га. Удельные энергозатраты агрегата 47,5–46,78 кВт·ч/га, а плуга 31,26–31,4 кВт·ч/га. Загрузка двигателя при буксовании движителей трактора 6,9–9,7% составила 78–86%. При увеличении скорости движения агрегата и увеличении глубины хода рабочих органов значения показателей удельных энергозатрат агрегата и плуга увеличиваются. В полевых исследованиях установлено, что для агрегатирования плуга при скорости до 10 км/ч и глубине вспашки до 30 см в данных агротехнических условиях необходимо применение энергосредства более высокого тягового класса.

Ключевые слова: плуг; трактор; агрегат; скорость; ширина захвата; глубина; мощность; тяговое усилие; производительность; расход топлива.

Для цитирования:

Бойков В.М., Старцев С.В., Павлов А.В., Нестеров Е.С. Результаты экспериментальных исследований плуга для агрегатирования с тракторами тягового класса 3 // *Тракторы и сельхозмашины*. 2022. Т. 89, № 3. С. 207–213. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-105085>

Рукопись получена: 18.03.2022

Рукопись одобрена: 18.04.2022

Опубликована: 15.07.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-105085>

Original study article

Results of experimental studies of the plow for coupling with drawbar category 3 tractors

Vasily M. Boykov, Sergey V. Startsev, Andrey V. Pavlov, Evgeny S. Nesterov

Saratov State Agrarian University, Saratov, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: For the cultivation of agricultural crops, the technology of basic dump tillage is widely used. More than 40% of energy resources are spent on it, due to the traction resistance of the working bodies of general-purpose plows. The technological process of plowing with such bodies has not changed much historically. Pruning of the soil layer is carried out with a ploughshare, crumbling and turning are carried out with a blade, the stability of the movement of the body is provided by a landside plate. At the same time, the resistance of a landside plate accounts for up to 20% of the total component of the traction resistance of the plow body. To reduce the traction resistance, the plow body without a landside plate has been developed in the Saratov State Agrarian University.

AIMS: Determination of towing and operational characteristics of the PBS-5M ploughshare for coupling with drawbar category 3 tractors and operation on heavy loamy soils.

METHODS: The experiments were carried out on the field, cultivated with a disk harrow after winter barley harvesting, in Novokubansky district of Krasnodar Region. The 0–30 cm soil layer had moisture ranged from 16.4 to 19.7% and hardness ranged from 1.86 to 2.74 MPa. The mass of plant and crop residues on the site averaged 185 g/m², and the average height of weed plants was 10.8 cm.

RESULTS: The towing and operational characteristics of the plowing unit, consisting of a serial T-150K drawbar category 3 tractor and an experimental PBS-5M plow, have been determined. The experiments were carried out for two variants of the plow. The first variant has the five-body configuration of the plow with the working grip width of 2.83 m and the plowing depth of 22 cm. The second variant has the four-body configuration of the plow with the working grip width of 2.27 m and the plowing depth of 30 cm. The driving mode of the first variant of the T-150K+PBS-5M unit varied in the operating velocity range from 7.27 to 9.2 km/h, the driving mode of the second variant of the unit was with the operating velocity up to 5.72 km/h. The energy intensity of the five-body plow was determined, corresponding to the traction and power characteristics of a drawbar category 3 tractor with a small power reserve of 2.87%. The PBS-5M four-body plow requires the power, almost equal to the operational power of the T-150K tractor engine.

CONCLUSIONS: As a result of experimental studies of the T-150K+PBS-5M plowing unit when processing the field, cultivated with a disk harrow after winter barley harvesting, it was found that the plow can be coupled with tractors of drawbar category 3. The reasonable mode of operation of the plow with the five-body configuration is provided at the velocity of 7–8 km/h and the plowing depth of 21–22 cm. The output during the main operation time of the unit was 2.1–2.3 ha/h, the fuel consumption was 12.9–12.7 kg/ha. The specific energy consumption of the unit was 47.5–46.78 kWh/ha, and the specific energy consumption of the plow was 31.26–31.4 kWh/ha. The engine load with the track skidding of 6.9–9.7% was 78–86%. With increasing unit velocity and increasing plowing depth, the values of the specific energy consumption of the unit and the plow raise as well. In field studies, it was found that it is necessary to use the tractor of higher drawbar category in order to couple the plow for the velocity up to 10 km/h and the plowing depth up to 30 cm in these agrotechnical conditions.

