

ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ / TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT



<https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202503.513-528>

EDN: <https://elibrary.ru/bjkqiv>

УДК 631.312:631.58

Оригинальная статья / Original article

Эксплуатационно-технологические показатели агрегатов с плугами ПНЛ-8-40 и ПБС-8М для обработки почвы в засушливом земледелии

С. В. Старцев[✉], А. В. Павлов, Е. С. Нестеров

*Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова,
г. Саратов, Российская Федерация*

[✉] kingofscience@yandex.ru

Аннотация

Введение. Главным направлением развития отечественной экономики становится создание прорывных технологий и продуктов, способных конкурировать на мировом рынке. Производство продуктов растениеводства невозможно без использования самой энергозатратной технологии – основной отвальной обработки почвы, – влияющей на получение высокого урожая в регионах с малым количеством выпадающих атмосферных осадков.

Цель исследования. Определение эксплуатационно-технологических показателей плуга ПНЛ-8-40 и разработанного ПБС-8М для снижения энергозатрат и улучшения агрофизических свойств обработанной почвы.

Материалы и методы. Определение эксплуатационно-технологических показателей процесса обработки почвы серийным плугом ПНЛ-8-40 и разработанным плугом ПБС-8М осуществлялось с применением стандартных методов исследований. Согласно стандарту организации ассоциации испытателей сельскохозяйственной техники СТО АИСТ 4.1-2010 определялись функциональные показатели плугов: рабочая скорость; рабочая ширина захвата; производительность за один час основного времени; погектарный расход топлива. Согласно СТО АИСТ 001-2010 выполнялась агротехническая оценка работы плугов по показателям качества: глубине вспашки; гребнистости поверхности обработанной почвы; степени и глубине заделки стерни в пахотный слой.

Результаты исследования. Установлена целесообразность использования широкозахватного плуга ПБС-8М в засушливых условиях левобережной зоны Поволжья. Теоретически рассчитаны и экспериментально проверены эксплуатационные показатели пахотных агрегатов. Восьмикорпусный плуг ПБС-8М при скорости 2,53 м/с и глубине вспашки 23 см производит за час работы больше на 30–33 %, чем восьмикорпусный плуг ПНЛ-8-40, при более низком (на 22 %) расходе топлива. По агротехнической оценке технологий сравниваемые плуги отличаются степенью заделки растительных и пожнивных остатков по глубине пахотного слоя почвы. Показатели плотности и водопроницаемости почвы практически равнозначны.

© Старцев С. В., Павлов А. В., Нестеров Е. С., 2025



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Обсуждение и заключение. В результате использования разработанного лемешно-отвального плуга ПБС-8М на обработке тяжелосуглинистой почвы снижаются энергозатраты, улучшаются агрофизические свойства почвы. Пахотный агрегат К-701+ПБС-8М, двигаясь в загоне с рабочей скоростью 2,53 м/с, обеспечивает выполнение работ за час основного времени с производительностью 3,9 га/ч. При использовании агрегата К-701+ПНЛ-8-40 в этом же режиме движения производительность составляет 2,6 га/ч. На каждом гектаре обработки почвы экономится до 3,8 кг при работе К-701+ПБС-8М, в сравнении с К-701+ПНЛ-8-40. Из исследований качества выполненной работы по обработке почвы агротехническая оценка показала, что у обоих плугов по всей ширине захвата равномерная глубина – 23,0...23,4 см. Также у каждого орудия отклонение рабочей ширины захвата от конструктивной получено на уровне 4,0 %. Показатель гребнистости поверхности поля 6,9...8,2 см находился в пределах требований агротехники, предъявляемых к технологии отвальной обработки почвы. Различались технологические показатели плугов только по степени заделки растительных и пожнивных остатков проса в почву. После прохода плуга ПБС-8М стерня распределена слоем 5...12 см на глубине 8...15 см, после прохода плуга ПНЛ-8-40 стерня находилась ближе ко дну борозды от 12 до 22 см. Показатели плотности и водопроницаемости почвы, измеренные после культивации пара и перед посевом озимой пшеницы, практически равны у исследуемых плугов, что и отразилось на полученной урожайности культуры – 23,5...24,0 ц/га.

Ключевые слова: разработанный плуг ПБС-8М, серийный плуг ПНЛ-8-40, производительность пахотного агрегата, почва, глубина обработки почвы, заделка стерни, погектарный расход топлива, плотность и водопроницаемость почвы

Финансирование: работа выполнена в рамках НИР по госконтракту № 20-гк от 29.11.2013 г. «Проведение исследований по совершенствованию ресурсосберегающих почвообрабатывающих орудий для основной обработки почвы, агрегируемых с тракторами мощностью 370–450 л.с. в условиях Саратовской области».

Благодарности: авторы выражают признательность анонимным рецензентам, объективные замечания которых способствовали повышению качества статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Старцев С.В., Павлов А.В., Нестеров Е.С. Эксплуатационно-технологические показатели агрегатов с плугами ПНЛ-8-40 и ПБС-8М для обработки почвы в засушливом земледелии. *Инженерные технологии и системы*. 2025;35(3):513–528. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202503.513-528>

Operational and Technological Indicators of the Aggregates with the Plows PNL-8-40 and PBS-8M for Processing Soils in Arid Regions

S. V. Startsev✉, A. V. Pavlov, E. S. Nesterov
Saratov State University of Genetics, Biotechnology
and Engineering named after N. I. Vavilov,
Saratov, Russian Federation

✉ kingofscience@yandex.ru

Abstract

Introduction. The main direction of economic development is creating innovative technologies and products, which can be competitive in the global market. The production of crop products is impossible without using the most energy-intensive technology of mold-board plowing, which has a strong effect on yielding ability in arid regions.

Aim of the Study. The study is aimed at determining the operational and technological indicators of the production plow PNL-8-40 and the newly designed plow PBS-8M to reduce energy consumption and improve the agrophysical properties of the tilled soil.

