

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

4.3.1. Технологии, машины и оборудование  
для агропромышленного комплекса

Научная статья  
УДК 631.31 (470.44)  
<https://doi.org/10.28983/asj.y2026i4pp98-104>

**Разработка плугов-рыхлителей для тракторов  
тягового класса 5**

**Василий Михайлович Бойков, Сергей Викторович Старцев,  
Андрей Владимирович Павлов, Евгений Сергеевич Нестеров**  
Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова,  
г. Саратов, Россия  
e-mail: kingofscience@yandex.ru

**Аннотация.** В засушливых районах земледелия для сохранения и накопления влаги в почве широко применяются глубокая безотвальная обработка почвы и плуги-рыхлители, агрегатируемые в основном энергонасыщенными тракторами большой мощности. Повышение производительности пахотных агрегатов с тракторами одного тягового класса и равной мощности представляется при принципиальном изменении процессов взаимодействия новых конструкций почворезущих элементов с корнеобитаемым слоем почвы. На основе изменения тягового сопротивления почвы при свободном, полублокированном и блокированном рыхлении, зависимости тягового усилия трактора К-701 от скорости движения: созданы плуги-рыхлители марки: ПБС-(8+1)Р «Интеграл», ПБК-4,8Ч, ПБФР-5, ПБК-5,4, КОМБИ-6 и ПБС-16-38Р ширина захвата которых возросла с 3,6 до 6,0 м. Конструктивно-технологические решения комбинирования безотвального рыхления с отвальной технологией обработки почвы позволили добиться роста производительности труда агрегатов с тракторами тягового класса 5 до 4,0 га/ч.

**Ключевые слова:** почва, плуг-рыхлитель, технология, ширина захвата, скорость движения, глубина обработки, производительность

**Для цитирования:** Бойков В. М., Старцев С. В., Павлов А. В., Нестеров Е. С. Разработка плугов-рыхлителей для тракторов тягового класса 5 // Аграрный научный журнал. 2026. № 4. С. 98–104.  
<https://doi.org/10.28983/asj.y2026i4pp98-104>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Development of ripper plows for tractors  
of traction class 5**

**Vasily M. Boykov, Sergey V. Startsev, Andrey V. Pavlov, Evgeniy S. Nesterov**  
Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia,  
e-mail: kingofscience@yandex.ru

**Abstract.** In arid farming areas, deep non-ploughing tillage and plough-loosers are widely used to preserve and accumulate moisture in the soil, which are mainly equipped with high-power energy-saturated tractors. The increase in the productivity of ploughing units with tractors of the same traction class and equal power is achieved by fundamentally changing the processes of interaction between new designs of soil-cutting elements and the root-bearing layer of the soil. Based on the change in soil traction resistance during free, semi-blocked, and blocked loosening, and the dependence of the tractor's traction force on the speed of movement, the following plough-loosers were created: PBS-(8+1)R "Integral", PBK-4.8Ch, PBF-5, PBK-5.4, KOMBI-6, and PBS-16-38R, with a working width ranging from 3.6 to 6.0 meters. The design and technological solutions for combining non-ploughing loosening with ploughing soil cultivation technology have led to an increase in the productivity of units with tractors of class 5 up to 4.0 ha/h.

**Keywords:** soil, ripper plow, technology, working width, speed, depth of cultivation, and productivity

**For citation:** Boykov V. M., Startsev S. V., Pavlov A. V., Nesterov E. S. Development of ripper plows for tractors of traction class 5. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2026;(4):98–104. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.28983/asj.y2026i4pp98-104>.



**Введение.** На сельскохозяйственных предприятиях, занимающихся производством растениеводческой продукции на больших площадях, широко применяются тракторы тягового класса 5 с мощностью двигателя от 185 кВт. Главным их видом работ является основная обработка почвы, включающая в себя глубокую безотвальную обработку навесными или прицепными орудиями: глубокорыхлителями, плоскорезами, чизельными плугами [1]. На раме таких орудий установлен почворежущий элемент, выполненный по форме в виде прямолинейной или криволинейной стойки с долотом. Для увеличения степени крошения почвы в области долота закрепляют дополнительные режущие детали. В настоящее время разработаны и изготавливаются многочисленными отечественными и иностранными предприятиями большое количество разных рыхлительных орудий, отличающихся конструктивным исполнением и схемами расстановки рабочих органов [3, 6, 14].