Keywords: plow; tractor; unit; velocity; grip width; depth; power; towing force; performance; fuel consumption.

Cite as:

Boikov VM, Startsev SV, Pavlov AV, Nesterov ES. Results of experimental studies of the plow for coupling with drawbar category 3 tractors. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2022;89(3):207–213. DOI: <https://orcid.org/10.17816/0321-4443-105085>

Received: 18.03.2022

Accepted: 18.04.2022

Published: 15.07.2022

ВВЕДЕНИЕ

Для выращивания сельскохозяйственных культур широко применяется технология основной отвальной обработки почвы. На нее затрачивается более 40% энергетических ресурсов [1–3], что обусловлено тяговым сопротивлением рабочих органов плугов общего назначения [4–6]. Технологический процесс вспашки такими органами, от создания плуга и по настоящее время, исторически не претерпел особых изменений. Подрезание почвенного пласта осуществляется лемехом, крошение и оборот отвалом, устойчивость движения корпуса обеспечивается полевой доской [3, 5–8]. При этом на долю сопротивления полевой доски приходится до 20% суммарной составляющей тягового сопротивления корпуса плуга [7, 8]. Улучшению энергетических показателей работы лемешно-отвального корпуса посвящено много исследований [9–15]. Изменялась форма и геометрия лемеха, сплошной отвал заменялся полосовым, уменьшалась площадь полевой доски. Для снижения тягового сопротивления в Саратовском ГАУ разработан корпус плуга, у которого полевая доска отсутствует. Устойчивость движения корпуса выполняет левый лемех, закрепленный со стороны необработанной части почвы [16, 17]. Корпус (рис. 1) состоит из стойки 1, правого лемеха 2, отвала 3 и левого лемеха 4. Новые корпуса устанавливаются на плуги серии ПБС (рис. 2) и предназначены для выполнения основной технологической операции – подрезания, крошения и оборота пласта почвы [17]. Боковой левый лемех, установленный вместо полевой доски, подрезает необработанный слой почвы, обеспечивая горизонтальную устойчивость плуга. Экспериментальный плуг ПБС-5М по своим характеристикам предназначен для отвальной обработки почв под зерновые

и технические культуры на глубину до 30 см, не засоренных плитняком, камнями и другими препятствиями, с удельным сопротивлением до 0,14 МПа, твердостью почвы до 4 МПа и влажностью до 30%.

Конструкция плуга ПБС-5М (рис. 2) включает в себя следующие основные механизмы и узлы: раму 1 с навеской 2, реечные механизмы регулировки глубины обработки с опорными пневматическими колесами 3 и пять корпусов 4, закрепленных на основном бруске рамы 1.

Технологический процесс работы плуга ПБС-5М осуществляется следующим образом. Агрегат с отрегулированным на заданную глубину плугом переводится из транспортного положения в рабочее на краю поля и трактор выполняет рабочий ход. Слой почвы подрезается правым лемехом, проходя через крыло отвала корпуса, крошится и оборачивается, заделывая пожнивные остатки и сорные растения, находящиеся на поверхности. После завершения рабочего хода оператор трактора переводит агрегат в транспортное положение, выполняет холостой ход с разворотом для совершения следующего рабочего хода с чередованием способов движения всвал и вразвал.

Цель работы – исследование на тяжелосуглинистых почвах тягово-эксплуатационных показателей лемешно-отвального плуга ПБС-5М для агрегатирования с тракторами тягового класса 3 [19, 20].