Materials and Methods. The operational and technological indicators of tilling soil process with the production plow PNL-8-40 and the newly designed plow PBS-8M were determined using standard research methods. According to the standard used by the Association of agricultural machinery test-engineers (CTO АИСТ 4.1-2010), there were defined the functional parameters of the plows: working speed, effective operating width, productivity per hour of main time, and per-hectare fuel consumption. In accordance with CTO АИСТ 001-2010, there was made the agronomic assessment of plowing quality. There we assessed the plowing depth, ridgeness of treated soil surface, degree and depth of plowing in stubble.

Results. As a result of the study, there has been assessed the expediency of using the wide-coverage plow PBS-8M in the arid conditions of the left-bank area of the Volga region. There have been theoretically calculated and experimentally tested the operational indicators of plowing units. The productivity of the eight-furrow plow PBL-8M at a speed of 2.53 m/s and a plowing depth of 23 cm per hour is 30–33% more than the productivity of the eight-body plow PBL-8-40 with a less (by 22%) fuel consumption. According to the agrotechnical evaluation of technologies, the compared plows differ in the degree of trash embedding plant and crop residues along the depth of the plowing layer. The indicators of the soil density and water permeability parameters are almost equal.

Discussion and Conclusions. As a result of using the new designed plow PBS-8M for cultivating heavy loamy soil, energy consumption is reduced while the agro-physical properties of the soil are improved. The plowing unit K-701+PBS-8M, moving at a working speed of 2.53 m/s, completes the work in space of an hour of basic operation time with a productivity of 3.9 ha/h. When using the unit K-701+PNL-8-40 in this operation mode, the productivity is 2.6 ha/h. When using the unit K-701+PBS-8M, fuel consumption is reduced to 3.8 kg per a hectare compared to the use of the unit K-701+PNL-8-40. The studies of the quality of the soil tillage showed that the soil tillage with both plows is of even depth of 23.0–23.4 cm across the full working width. The deviation of the working width from the designed width was 4.0% for each plow. The field surface ridge index was 6.9–8.2 cm. The technological parameters of the plows differed only in the degree of embedding millet plant and crop residues into the soil. After passing the plow PBS-8M, the stubble was distributed in a layer of 5–12 cm at a depth of 8–15 cm, after passing the plow PNL-8-40, the stubble was closer to the bottom of the furrow from 12 to 22 cm. The indicators of soil density and water permeability determined, after steam cultivation and before sowing winter wheat, were almost equal the studied plows that affected the resulting crop yield of 23.5–24.0 c/ha.

Keywords: the new designed plow PBS-8M, the production plow PNL-8-40, plow productivity, soil, soil tillage depth, in stubble, per-hectare fuel consumption, soil density and water permeability

Funding: The work was carried out as part of research under state contract No. 20-gc dated 11.29.2013 “Conducting research on improving resource-saving tillage tools for basic tillage, aggregated with tractors with a capacity of 370–450 hp in the Saratov region”.

Acknowledgments: The authors are grateful to the anonymous reviewers whose objective comments contributed to the quality of the article.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Startsev S.V., Pavlov A.V., Nesterov E.S. Operational and Technological Indicators of the Aggregates with the Plows PNL-8-40 and PBS-8M for Processing Soils in Arid Regions. *Engineering Technologies and Systems*. 2025;35(3):513–528. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202503.513-528>

ВВЕДЕНИЕ

Согласно Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации¹, утвержденной Указом Президента Российской Федерации², главным направлением развития экономики становится создание прорывных технологий и продуктов, способных конкурировать на мировом рынке. Переуплотнение почв ходовыми системами энергонасыщенных тракторов и рабочими органами тяжелой крупногабаритной сельскохозяйственной техники привело к деградации их агрофизического состояния. Снижается содержание органического вещества, разрушается структура почвы и, как следствие, утрачивается ее плодородие. Чрезмерное уплотнение пахотного слоя может привести к опустыниванию земель сельскохозяйственного назначения, особенно это актуально в регионах, относящихся к зоне рискованного земледелия.

Производство продуктов растениеводства невозможно без выполнения операции основной обработки почвы, влияющей на получение высокого урожая в регионах с малым количеством выпадающих атмосферных осадков. Обработка почвы при производстве сельскохозяйственной продукции является еще и самой энергозатратной и дорогостоящей. Только в левобережной зоне Саратовской области в структуре почвенного покрова на пашне преобладают 87 % почвы глинистого и тяжелосуглинистого состава. Юго-восточная часть области в летний период подвержена частым засухам и суховеям, количество осадков не превышает 250 мм в год³. Земельный фонд отличается низким плодородием со значительными площадями сильно засоленной почвы, что повлияло на ее распаханность (только 65 %) ⁴. По данным типовых технологических карт⁵ на обработку одного гектара плугом общего назначения ПНЛ-8-40 затрачивается от 20,5 до 24,9 кг дизельного топлива. Разработка новой почвообрабатывающей техники для технологии отвальной вспашки, позволяющая экономить затраты топлива, повысить производительность труда на пахотных работах при меньших количествах проходов тяжелой техники по полю и, следовательно, снизить себестоимость возделываемой растениеводческой продукции является важной хозяйственной проблемой.

Таким образом, целью исследования стало повышение производительности и снижение энергозатрат пахотных агрегатов путем улучшения эксплуатационно-технологических показателей разработанного плуга ПБС-8М относительно серийного плуга ПНЛ-8-40.

Задачи исследования: 1) установить возможность увеличения производительности пахотных агрегатов при основной отвальной обработке тяжелосуглинистой

¹ О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации [Электронный ресурс] : Указ Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1305071057> (дата обращения: 21.10.2024).

² О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года [Электронный ресурс] : Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542> (дата обращения: 21.10.2024).

³ Агроклиматический справочник по Саратовской области. Л. : Гидрометеиздат, 1958. 227 с.

⁴ Посевные площади сельскохозяйственных культур по Саратовской области [Электронный ресурс]. URL: <https://64.rosstat.gov.ru/folder/165734> (дата обращения: 21.10.2024).

⁵ Натуральные нормативы затрат труда и материально-технических средств. Типовые технологические карты по возделыванию сельскохозяйственных культур и содержанию скота. Саратов.1997. 156 с.