Способ обработки почвы без оборота пласта имеет свои недостатки и преимущества. Наряду с почвозащитными показателями, технология менее энерго- и трудозатратна в сравнении с отвальной вспашкой [7]. Среди недостатков можно выделить низкую степень заделки семян сорняков, вредных микроорганизмов, которая достаточно эффективно выполняется при обороте пласта почвы [4]. Поэтому исследования в направлении разработки новых технологий, приближающих способ безотвального рыхления почвы по агротехническим показателям к способу отвальной обработки почвы, остаются актуальными.

В работе [2] представлена прямая зависимость производительности пахотных агрегатов от ширины захвата и скорости движения почвообрабатывающего орудия. Увеличение ширины захвата ограничивается тягово-сцепными свойствами трактора, а рост скорости – качеством выполнения технологического процесса. Один из путей повышения производительности пахотных работ возможен изменением способа рыхления почвенного пласта и конструкции почвообрабатывающего орудия. Из категории энергетических средств, в большинстве применяемых на пахотных операциях, задействованы тракторы, относящиеся к тяговому классу 5. Для агрегатирования с ними разработаны новые технологии и плуги-рыхлители.

Цель работы – увеличить производительность труда на пахотных работах путем разработки плугов-рыхлителей к тракторам тягового класса 5 для основной глубокой безотвальной обработки почвы.

**Материалы и методы.** Используя известные законы механики рыхления грунтов и основы эксплуатации машинно-тракторных агрегатов, выполнены расчеты возможности расширения эксплуатационно-технологических показателей почвообрабатывающих орудий с тракторами данного тягового класса. Полевые эксперименты с последующим производственным внедрением новых плугов-рыхлителей проводили в хозяйствах левобережных районов Саратовского Заволжья, а также в засушливых регионах Российской Федерации – Волгоградской, Ростовской, Самарской, Оренбургской областях.

**Результаты исследований.** Трактор К-701 и последующие его современные модификации К-744, К-5, К-9000 тягового класса 5 наиболее распространены в Российской Федерации для выполнения энергоемких операций основной обработки почвы. Зависимость силы тяги трактора К-701 от скорости движения на стерневом фоне [2] определяется выражением

$$P_T = - 3,3462v_T^2 - 2,237v_T + 83,292. \quad (1)$$

где  $P_T$  – тяговое усилие трактора, кН;  $v_T$  – скорость движения трактора м/с.

Для разработки новых технологий и технических средств для безотвального рыхления почвы использовали исследования [5, 13]. В работах установлено, что при резании почвенного корнеобитаемого слоя возможны три варианта взаимодействия рыхлительного рабочего органа. Если отсутствуют рядом с боковыми стенками открытые борозды, это заблокированное резание обрабатываемого слоя почвы. Если имеется одна открытая боковая стенка – полублокированное резание. Если при рыхлении пласта почвы боковые стенки открыты с обеих сторон – это свободное резание. Тяговое сопротивление плуга-рыхлителя при наличии всех вариантов:

$$R_p = n_p^6 R_p^6 + n_p^n R_p^n + n_p^c R_p^c, \quad (2)$$



где  $n_p^b$ ,  $n_p^n$ ,  $n_p^c$  – количество рабочих органов, соответственно при блокированном, полублокированном и свободном резании обрабатываемого слоя почвы, шт;  $R_p^b$ ,  $R_p^n$ ,  $R_p^c$  – тяговое сопротивление рыхлительного рабочего органа, соответственно при блокированном, полублокированном и свободном резании обрабатываемого слоя почвы, кН.

Зависимость энергетических показателей – тягового усилия трактора и тягового сопротивления рыхлительного рабочего органа  $R_p$  от скорости движения – представлены на рисунке 1. В результате установлено, что тяговое сопротивление при свободном резании на 38...40 %, а при полублокированном – меньше на 24...26 %, чем при блокированном. По тяговому усилию трактор К-701 может преодолевать нагрузку при рыхлении почвы на глубину 30 см на скорости 1,5...2,5 м/с.