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Лабораторно-полевые испытания проводились на опытном участке поля, расположенном в подзоне тяжелосуглинистых почв ООО «Парус АгроГруп» Новокубанского района Краснодарского края. Энергетические испытания выполнялись с помощью тягового тензозвена

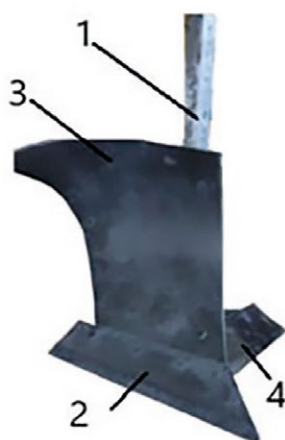


Рис. 1. Корпус плуга: 1 – стойка; 2 – правый лемех; 3 – отвал; 4 – левый лемех.

Fig 1. Plow body: 1 – leg; 2 – right plowshare; 3 – blade; 4 – left plowshare.

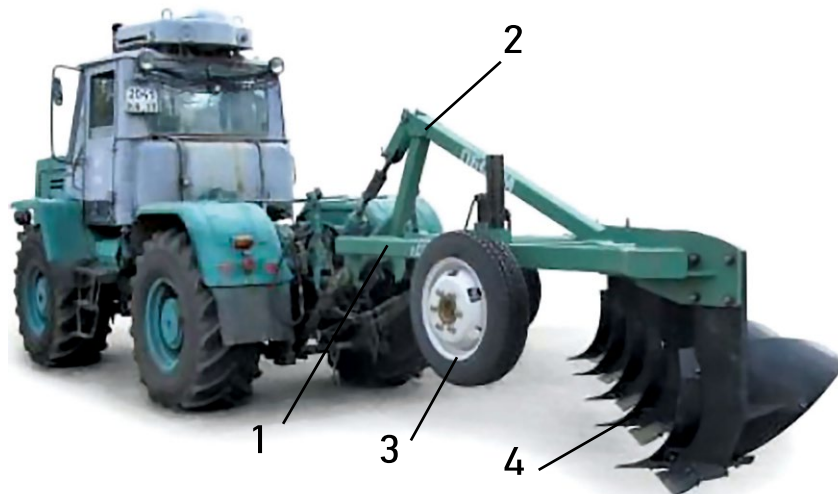


Рис. 2. Навесной плуг ПБС-5М в агрегате с трактором Т-150К: 1 – рама; 2 – навеска; 3 – опорное колесо; 4 – корпус.

Fig 2. The PBS-5M pickup plow, coupled with the T-150K tractor: 1 – frame; 2 – lift hitch; 3 – support wheel; 4 – body.

и измерительно-регистрающей аппаратуры. Условия характеризовались следующими показателями: влажность почвы в обрабатываемом горизонте от 0 до 30 см составляла от 16,4 до 19,7%, твердость почвы – от 1,86 до 2,74 МПа. Масса растительных и пожнивных остатков на учетной площадке составляла в среднем 185 г/м², а высота сорных растений в среднем была 10,8 см. Обрабатываемое поле имело ровный рельеф и микрорельеф. Зачетные делянки, на которых проводились измерения, были разбиты на ровном горизонтальном участке поля. Определение производительности плуга в опытах обеспечивалось изменением поступательной скорости машинно-тракторного агрегата. Импульсы времени движения, тягового сопротивления и расхода топлива регистрировались с момента входа агрегата в зачетную делянку с установившейся скоростью и выхода агрегата из нее. Энергетические показатели машины рассчитывались по результатам первичных данных энергооценки по ГОСТ Р 52777-2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В лабораторно-полевых исследованиях, в процессе которых определяли тягово-эксплуатационные показатели, использовали серийный трактор тягового класса 3 Т-150К [21] и плуг ПБС-5М [17]. Конструктивная ширина захвата плуга составляла 3,0 м. Энергетическую оценку проводили на отвальной обработке почвы после дискового лущения стерни озимого ячменя (рис. 3) в двух вариантах. В первом варианте вспашка выполнялась на установочную глубину 22 см плугом ПБС-5М в пятикорпусной комплектации. Во втором варианте – на установочную глубину 30 см плугом ПБС-5М в четырехкорпусной комплектации.