почвы; 2) определить в полевых условиях снижение погектарного расхода топлива у разработанного плуга, в сравнении с серийным плугом; 3) оценить качественные показатели работы обоих плугов на обработке почвы по стерневому фону поля.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Технология отвальной обработки почвы является основной операцией при возделывании сельскохозяйственных культур во всех регионах Российской Федерации. На нее затрачивается более 40 % всех энергетических ресурсов в объеме производства растениеводческой продукции⁶ [1]. Согласно исследованиям [2; 3] одним из критериев энергоэффективности является наименьшее тяговое сопротивление корпуса плуга общего назначения. Технологический процесс вспашки такими корпусами не претерпел особых изменений от создания плуга и по настоящее время⁷ [1]. Подрезание почвенного пласта осуществляется лемехом, крошение и оборот – отвалом, устойчивость движения корпуса обеспечивается полевой доской⁸ [1]. При этом на долю сопротивления полевой доски приходится до 20 % суммарной составляющей тягового сопротивления корпуса плуга [2; 3].

В статье [3] также подтверждается, что отвальная вспашка относится к наиболее энергоемким технологическим операциям. Авторы рекомендуют для снижения тягового сопротивления корпуса плуга изменить его конструкцию путем применения деформации растяжения подрезаемого почвенного пласта [4; 5]. Возможность замены деформации сжатия путем частичного растяжения несомненно повлияет на снижение энергоемкости процесса.

В засушливых районах на почвах тяжелого механического состава многими учеными рекомендуется заменять отвальную обработку на безотвальное рыхление почвы. По мнению исследователей [6], при безотвальном рыхлении энергозатраты меньше на 22–26 %, чем при отвальной обработке почвы. Одним из направлений экономии энергоресурсов обработки почвы является также совмещение нескольких операций в одном рабочем процессе [7; 8]. При такой операции за один проход агрегата выполняется комбинация мелкой и глубокой обработки почвы.

Энергосбережение при основной безотвальной обработке почвы достигается с помощью использования чизельных рыхлителей [9]. При работе таких орудий крошится почвенный пласт долотом рабочего органа в несколько раз по размеру меньше относительно ширины взрыхленной почвы. Крошение почвы без оборота пласта плоскорезами также снижает затраты энергии на 34 % по сравнению с отвальной вспашкой [10]. Улучшению энергетических показателей работы лемешно-отвального корпуса посвящены исследования В. Г. Черногаева, В. А. Свириной [11], В. П. Дьякова [12].

⁶ Панов И. М., Ветохин В. И. Физические основы механики почв. Киев : Феникс, 2008. 266 с.

⁷ Там же; Синеоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М. : Машиностроение, 1977. 328 с.

⁸ Синеоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин.

Для накопления влаги в пахотном слое необходимо управлять пожнивными остатками⁹. Биологическая часть оставшегося на поле урожая должна успеть перегнить к началу будущего сева. Для этого необходимо ее расположить в обработанном слое при лучших условиях поступления атмосферной влаги и кислорода [13]. Отвальная обработка пересушенной тяжелосуглинистой почвы способствует образованию крупных глыб и комков [14]. В такой пашне весьма трудно распределить пожнивные и растительные остатки. Это подтверждается в работах отечественных ученых [15; 16], в которых установлено, что увеличение процесса образования глыб наблюдается в большей степени на сухих почвах. Сохранению влаги внутри пласта и повышению урожайности сельскохозяйственных культур способствует наличие органического слоя, состоящего из измельченных растительных остатков и раскрошенной почвы как на поверхности поля, так и на глубине¹⁰. Другим недостатком качества процесса обработки сухой суглинистой почвы является увеличение плотности и образование уплотненной зоны в нижних горизонтах пласта [17; 18].

Ученые предлагают [19] усовершенствовать эксплуатационно-технологические показатели отвальных плугов принципиальным улучшением технологии основной обработки почвы за счет новых процессов взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающих орудий с пластом почвы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования

Технологический процесс основной отвальной обработки тяжелосуглинистой почвы лемешно-отвальными плугами общего назначения (серийным плугом ПНЛ-8-40 и разработанным плугом ПБС-8М), агрегатируемыми тракторами тягового класса 5.

Материалы

Район УНПО «Поволжье» ФГБОУ ВО Вавиловского университета (с. Степное, Энгельсский р-н, Саратовская обл.), где выполнялись экспериментальные исследования, располагается в засушливой левобережной зоне Нижнего Поволжья. Опытный участок поля характеризовался тяжелосуглинистыми почвами. Агрофоном служило поле после уборки проса комбайнами с измельчителями-разбрасывателями соломы. Зачетными делянками стали загонки на всем протяжении длины поля, имеющие ровный горизонтальный рельеф. Влажность почвы по глубине обрабатываемого слоя 0–23 см составляла 20,2–22,0 %; масса пожнивных и растительных остатков составляла в среднем 436 г/м², а высота стерни – 18 см.

Серийный плуг ПНЛ-8-40 (рис. 1) и разработанный плуг ПБС-8М (рис. 2) агрегатировались тракторами тягового класса 5 К-701. Технологический процесс

⁹ Управление заделкой пожнивными остатками при основной обработке почвы в засушливом земледелии / В. М. Бойков [и др.] // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники : материалы XXXVII Междунар. науч.-техн. конф. им. В. В. Михайлова (15–16 мая 2024 г., г. Саратов). Саратов : Изд-во Саратов. гос. ун-та генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, 2024. С. 166–172. <https://elibrary.ru/qxawvk>

¹⁰ Русакова И. В. Теоретические основы и методы управления плодородием почв при использовании растительных остатков в земледелии. Владимир : ФГБНУ ВНИИОУ, 2016. 131 с.

вспашки плугом ПНЛ-8-40 от создания плуга и по настоящее время не претерпел особых изменений. Подрезание почвенного пласта осуществляется лемехом, крошение и оборот – отвалом, а устойчивость движения корпуса обеспечивается полевой доской.



Р и с. 1. Навесной серийный плуг ПНЛ-8-40 в агрегате с трактором К-701

F i g. 1. Mounted serial plow PNL-8-40 is combination with K-701 tractor

Источник: фотографии для рисунков 1, 2 сделаны при испытании плугов на поле в селе Степное Энгельсского района Саратовской области С. В. Старцевым в августе 2016 г. (адаптировано из: Бойков В. М., Старцев С. В., Павлов А. В., Нестеров Е. С. Управление заделкой пожнивными остатками при основной обработке почвы в засушливом земледелии¹¹).