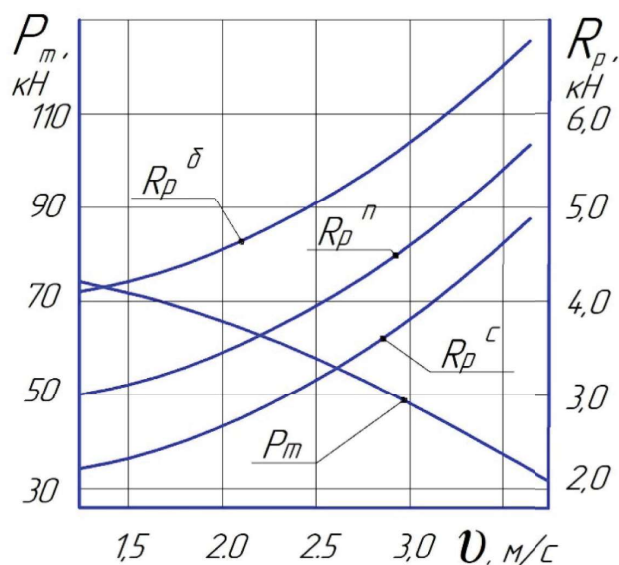


Рисунок 1 – График изменения тягового усилия  $P_m$  трактора К-701 и тягового сопротивления рабочего органа  $R_p$  от скорости движения  $v$ :  $R_p^b$  – при блокированном резании;  $R_p^n$  – при полублокированном резании;  $R_p^c$  – при свободном резании

Figure 1 – Graph of the change in the tractive effort  $P_m$  of the K-701 tractor and the tractive resistance of the working tool  $R_p$  as a function of the speed of movement  $v$ :  $R_p^b$  – with blocked cutting;  $R_p^n$  – with semi-blocked cutting;  $R_p^c$  – with free cutting

Соблюдая допустимый диапазон скорости для выполнения агротехнических показателей технологии безотвальной обработки почвы и используя полученные зависимости (см. рисунок 1), разработаны плуги-рыхлители к тракторам тягового класса 5 с различной схемой расположения рабочих органов на раме.

На рисунке 2 представлен навесной плуг-рыхлитель ПБС-(8+1)Р «Интеграл» [9], сконструированный на раме по аналогии с серийным отечественным плугом-рыхлителем ПНЛ-8-ЛП-35 СибИМЭ [9].



Рисунок 2 – Пахотный агрегат с плугом-рыхлителем ПБС-(8+1)Р «Интеграл»

Figure 2 – Arable unit with a ripper plow PBS-(8+1)R “Integral”



На несущем бруске рамы установлено девять корпусов, каждый из которых включает стойку, изгибающуюся книзу в направлении движения агрегата. В нижней части стойки корпуса закреплено долото с заостренным усеченным конусом в носовой части. Такая форма долота исключает излом его носка при встрече с камнями, плитняком и другими препятствиями, при рыхлении твердых и пересушенных почв. Вдоль стойки долото переходит в отвальчик, выполненный в виде разносторонней трапеции и повторяющей изгиб стойки. Рыхление почвы плугом-рыхлителем ПБС-(8+1)Р «Интеграл» позволяет обрабатывать почву частично по отвальной технологии. В агрегате с трактором К-701 при ширине захвата 3,6 м, глубине рыхления почвы 22–24 см, на скоростях движения 8,2–10,3 км/ч, часовая производительность составила 2,5–3,1 га/ч.

Для улучшения эксплуатационно-технологических показателей плугов-рыхлителей сконструированных по эшелонированной схеме разработан плуг-рыхлитель ПБК-4,8Ч [8] (рисунок 3). На фронтальной раме такого орудия в три ряда расположены рыхлительные и чизельные рабочие органы. Причем первые два ряда включают в себя шахматное размещение рыхлительных рабочих органов, а третий ряд линейно один ряд чизельных рабочих органов. Каждый рабочий орган выполнен из прямолинейной стойки, в нижней части рыхлительного органа закреплена лапа с отвалом, а у чизельного только долото. На безотвальной обработке почвы влажностью 13,2...21,9 % и твердостью 2,6...5,6 МПа (слой 0 до 40 см), на агрофоне по стерне озимой пшеницы, плуг-рыхлитель ПБК-4,8Ч имеет следующие эксплуатационные показатели. Рабочая ширина захвата 4,8 м, скорость движения 6,5 км/ч, глубина рыхления рыхлительных рабочих органов 23 см, чизельных – 33 см, часовая производительность агрегата К-701+ПБК-4,8Ч 3,1 га/ч.