В первом варианте режим движения Т-150К+ПБС-5М изменялся в диапазоне рабочей скорости от 7,27 до 9,2 км/ч, показатели тягового сопротивления 32,5–32,08 кН практически не изменялись и составляли 90,28–89,0% от номинального тягового усилия энергосредства 36 кН [20, 21]. Мощность трактора, затрачиваемая на преодоление тягового сопротивления плугом на выполнение техпроцесса, составила 65,63–81,98 кВт или 66,97–67,2% эффективной мощности двигателя. При буксовании колес трактора по дискованному фону в диапазоне 6,9–14%, общая загрузка двигателя Т-150К составила 78,02–97,13% от эксплуатационной мощности трактора. Отвальная обработка почвы на глубину 22 см на третьей передаче трактора Т-150К, соответствующей рабочей скорости движения 9,2 км/ч, экспериментальным плугом ПБС-5М при рабочей ширине захвата 2,83 м, производительность получена за время основной работы агрегата 2,6 га/ч, а погектарный расход топлива – 11,94 кг/га.

Исследования тягово-эксплуатационных показателей по второму варианту показали, что агрегат Т-150К+ПБС-5М, оснащенный четырьмя корпусами при обработке почвы на глубину 30 см, в сопоставимых условиях, может работать на одной скорости – 5,72 км/ч. Мощность трактора, затрачиваемая на преодоление тягового сопротивления плугом, составила 69,62 кВт, а с учетом затрат мощности на самопередвижение трактора без плуга – 125,5 кВт от расходуемой мощности двигателя, что практически равняется эксплуатационной мощности двигателя Т-150К, лишь с некоторым запасом мощности 0,1%. В этом режиме движения (рабочая скорость движения 5,72 км/ч, первая передача трактора) отвальная обработка почвы на глубину 30 см и при рабочей ширине захвата плуга



Рис. 3. Вспашка поля агрегатом Т-150К+ПБС-5М.

Fig 3. Field plowing with the T-150K+PBS-5M unit.

2,27 м, возможна с производительностью (время основной работы) агрегата 1,3 га/ч и погектарным расходом топлива – 24,35 кг/га.

На основании вышеизложенного установлено, что энергоёмкость пятикорпусного плуга ПБС-5М при данных условиях и режимах работы соответствует показателям тяговой и мощностной характеристик трактора тягового класса 3 [10] с небольшим запасом мощности 2,87%, которого не достаточно для работы агрегата на скорости свыше 9,0 км/ч и глубине более 22,0 см.