Source: photos for figures 1, 2 were taken during the testing of plows in the field of Stepnoye village, Engels district, Saratov region, by S. V. Startsev, August 2016 (adapted from: Boikov V. M., Startsev S. V., Pavlov A. V., Nesterov E. S. Management of embedding plant and crop residues during basic tillage in arid agriculture).



Р и с. 2. Навесной разработанный плуг ПБС-8М в агрегате с трактором К-701

F i g. 2. The PBS-8M mounted plow is combined with the K-701 tractor

¹¹ Управление заделкой пожнивными остатками при основной обработке почвы в засушливом земледелии / В. М. Бойков [и др.].

Разработанный плуг ПБС-8М отличается от серийного ПНЛ-8-40 углом установки основного несущего бруса к направлению движения агрегата и конструкцией рабочего органа. У нового корпуса отсутствует полевая доска, а горизонтальная устойчивость движения осуществляется левым лемехом корпуса с шириной захвата 20 см, установленным со стороны необработанной части почвы. Правый лемех с шириной захвата 40 см выполняет подрезание пласта почвы, а отвал крошит, сдвигает подрезанную почву левым лемехом от впереди идущего корпуса и оборачивает почву. При этом происходит полная заделка пожнивных и растительных остатков.

Методы

Эксплуатационно-технологические показатели лемешно-отвалных плугов определялись в соответствии с СТО АИСТ¹². Определение производительности плуга выполняли изменением поступательной скорости машинно-тракторного агрегата. Расход топлива регистрировали с момента входа агрегата в зачетную делянку с установившейся скоростью и выхода агрегата из нее.

Процедура исследования

По методике экспериментальных исследований определяли глубину вспашки (рис. 3а) и среднюю высоту растительных и пожнивных остатков на поле (рис. 3б), измерения проводились на пяти участках учетных делянок, расположенных по диагонали загона. Количество стерни и растительных остатков подсчитывали и производили по 10 измерений с погрешностью $\pm 0,5$ см.



а)



б)

Р и с. 3. Измерения:
а) глубины пахоты; б) высоты стерни проса (адаптировано из [20])

F i g. 3. Measurements:
а) depth of plowing; б) height of millet stubble (adapted from [20])

Источник: фотографии для рисунков 3, 4 сделаны при испытании плугов на поле в селе Степное Энгельсского района Саратовской области С. В. Старцевым в августе 2016 г.

Source: photos for figures 1, 2 were taken during the testing of plows in the field of Stepnoye village, Engels district, Saratov region, by S. V. Startsev, August 2016.

Глубину заделки пожнивных остатков и площадь их распределения по профилю обрабатываемого пласта почвы измеряли по отвесной стенке вырытой траншеи

¹² СТО АИСТ 4.1-2010. Машины и орудия для глубокой обработки почвы. Методы оценки функциональных показателей. М., 2011. 36 с.; СТО АИСТ 001-2010. Агротехническая оценка сельскохозяйственной техники. Термины и определения [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/555622479> (дата обращения: 21.10.2024).

перпендикулярно направлению движения агрегата. Перед началом первого прохода движения пахотного агрегата на ширину захвата плуга с помощью шнура устанавливали контрольную линию. Для достоверности измерения распределения стерни по глубине пласта почвы между двумя вешками натянули шнур горизонтально относительно дневной поверхности поля. На шнуре по горизонтали с интервалами 10 см от каждой точки измеряли расстояние по вертикали от поверхности взрыхленной почвы до верхней части нахождения в почве пожнивных остатков, по вертикали – расстояние от дна борозды до нахождения нижней части пожнивных остатков (рис. 4).

Расчет зависимости часовой производительности W_h от скорости движения агрегата определяли по выражению:

$$W_h = 0,36 B_p v_a, \text{ га/ч}$$

где B_p – ширина захвата плуга, м; v_a – скорость движения агрегата, м/с.

Расход топлива определяли методом контроля количества топлива в мерном бачке. Перед началом обработки контрольного участка фиксировали объем топлива в бачке, после окончания установили израсходованный объем в бачке. Погектарный расход топлива определяли делением значения расхода топлива на величину производительности агрегата.

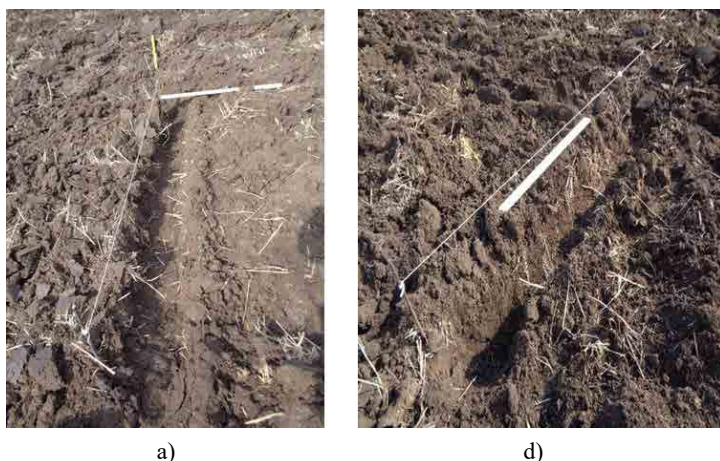
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ полученных данных по агротехнической оценке технологий с учетом установленных агротехнических требований показывает, что плуг ПНЛ-8-40 без предплужников и плуг ПБС-8М устойчиво работали по глубине, обеспечивали глубину обработки 23,0–23,4 см (укладывается в требования ± 2 см, установочная глубина 23 см). Оба плуга так же устойчивы в работе и по ширине захвата – 3,3 м у ПЛН-8-40 и 4,9 м у ПБС-8М. Отклонение фактической рабочей ширины захвата $\pm 4,0$ % не превышает агротехнических требований ± 10 %. После прохода плуга поверхность пашни оставалась выровненной. Высота гребней после прохода плуга ПЛН-8-40 составила в среднем 6,9 см, после плуга ПБС-8М – 8,2 см, что отвечает требованиям не более 9 см.