*Рисунок 3 – Пахотный агрегат с плугом-рыхлителем ПБК-4,8Ч*

*Figure 3 – Arable unit with a ripper plow PBK-4.8Ch*

Разработан плуг-рыхлитель ПБФР-5, на такой же фронтальной раме с четырехрядным расположением рабочих органов (рисунок 4). Рыхлительный рабочий орган модернизирован путем установки по профилю стойки пластины, выполняющей функцию крошения и частичного оборачивания подрезаемого пласта почвы. Чизельный рабочий орган модернизирован по форме стойки и конструкции долота [11].



*Рисунок 4 – Пахотный агрегат с плугом-рыхлителем ПБФР-5*

*Figure 4 – Arable unit with ripper plough PBFR-5*



На плуге-рыхлителе ПБФР-5 предусматривается возможность разноглубинной обработки почвы: первые два ряда рыхлительных рабочих органов и два ряда последующих чизельных рабочих органов могут устанавливаться с разницей 15 см. Часовая производительность К-701+ПБФР-5 шириной захвата 5,0 м при равной глубине рыхления 30 см всеми рабочими органами при скорости движения 2,1–2,4 м/с составила 3,1–3,3 га/ч.

Для повышения технологических показателей разрыхленной почвы и учитывая элементы конструкций почвообрабатывающих орудий ПБК-4,8Ч и ПБФР-5, разработан плуг-рыхлитель ПБК-5,4 (рисунок 5). Создан рабочий орган комбинированного типа, состоящий из стойки, лапы с двумя ножами, отвала, обтекателя и долота [10]. 19 рыхлительных комбинированных рабочих органов, расположенных фронтально в четыре ряда, составляют ширину захвата 5,4 м. Эксплуатационно-технологическая оценка работы комбинированного плуга-рыхлителя ПБК-5,4 по стерне озимой пшеницы на глубину обработки 24 см, влажностью 9,1–22,4 % и твердостью почвы 1,3–4,2 МПа показала, что почвообрабатывающее обеспечивает на скорости 6,7 км/ч крошение почвы до 97,4–98,1 % с производительностью 3,5 га/ч.



Рисунок 5 – Пахотный агрегат с плугом-рыхлителем ПБК-5,4

Figure 5 – Arable unit with a ripper plow PBK-5,4

Использование плуга-рыхлителя ПБК-5,4 в районах сухого земледелия позволило усовершенствовать процесс рыхления почвы комбинированными рабочими органами. Возможность совмещения отвальной технологии с безотвальным рыхлением почвенного слоя послужила основой создания технологии и плуга-рыхлителя КОМБИ-6 (рисунок 6) [1]. На фронтальной раме впереди к направлению движения агрегата расположено два ряда рыхлительных рабочих органов и сзади один ряд чизельных рабочих органов. Рыхлительный корпус орудия выполнен из криволинейной стойки и оснащен левым и правым отвальчиком. На чизельные корпуса также устанавливали отвальные пластины, которые перемешивают и выравнивают взрыхленный пласт почвы в междурядии рыхлительных рабочих органов. Также предусмотрена возможность выполнения разноглубинной обработки почвы с разницей 15 см.



Рисунок 6 – Пахотный агрегат с плугом-рыхлителем КОМБИ-6

Figure 6 – Arable unit with a ripper plough COMBI-6

При рабочей ширине захвата 6,3 м часовая производительность КОМБИ-6 достигла 3,7 га/ч при обработке рыхлительными на 20 см и чизельными рабочими органами на 35 см при скорости движения 6,3 км/ч. Влажность почвы в слоях 0–35 см составляла 9,8–11,5 %, твердость почвы 1,3–3,2 МПа.



Учитывая тягово-сцепные свойства тракторов тягового класса 5 и сопротивление рыхлительных органов по резанию почвы (см. рисунок 1) разработан навесной плуг-рыхлитель ПБС-16-38Р шириной захвата 6,0 м (рисунок 7) [12]. В технологии обработки пласта реализуется полное рыхление почвы на глубину до 40 см, на глубину до 25 см перемешивание почвы с органическими элементами и создание мульчирующего слоя толщиной 0–12 см. У плуга-рыхлителя сохраняется форма рамы, на которой устанавливаются 16 рыхлительных рабочих органов, каждый из которых выполнен из криволинейной стойки, отвальной пластины и долота. В задней части рамы закреплены выравниватели поверхности пашни. Исследованиями установлена часовая эксплуатационная производительность К-744Р+ПБС-16-38Р более 4,0 га/ч при рабочей скорости движения агрегата 7,2 км/ч и рыхлении почвы на глубину 30 см.