Анализ данных составляющих баланса мощности двигателя трактора Т-150К в агрегате с четырехкорпусным плугом ПБС-5М по второму варианту показал, что мощность необходимая для работы плуга, почти равна эксплуатационной мощности двигателя и трактор может выполнять технологический процесс отвальной обработки почвы только на первой передаче с некоторым запасом мощности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате экспериментальных исследований пахотного агрегата Т-150К+ПБС-5М при обработке дискованного поля после уборки озимого ячменя установлено, что плуг может агрегатироваться тракторами тягового класса 3. Рациональный режим работы плуга в пятикорпусном исполнении обеспечивается при скорости движения 7–8 км/ч и глубине хода рабочих органов 22–21 см. Производительность за время основной работы агрегата составила 2,1–2,3 га/ч, расход топлива 12,9–12,7 кг/га. Удельные энергозатраты агрегата 47,5–46,78 кВт·ч/га, а плуга 31,26–31,4 кВт·ч/га. Загрузка двигателя при буксовании движителей трактора 6,9–9,7% составила 78–86%. При увеличении скорости движения агрегата и увеличении глубины хода рабочих органов значения показателей удельных энергозатрат агрегата и плуга увеличиваются. В полевых исследованиях установлено, что для агрегатирования плуга при скорости до 10 км/ч и глубине вспашки до 30 см в данных агротехнических условиях необходимо применение энергосредства более высокого тягового класса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панов И.М., Орлов Н.М. Основные пути снижения энергозатрат при обработке почвы // Тракторы и сельхозмашины. 1997. Т. 8. С. 27–30.
2. Бородычев В.В., Шевченко В.А., Новиков А.Е. Энергетическая оценка тягово-эксплуатационных показателей чизельных и лемешных орудий на тяжелосуглинистых орошаемых почвах // Плодородие. 2017. № 6. С. 31–34.
3. Халанский В.М., Горбачев И.В. Сельскохозяйственные машины. Москва: Колосс, 2003.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. В.М. Бойков – научное руководство, постановка задачи, критический анализ и доработка решения. С.В. Старцев – определение методологии исследования, сбор и анализ практических материалов по теме исследования, формирование общих выводов, критический анализ и доработка решения. А.В. Павлов – организация экспериментальных исследований, обработка результатов исследований. Е.С. Нестеров – анализ научных источников по теме исследования, обработка результатов исследований, анализ и доработка текста.

Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли равноправный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. V.M. Boikov is responsible for scientific guidance, problem statement, critical analysis and revision of the solution. S.V. Startsev is responsible for definition of research methodology, collection and analysis of practical materials on the research topic, formation of general conclusions, critical analysis and revision of the solution. A.V. Pavlov is responsible for organization of experimental research, processing of research results. E.S. Nesterov is responsible for analysis of scientific sources on the research topic, processing of research results, analysis and revision of the text. All authors certify that they meet the ICMJE international criteria for authorship.

Competing interests. The authors declare no any transparent and potential conflict of interests in relation to this article publication.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

4. Трубилин Е.И., Белоусов С.В., Лепшина А.И. Результаты экспериментальных исследований определения степени тягового сопротивления лемешного плуга при обработке тяжелых почв // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/09/pdf/41.pdf> Дата обращения 20.06.2022.

5. Василенко В.В., Василенко С.В., Хахулин А.Н. Плуг с полным оборотом пластов // Вестник ВГАУ: Теоре-

- тический и научно-практический журнал. 2015. № 4. С. 122–125.
6. Трубилин Е.Е., Коновалов В.И., Коновалов С.И. Теоретическое обоснование параметров цилиндрической полевой доски плуга // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 137. С. 46–60.
7. Николаев В.А., Попов Д.В. Затраты энергии на преодоление трения полевой доски плуга о почву // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 11. С. 18–20.
8. Свечников П. Г. Форма двугранного клина с минимальным залипанием // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 12. С. 24–25.
9. Бурченко П.Н. Механико-технологические основы почвообрабатывающих машин нового поколения: монография. Москва: ВИМ, 2002.
10. Афонин А.Е. Повышение эффективности использования отвальных плугов совершенствованием рабочих органов: автореф. дис... канд. техн. наук. Мичуринск, 2007. – 18 с. Режим доступа: <https://tekhnosfera.com/povyshenie-effektivnosti-ispolzovaniya-otvalnyh-plugov-putyom-sovershenstvovaniya-rabochih-organov> Дата обращения 20.06.2022.
11. Дьяченко Т.Н., Антибас И. Характер перемещения почвы по поверхности клинового рабочего органа // Вестник ДГТУ. 2003. Т. 3, № 1. С. 53–60.
12. Лобачевский Я.П. Влияние сил трения и прилипания почвы на технологический процесс почвообрабатывающих рабочих органов // Развитие технической базы агропромышленного комплекса. 2000. С.47–53.
13. Кленин Н.И., Киселев С.Н., Левшин А.Г. Сельскохозяйственные машины. Москва: Колосс, 2008.
14. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevsky Y.P., et al. Modeling the technological process of tillage // *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 190, N P. 70–77. doi: 10.1016/j.still.2018.12.004
15. Мударисов С.Г., Рахимов И.Р., Разбежкин Н.И. Моделирование износа корпуса плуга // Достижения науки и техники АПК. 2006. № 8. С. 35–37.
16. Путрин А.С. Основы проектирования рабочих органов для рыхления почв, находящихся за пределами физически спелого состояния: дис. ... д-ра техн. наук. Оренбург, 2003.
17. Навесные плуги ПБС. Режим доступа: <https://плугипбс.рф/> Дата обращения 20.06.2022.
18. Сравнительный анализ технического уровня плугов по результатам испытаний на машиноиспытательных станциях // ФГБУ ГИЦ. 2014. С. 110.
19. Карабаницкий А.П., Юдина Е.М., Цыбулевский В.В. Теоретическое обоснование параметров энергосберегающих машинно-тракторных агрегатов / под. ред. Г.Г. Маслова. Краснодар: КубГАУ, 2014.
20. ГОСТ 27021-86 (СТ СЭВ 628-85). Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294827/4294827535.pdf> Дата обращения: 20.06.2022.
21. Кашуба Б.П. Трактор Т-150К. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Харьков: Прапор, 1983.