Полевыми экспериментами работы пахотного агрегата с серийным плугом ПНЛ-8-40 выявлена неравномерность распределения пожнивных и растительных остатков как по ширине захвата плуга, так и по глубине раскрытого пахотного слоя. Измельченная солома и стерня находились между глыбами и комьями почвы. По глубине солома располагалась на расстоянии от 12 до 22 см, причем находилась как в наклонном, так и в горизонтальном положениях. Контроль качества поверхности пашни показал наличие пожнивных остатков проса в рядах смыкания пластов почвы на расстоянии 30–60 см.

Агротехническая оценка степени заделки пожнивных остатков после прохода плуга ПБС-8М на этом же поле показала, что солома и стерня расположены слоем 5–12 см на глубине 8–15 см в вертикально-поперечной плоскости сечения обработанного пласта.

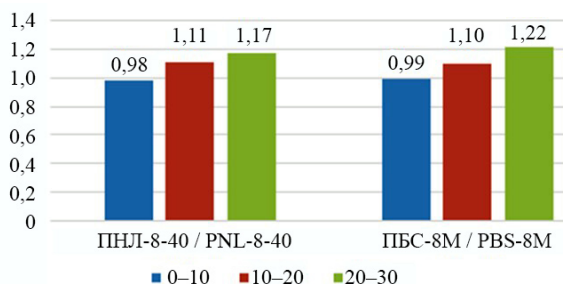
После уборки проса осенью поле было полностью обработано по отвальной технологии с разделением контрольных участков вспашки агрегатами К-701+ПНЛ-8-40 и К-701+8М. Весной следующего года поле находилось под черным паром, где до посева озимой пшеницы выполнены две культивации с боронованием.



Р и с. 4. Исследование заделки стерни:
а) вспашка плугом ПНЛ-8-40; б) вспашка плугом ПБС-8М (адаптировано из [20])

F i g. 4. Research of plowing in stubble incorporation:
a) plowing with the PNL-8-40 plow; b) plowing with the PBS-8M plow (adapted from [20])

После осенней обработки опытных участков серийным плугом ПНЛ-8-40 и разработанным плугом ПБС-8 весной будущего года проведена оценка водно-физических свойств почвы¹³. После выполнения операций первой культивации пара (рис. 5) и перед посевом озимой пшеницы (рис. 6) плотность почвы была практически равнозначной.



Р и с. 5. Диаграмма изменения плотности почвы (г/см³) в слое 0–30 см перед первой культивацией

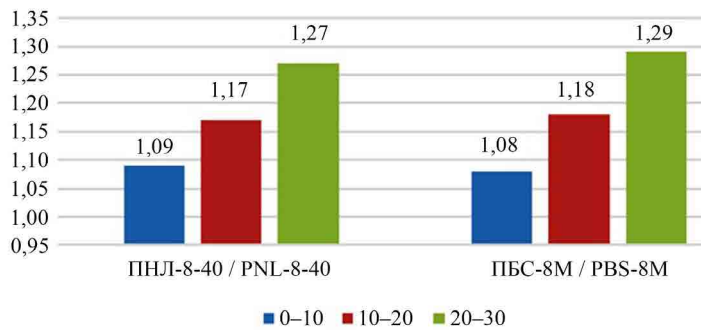
F i g. 5. Diagram of changes in soil density (g/cm³) in the 0–30 cm layer before the first cultivation

Источник: диаграммы для рисунков 5–8 составлены авторами статьи (адаптировано из: Бойков В. М., Старцев С. В., Павлов А. В., Нестеров Е. С. Управление заделкой пожнивными остатками при основной обработке почвы в засушливом земледелии¹⁴).

Source: the diagrams for figures 5–8 were created by the authors of the article (adapted from: Boikov V. M., Startsev S. V., Pavlov A. V., Nesterov E. S. Management of planting crop residues during basic tillage in arid agriculture).

¹³ Левкина А. Ю. Приемы повышения урожайности и качества зерна озимой пшеницы при минимизации основной обработки чистого пара в Нижнем Поволжье : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов, 2021. 20 с.

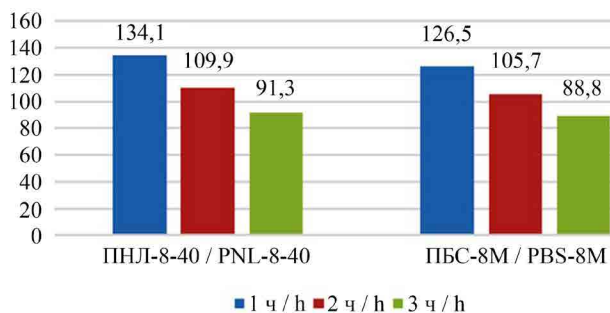
¹⁴ Управление заделкой пожнивными остатками при основной обработке почвы в засушливом земледелии / В. М. Бойков [и др.].



Р и с. 6. Диаграмма изменения плотности почвы (г/см^3) в слое 0–30 см перед посевом озимой пшеницы

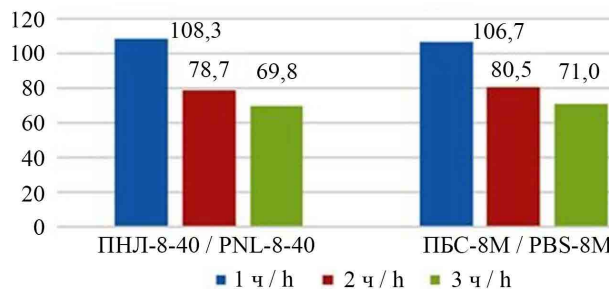
F i g. 6. Diagram of changes in soil density (g/cm^3) in the 0–30 cm layer before sowing winter wheat

Показатели водопроницаемости почвы в этих периодах у плуга ПНЛ-8-40 несколько выше (рис. 7). За первый час водопроницаемость в обработанном ПНЛ-8-40 пласте после первой культивации составила на 5,7 % больше, чем после обработки почвы плугом ПБС-8М. Перед посевом озимой пшеницы значения показателей практически выравнивались (рис. 8).