Рисунок 7 – Пахотный агрегат с плугом ПБС-16-38Р

Figure 7 – Arable unit with plow PBS-16-38R

В результате многолетних теоретических и экспериментальных исследований технологий глубокой безотвальной обработки почвы и совершенствования почвообрабатывающих орудий рост производительности труда пахотных агрегатов в сравнении с серийным плугом ПЛН-8-ЛП-0,35СибИМЭ на 16–47 % (рисунок 8).

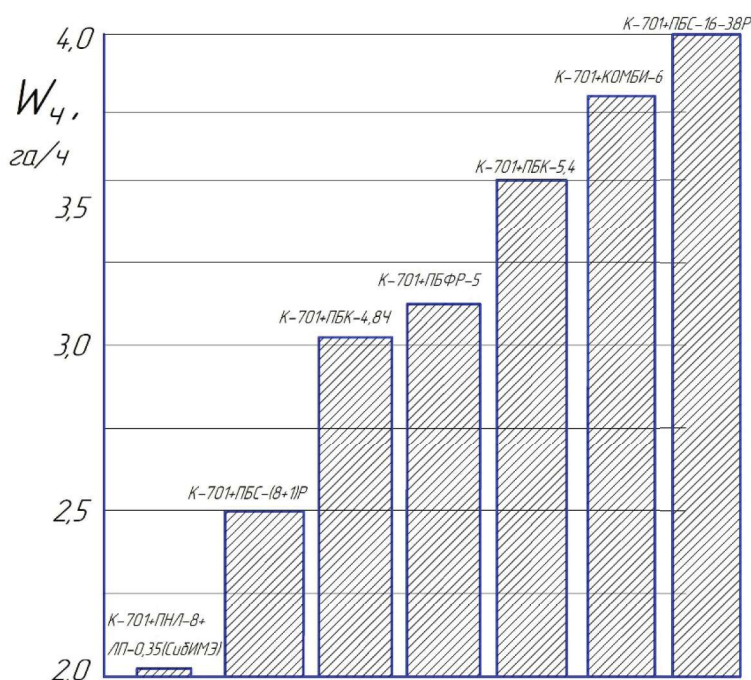


Рисунок 8 – Диаграмма роста производительности разработанных плугов-рыхлителей

Figure 7 – Productivity growth diagram of the developed ripper plows

**Заключение.** В результате совершенствования технологий и технических средств для основной безотвальной обработки почвы с применением теории резания почвенного пласта для агрегатирования с тракторами тягового класса 5 получены технические решения, позволяющие увеличить ширину захвата новых почвообрабатывающих орудий от 3,6 до 6,0 м, при этом шири-