REFERENCES

1. Panov IM, Orlov NM. Osnovnye puti snizheniya energozatrat pri obrabotke pochvy. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 1997;8:27–30. (In Russ).
2. Borodychev V.V., Shevchenko V.A., Novikov A.E., i dr. Energeticheskaya otsenka tyagovo-ekspluatatsionnykh pokazatelei chizel'nykh i lemeshnykh orudii na tyazhelosuglinistykh oroshaemykh pochvakh. *Plodородie*. 2017;(6):31–34. (In Russ).
3. Khalanskii VM, Gorbachev IV. *Sel'skokhozyaistvennyye mashiny*. Moscow: Koloss; 2003. (In Russ).
4. Trubilin EI, Belousov SV, Lepshina AI. The results of experimental studies to determine the degree of traction resistance reversible plow in heavy soils. *Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University*. Available from: <http://ej.kubagro.ru/2014/09/pdf/41.pdf> (In Russ).
5. Vasilenko V.V., Vasilenko S.V., Khakhulin A.N. Plug s polnym oborotom plastov. *Vestnik VGau: Teoreticheskii i nauchno-prakticheskii zhurnal*. 2015;(4):122–125. (In Russ).
6. Trubilin E.I., Kononov V.I., Kononov S.I., et al. Theoretical justification of parameters of a plow cylindrical field board. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2018;(137):46–60. (In Russ).
7. Nikolaev VA, Popov DV. Energy consumption for overcoming friction of plough landside against the soil. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2010;(11):18–20. (In Russ).
8. Svechnikov PG. Forma dvugrannogo klina s minimal'nyim zalipaniem. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2011;(12):24–25.
9. Burchenko PN. Mekhaniko-tekhnologicheskie osnovy pochvoobratyvyayushchikh mashin novogo pokoleniya: monografiya. Moscow: VIM; 2002. (In Russ).
10. Afonin AE. *Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya otval'nykh plugov sovershenstvovaniem rabochikh organov*. [dissertation]. Michurinsk, 2007. Available from: <https://tekhnosfera.com/povyshenie-effektivnosti-ispolzovaniya-otvalnyh-plugov-putyom-sovershenstvovaniya-rabochih-organov> (In Russ).
11. D'yachenko TN, Antibas I. Kharakter peremeshcheniya pochvy po poverkhnosti klinovogo rabocheho organa. *Vestnik DGTU*. 2003;3(1):53–60. (In Russ).
12. Lobachevskii YaP. Vliyanie sil treniya i prilipaniya pochvy na tekhnologicheskii protsess pochvoobratyvyayushchikh rabochikh organov. *Razvitie tekhnicheskoi bazy agropromyshlennogo kompleksa*. 2000:47–53. (In Russ).
13. Klenin NI, Kiselev SN, Levshin AG. *Sel'skokhozyaistvennyye mashiny*. Moscow: Koloss; 2008. (In Russ).
14. Mudarisov SG, Gabitov II, Lobachevsky YP, et al. Modeling the technological process of tillage. *Soil and Tillage Research*. 2019;190:70–77. doi: 10.1016/j.still.2018.12.004
15. Mudarisov SG, Rakhimov IR, Razbezhkin NI. Modelirovanie iznosa korpusa pluga. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2006;(8):35–37. (In Russ).
16. Putrin AS. *Osnovy proektirovaniya rabochikh organov dlya rykhleniya pochv, nakhodyashchikhsya za predelami fizicheskii spelogho sostoyaniya*. [dissertation]. Orenburg, 2003. (In Russ).