Р и с. 7. Диаграмма изменения водопроницаемости почвы после первой культивации, мм/ч

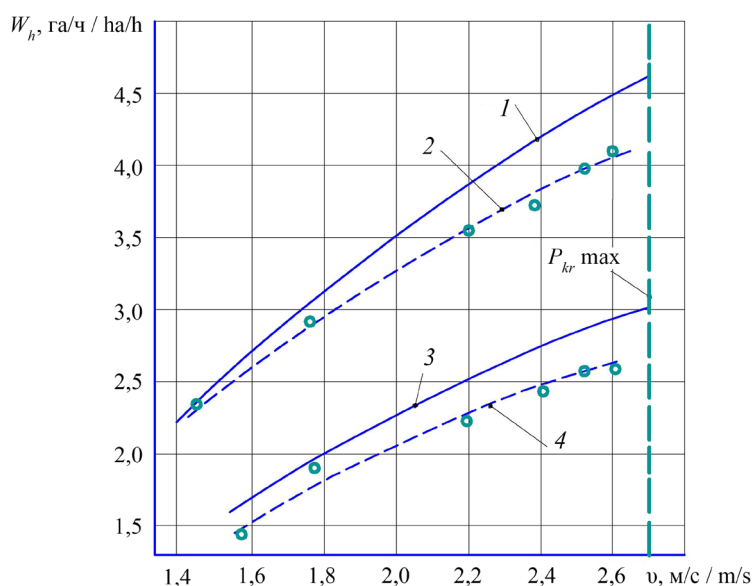
F i g. 7. Diagram of changes in soil water permeability after the first cultivation, mm/h



Р и с. 8. Диаграмма изменения водопроницаемости почвы перед посевом озимой пшеницы, мм/ч

F i g. 8. Diagram of changes in soil water permeability before sowing winter wheat, mm/h

Экспериментально-теоретическими исследованиями эксплуатационных показателей агрегатов с плугами ПНЛ-8-40 и ПБС-8М с трактором тягового класса 5 К-701 установлена производительность за час основного времени разработанного восьмикорпусного плуга ПБС-8М на 30–33 % выше производительности серийного восьмикорпусного плуга ПНЛ-8-40 (рис. 9). На скорости 2,53 м/с К-701+ПНЛ-8-40 поектарный расход топлива составил 17,4 кг/га, ниже на 22 % 701+ПБС-8М – 13,6 кг/га.



Р и с. 9. Зависимость производительности от скорости агрегатов с плугами:

1 – теоретическая ПБС-8М; 2 – экспериментальная ПБС-8М;

3 – теоретическая ПНЛ-8-40; 4 – экспериментальная ПНЛ-8-40;

$P_{kr \max}$ – граница максимального тягового усилия трактора К-701

F i g. 9. Dependence of productivity on the speed of units with plows:

1 – theoretical PBS-8M; 2 – experimental PBS-8M; 3 – theoretical PNL-8-40;

4 – experimental PNL-8-40; $P_{kr \max}$ – the limit of the maximum traction force of the tractor K-701

Источник: график построен авторами статьи.

Source: the graph is constructed by the authors of the article.

Проведенные исследования эксплуатационно-технологических показателей лемешно-отвалных плугов общего назначения серийного ПНЛ-8-40 и разработанного ПБС-8М подтвердили возможность снижения энергозатрат и улучшения агрофизических свойств обработанной тяжелосуглинистой почвы в засушливых условиях левобережной зоны Поволжья. Полученная урожайность озимой пшеницы не снижается, по обработанной плугом ПБС-8М почве за 2018–2020 гг. в среднем получено 24,0 ц/га, по обработанной плугом ПНЛ-8-40 почве – 23,5 ц/га¹⁵.

¹⁵ Левкина А. Ю. Приемы повышения урожайности и качества зерна озимой пшеницы при минимизации основной обработки чистого пара в Нижнем Поволжье.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обработки тяжелосуглинистой почвы в засушливых условиях левобережной зоны Поволжья установлена возможность снижения энергозатрат и улучшение агрофизических свойств почвы разработанным лемешно-отвальным плугом ПБС-8М. Часовая производительность при рабочей скорости агрегата 2,53 м/с, составила у К-701+ПБС-8М 3,94 га, у К-701+ПНЛ-8-40 – 2,6 га. Погектарный расход топлива на этом режиме составил 13,6 кг/га при работе К-701+ПБС-8М и 17,4 кг/га при работе К-701+ПНЛ-8-40. Снижены затраты топлива на каждом гектаре в размере 3,8 кг. Анализ полученных технологических показателей выявил, что оба плуга обеспечивали глубину обработки на уровне 23,0–23,4 см равномерно по всей ширине захвата машин. Отклонение фактической ширины захвата от конструктивной составляло 4,0 %, что свидетельствует об устойчивости плугов в работе. Гребнистость поверхности поля равнялась 6,9–8,2 см. Степень заделки растительных и пожнивных остатков проса в почву у плугов различалась как по глубине, так и по ширине захвата плуга. После прохода плуга ПБС-8М стерня распределена слоем 5–12 см на глубине 8–15 см, после прохода плуга ПНЛ-8-40 стерня находилась ближе ко дну борозды от 12 до 22 см. После зяблевой вспашки почвы агрегатами с серийным и разработанным плугами к весенней посевной компании улучшились показатели почвы, отразившиеся на урожайности возделываемой культуры 23,5–24,0 ц/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.В., Максимов И.И., Максимов В.И., Сякаев И.В. Энергетическая оценка механического воздействия на почву почвообрабатывающих машин и орудий. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2012;(3). URL: <https://elck.ru/3NqGW6> (дата обращения: 21.10.2024).
2. Нуралин Б.Н., Олейников С.В., Мурзагалиев А.Ж., Константинов М.М., Трофимов И.В. Энергетическая и агротехническая оценка работы плугов с ромбовидными и серийными рабочими органами. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016;(3):81–84. URL: <https://reader.lanbook.com/journalArticle/303613#1> (дата обращения: 21.10.2014).
3. Щилов В.Н., Пархоменко Г.Г. Проектирование рабочих органов для рыхления почвы с использованием деформаций растяжения. *Вестник АПК Ставрополя*. 2016;(3):57–62. <https://elibrary.ru/xccczd>
4. Алдошин Н.В., Васильев А.С., Голубев В.В. Исследование пределов прочности почвы на сжатие и растяжение. *Агроинженерия*. 2020;(3):27–33. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-3-27-33>
5. Пархоменко Г.Г. Исследование крошения почвы при использовании новых рабочих органов. *Тракторы и сельхозмашины*. 2019;86(2):27–34. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-2-27-34>
6. Кузиченко Ю.А. Энергетические показатели крошения почвы при обработке в пропашном звене севооборота в зоне Центрального Предкавказья. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020(3):188–191. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-83-3-188-191>
7. Трофимова Т.А., Коржов С.И. Ресурсосберегающие технологии обработки почвы. *Лесотехнический журнал*. 2014;(1):200–208. <https://doi.org/10.12737/3370>
8. Жученко А.В., Оберемок В.А. Комбинированный способ основной обработки почвы и сравнительная энергетическая оценка различных технологических процессов обработки почвы. *Научный журнал КубГАУ*. 2016;(116):373–386. <https://elibrary.ru/vquvnx>
9. Бородычев В.В., Шевченко В.А., Новиков А.Е., Ламскова М.И., Филимонов М.И. Энергетическая оценка тягово-эксплуатационных показателей чизельных и лемешных орудий на тяжело-суглинистых орошаемых почвах. *Плодородие*. 2017;(6):31–34. <https://elibrary.ru/ymjwmt>
10. Борин А.А., Лощина А.Э. Перспективные технологии обработки почвы. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2015;(2):130–134. <https://elibrary.ru/scfummm>