на захвата серийного плуга-рыхлителя ПЛН-8-ЛП-0,35СиБИМЭ равна 3,2 м. Комбинирование конструкций рыхлительных и чизельных рабочих органов с различным расположением на раме плуга-рыхлителя дало возможность нарастить производительность пахотных агрегатов в сравнении с плугом ПЛН-8-ЛП-0,35СиБИМЭ на 16–47 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойков В.М., Старцев С.В. Разработка лемешно-отвальных плугов для тракторов тягового класса 5 // Аграрный научный журнал. 2024. № 11. С. 113–119. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i11pp113-119>.
2. Бойков В.М., Старцев С.В., Чернышкин В.В. Результаты экспериментальных исследований почвообрабатывающего орудия КОМБИ-6 // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2012. № 12. С. 45–47.
3. Глубокорыхлители. Режим доступа: <https://agroserver.ru/glubokorykhliteli/> (дата обращения 14.02.2025).
4. Добринов А. В., Джаббаров Н. И., Чугунов С. В. Сравнительная оценка эффективности рабочих органов для обработки почвы и уничтожения сорных растений // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2(66). С. 465–480. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-02-57>
5. Зеленин А. Н. Резание грунтов / Акад. наук СССР. Ин-т горного дела. М., 1959. 271 с.
6. Лурье А.Л., Любимов А.И. Широкозахватные почвообрабатывающие машины. Л.: Машиностроение, 1981. 270 с.
7. Мальцев Т.С. Система безотвального земледелия. М.: Агропромиздат, 1988. 128 с.
8. Нестеров Е.С. Разработка комбинированного технологического процесса и почвообрабатывающего орудия для основной обработки почвы: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2011. 20 с.
9. Плуг-рыхлитель ПБС-(8+1)Р «ИНТЕГРАЛ» / В.М. Бойков [и др.] // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: материалы Междунар. науч.-техн. конф. имени Михайлова В.В. Саратов, 2021. Вып. 34. С. 160–163.
10. Протокол №08-63-08 (4020482) государственных приемочных испытаний почвообрабатывающего комбинированного орудия ПБК-5,4 / Поволжская МИС. Кинель, 2008. 33 с.
11. Результаты исследований новой технологии основной обработки почвы при возделывании сои / В.М. Бойков [и др.] // Аграрный научный журнал. 2016. № 1. С. 46–48.
12. Результаты экспериментальных исследований плуга-рыхлителя в агрегате с трактором тягового класса 5 / В.М. Бойков [и др.] // Наука в Центральной России. 2023. Т. 64. № 4. С. 56–62. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-56-62>.
13. Тяговое сопротивление чизельного рабочего органа / В.М. Бойков [и др.] // Научное обозрение. 2017. № 5. С. 70–77.
14. Халанский В. М., Горбачев И.В. Сельскохозяйственные машины. М.: Колосс, 2003. 623 с.

## REFERENCES

1. Boykov V.M., Startsev S.V. Development of moldboard plows for tractors of traction class 5. *Agrarian Scientific Journal*. 2024;(11):113–119. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i11pp113-119>.
2. Boykov V.M., Startsev S.V., Chernyshkin V.V. Results of experimental studies of the KOMBI-6 tillage tool. *Bulletin of the Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov*. 2012;(12):45–47.
3. Subsoilers. Available at: <https://agroserver.ru/glubokorykhliteli/> (date of access 14.02.2025).
4. Dobrinov A.V., Dzhaborov N.I., Chugunov S.V. Comparative assessment of the efficiency of working bodies for soil cultivation and weed control. *Bulletin of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2022;2(66):465–480. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-02-57>
5. Zelenin A.N. Soil cutting / Academy of Sciences of the USSR. Institute of Mining. Moscow, 1959. 271 p.
6. Lurye A.L., Lyubimov A.I. Wide-coverage tillage machines. Leningrad, 1981. 270 p.
7. Mal'tsev T.S. Moldboard-Free Farming System. Moscow: Agropromizdat, 1988. 128 p.
8. Nesterov E.S. Development of a Combined Technological Process and Tillage Implement for Primary Tillage: Abstract of a Ph.D. (Eng.) Dissertation. Saratov, 2011. 20 p.
9. Plough-ripper PBS-(8+1)R "INTEGRAL" / V.M. Boykov et al. *Problems of Economy and Operation of Automotive and Tractor Equipment: Proc. of the International Scientific and Technical Conf. named after V.V. Mikhailov*. Saratov, 2021;(34):160–163.
10. Protocol No. 08-63-08 (4020482) of state acceptance tests of the PBC-5.4 combined tillage tool / Povolzhskaya MIS. Kinel, 2008. 33 p.
11. Results of studies of a new technology for primary tillage in soybean cultivation / V.M. Boykov et al. *Agrarian Scientific Journal*. 2016;(1):46–48.
12. Results of experimental studies of a plow-ripper in a unit with a tractor of traction class 5 / V.M. Boykov et al. *Science in Central Russia*. 2023;64(4):56–62. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-56-62>.
13. Traction resistance of a chisel working element / V. M. Boykov et al. *Scientific review*. 2017;(5):70–77.
14. Khalansky V. M., Gorbachev I. V. Agricultural machines. Moscow: Koloss, 2003. 623 p.

Статья поступила в редакцию 27.10.2025; одобрена после рецензирования 10.12.2025; принята к публикации 28.12.2025.  
The article was submitted 27.10.2025; approved after reviewing 10.12.2025; accepted for publication 28.12.2025.