17. Navesnye plugi PBS. Available from: <https://plugipbs.rf/> Accessed Jun 20, 2022. (In Russ).
18. Sravnitel'nyi analiz tekhnicheskogo urovnya plugov po rezul'tatam ispytaniy na mashinoispytatel'nykh stantsiyakh. *FGBU GITs*. 2014:110. (In Russ).
19. Karabanitskii AP, Yudina EM, Tsybulevskii VV, et al. *Teoreticheskoe obosnovanie parametrov energosberegayushchikh*

- mashinno-traktornykh agregatov*. Maslov G.G. editor. Krasnodar: KubGAU; 2014. (In Russ).
20. GOST 27021-86 (ST SEV 628-85). Traktory sel'skokhozyaistvennye i lesokhozyaistvennye. Tyagovye klassy. Available from: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294827/4294827535.pdf> (In Russ).
21. Kashuba B.P. Traktor T-150K. *Tekhnicheskoe opisanie i instruktsiya po ekspluatatsii*. Khar'kov: Prapor, 1983.

ОБ АВТОРАХ

*Старцев Сергей Викторович,

профессор, доктор технических наук,
профессор кафедры «Техническое обеспечение АПК»;
адрес: Россия, 410056, Саратов, ул. Советская, 60;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3310-0035>;
eLibrary SPIN: 4856-1685;
e-mail: kingofscience@yandex.ru

Бойков Василий Михайлович,

профессор, доктор технических наук,
профессор кафедры «Техническое обеспечение АПК»;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6933-8216>;
eLibrary SPIN: 4235-8531;
e-mail: kingofscience@yandex.ru

Павлов Андрей Владимирович,

доцент, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Техническое обеспечение АПК»;
eLibrary SPIN: 2916-7482;
e-mail: andrej.pavloff2015@yandex.ru

Нестеров Евгений Сергеевич,

доцент, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Техническое обеспечение АПК»;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0870-7516>;
eLibrary SPIN: 9820-4786;
e-mail: nesterov21@mail.ru

*Автор для переписки

AUTHORS' INFO

*Sergey V. Startsev,

Professor, Dr. Sci. (Engin.),
Professor of the Technical Support
of the Agro-Industrial Complex Department;
address: 60 Sovetskaya street, Saratov, 410056, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3310-0035>;
eLibrary SPIN: 4856-1685;
e-mail: kingofscience@yandex.ru

Vasiliy M. Boykov,

Professor, Dr. Sci. (Engin.),
Professor of the Technical Support
of the Agro-Industrial Complex Department;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6933-8216>;
eLibrary SPIN: 4235-8531;
e-mail: kingofscience@yandex.ru

Andrey V. Pavlov,

Associate Professor, Cand. Sci. (Engin.),
Associate Professor of the Technical Support
of the Agro-Industrial Complex Department;
eLibrary SPIN: 2916-7482;
e-mail: andrej.pavloff2015@yandex.ru

Evgeniy S. Nesterov,

Associate Professor, Cand. Sci. (Engin.),
Associate Professor of the Technical Support
of the Agro-Industrial Complex Department;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0870-7516>;
eLibrary SPIN: 9820-4786;
e-mail: nesterov21@mail.ru

*Corresponding author