11. Черногаев В.Г., Свирина В.А. Сравнительный анализ эффективности применения различных способов обработки почвы в системе ресурсосберегающих технологий земледелия. *Аграрная наука*. 2020;(11–12):105–107. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-343-11-105-107>
12. Дьяков В.П. О результатах исследований деформирования почвы рабочими органами машин и орудиями технологических комплексов. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017;(8):42–46. URL: <https://clck.ru/3NqLz9> (дата обращения: 21.10.2024).
13. Пегова Н.А. Влияние систем основной обработки дерново-подзолистой почвы, вида пара и соломы на урожайность культур звена севооборота. *Пермский аграрный вестник*. 2019;(4):65–75. <https://elibrary.ru/bydrry>
14. Петелько А.И. Влияние глубины промерзания почвы на формирование стока талых вод. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2017;(18). URL: <https://clck.ru/3NqNLU> (дата обращения: 25.10.2024).
15. Швабауэр Ю.А., Субботин С.И., Гапич Д.С., Фомин С.Д. Экспериментальная установка для исследования чизельного агрегата, оборудованного рабочими органами с улучшенными геометрическими характеристиками. *Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса*. 2024;(2):394–406. <https://elibrary.ru/ggrjos>
16. Кузыченко Ю.А., Катков К.А. Технологический показатель работы МТА при обработке почвы в условиях Предкавказья. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022;(2):134–138. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-94-2-134-138>
17. Борисенко И.Б., Доценко А.Е., Борисенко П.И., Новиков А.Е. Чизелевание почвы: перспективные орудия и способы возделывания ширококорядных пропашных культур. *Аграрный научный журнал*. 2015;(7):41–45. <https://elibrary.ru/ubotqj>
18. Скороходов В.Ю. Уровень продуктивной влаги в зависимости от предшественника, срока и вида обработки почвы на черноземах южных Оренбургского Предуралья. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020;(1):13–19. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-81-1-13-19>
19. Бойков В.М., Старцев С.В. Разработка лемешно-отвальных плугов для тракторов тягового класса 5. *Аграрный научный журнал*. 2024;(11):113–119. <https://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i11pp113-119>
20. Бойков В.М., Старцев С.В., Павлов А.В., Нестеров Е.С. Результаты исследований заделки пожнивных остатков зерновых культур плугами ПЛН и ПБС. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023;8(2):25–30. https://doi.org/10.55170/19973225_2023_8_2_25

Об авторах:

Старцев Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технического обеспечения АПК Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (410012, Российская Федерация, г. Саратов, пр. им. Петра Столыпина, 4/3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3310-0035>, Scopus ID: 57212200354, Researcher ID: JWA-0022-2024, SPIN-код: 4856-1685, kingofscience@yandex.ru

Павлов Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения АПК Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (410012, Российская Федерация, г. Саратов, пр. им. Петра Столыпина, 4/3), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4447-3964>, SPIN-код: 2916-7482, andrej.pavloff2015@yandex.ru

Нестеров Евгений Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения АПК Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (410012, Российская Федерация, г. Саратов, пр. им. Петра Столыпина, 4/3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0870-7516>, SPIN-код: 9820-4786, nesterov21@mail.ru

Вклад авторов:

С. В. Старцев – формулирование идеи исследования, целей и задач; осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение экспериментов и сбор доказательств; создание и подготовка рукописи: критический анализ черновика рукописи, внесение замечаний и исправлений членами исследовательской группы, в том числе на этапах до и после публикации.

А. В. Павлов – осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение экспериментов и сбор доказательств; создание и подготовка рукописи: написание черновика рукописи, включая его перевод на иностранный язык.

Е. С. Нестеров – осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение расчетов и экспериментов и сбор доказательств; создание и подготовка рукописи: работа над графиками, написание черновика рукописи, включая его перевод на иностранный язык.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

*Поступила в редакцию 07.03.2025; поступила после рецензирования 26.03.2025;
принята к публикации 04.04.2025*

REFERENCES

1. Alekseev V.V., Maksimov I.I., Maksimov V.I., Syakaev I.V. Energy Estimation of Mechanical Impact on the Soil by Tillage Machines and Tools. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2012;(3). (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://clck.ru/3NqGW6> (accessed 21.10.2024).
2. Nuralin B.N., Oleinikov S.V., Murzagaliev A.Zh., Konstantinof M.M., Trofimov I.V. [Energy and Agrotechnical Assessment of the Work of Plows with Diamond-Shaped and Serial Working Bodies]. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2016;(3):81–84. (In Russ.) Available at: <https://reader.lanbook.com/journalArticle/303613#1> (accessed 21.10.2014).
3. Shchirov V.N., Parkhomenko G.G. Designing of the of Working Bodies for Loosening Soil Using the Deformationtensile. *Vestnik APK Stravropol'ya*. 2016;(3):57–62. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/xccezd>
4. Aldoshin N.V. Vasiliev A.S., Golubev V.V. Studies on Compressive and Tensile Strength of the Sod-Podzolic Soil. *Agricultural Engineering*. 2020;(3):27–33. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-3-27-33>
5. Parhomenko G.G. The Study of Soil Crumbling when Using New Working Bodies. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2019;86(2):27–34. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-2-27-34>
6. Kuzychenko Yu.A. Energy Parameters of Soil Crumbling on a Treated Plot of Root-Crop Rotation in the Process of Cultivation in the Zone of Central Predkavkazye. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2020(3):188–191. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-83-3-188-191>
7. Trofimova T.A., Korzhov S.I. Resource Saving Tillage Technologies. *Forestry Engineering Journal*. 2014;(1):200–208. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.12737/3370>
8. Zhuchenko A.V., Oberemok V.A. Combined Primary Tillage and Comparative Energy Evaluation of Different Technological Processes of Soil Treatment. *Scientific Journal of KubSAU*. 2016;(116):373–386. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/vquvnx>
9. Borodychev V.V., Shevchenko V.A., Novikov A.E., Lamskova M.I., Filimonov M.I. Modeling and Energy Assessment of Traction-Exploitation Indicators of Serial Chisel Implement and Plows. *Plodородie*. 2017;(6):31–34. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/ymjwmt>
10. Borin A.A., Loshchinina A.E. Advanced Soil Cultivation Technologies. *Modern High Technologies. Regional Application*. 2015;(2):130–134. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/scfumm>
11. Chernogaev V.G., Svirina V.A. Comparative Analysis of the Efficiency of Application of Different Methods of Tillage in the System of Resource-Saving Agriculture Technologies. *Agrarian Science*. 2020;(11–12):105–107. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-343-11-105-107>
12. Dyakov V.P. On the Results of Studies of Soil Deformation by Working Bodies of Machines and Tools of Technological Complexes. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2017;(8):42–46. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://clck.ru/3NqLz9> (accessed 21.10.2024).
13. Pegova N.A. Influence of Basic Tillage Systems of Sod-Podzolic Soil, the Type of Fallow and Straw on Crop Yield Capacity of Crop Rotation Link. *Perm Agrarian Journal*. 2019;(4):65–75. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/bydryy>

14. Petelko A.I. Influence of the Depth of Soil Freezing on the Formation of Meltwater Runoff. *Belgorod State University. Scientific Bulletin. Series: Natural sciences*. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://clck.ru/3NqNLU> (accessed 25.10.2024).
15. Shvabauer Yu.A., Subbotin S.I., Gapich D.S., Fomin S.D. Experimental Installation for the Study of a Chisel Unit Equipped with Working Bodies with Improved Geometric Characteristics. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2024;2(74):394–406. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/ggrjos>
16. Kuzychenko Yu.A., Katkov K.A. Technological Indicator of the Work of the MTU During Tillage in the Conditions of the Pre-Caucasus. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022;(2):134–138. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-94-2-134-138>
17. Borisenko I.B., Dotsenko A.E., Borisenko P.I., Novikov A.E. Chizeling: Advanced Tools and Harvesting Methods in Wide Row Crops. *Agrarian Scientific Journal*. 2015;(7):41–45. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/ubotqj>
18. Skorokhodov V.Yu. The Level of Productive Moisture Depending on the Predecessor, the Period and Type of Tillage on Chernozems of the Southern Orenburg Urals. *Izvestiya of the Orenburg State Agrarian University*. 2020;(1):13–19. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-81-1-13-19>
19. Boikov V.M., Startsev S.V. Development of Ploughshares for Tractors of Drawbar Category 5. *Agrarian Scientific Journal*. 2024;(11):113–119. (In Russ., abstract in Eng.) <https://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i11pp113-119>
20. Boykov V.M., Startsev S.V., Pavlov A.V., Nesterov E.S. The Results of Studies of the Crop Residues Sealing of Grain Crops with PLN and PBS Plows. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2023;8(2):25–30. (In Russ., abstract in Eng.) https://doi.org/10.55170/19973225_2023_8_2_25

About the authors:

Sergey V. Startsev, Dr.Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Technical Support of the Agroindustrial Complex, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (4/3 Prospekt im. Peter Stolypin, Saratov 410012, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3310-0035>, Scopus ID: 57212200354, Researcher ID: JWA-0022-2024, SPIN-code: 4856-1685, kingofscience@yandex.ru

Andrey V. Pavlov, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Technical Support for the Agro-Industrial Complex, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (4/3 Prospekt im. Peter Stolypin, Saratov 410012, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4447-3964>, SPIN-code: 2916-7482, andrey.pavloff2015@yandex.ru

Evgeny S. Nesterov, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Technical Support of the Agroindustrial Complex, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (4/3 Prospekt im. Peter Stolypin, Saratov 410012, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0870-7516>, SPIN-code: 9820-4786, nesterov21@mail.ru

Authors contribution:

S. V. Startsev – formulating the study idea, aims and objectives; conducting the study, specifically performing the experiments and collecting data/evidence; preparing the article manuscript: critical analysis of the manuscript and of comments and corrections made by the members of the research group during the pre-publication and post-publication stages.

A. V. Pavlov – conducting the study, specifically performing the experiments, and collecting data/evidence; preparing the manuscript, specifically writing the initial manuscript version (including its translation into the English language).

E. S. Nesterov – conducting the study, specifically performing the experiments and collecting data/evidence; preparing the manuscript, working on charts, specifically writing the initial manuscript version (including its translation into the English language).

All authors have read and approved the final manuscript.

Submitted 07.03.2025; revised 26.03.2025; accepted 04.04.2025