ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-30

THE WEAR OF PLOUGHSHARES MADE BY THE FOUNDRY TECHNOLOGIES

D.S. Gapich¹, V. A. Motorin^{1,2}, R.N. Oleinikov¹

¹Volgograd State Agrarian University, Volgograd

²All-Russian research institute of irrigated agriculture, Volgograd

Received 30.11.2020

Submitted 10.12.2020

*The research was conducted as a part of the grant of the President
of the Russian Federation MK-2870.2019.8*

Summary

A promising plowshare manufacturing technology has been developed, which consists in casting it from high-strength metal, with strengthening the cutting edge of the plowshare with a material made of high-alloy alloys. The alloyed layer of the plowshare obtained by casting has a significantly greater thickness and increased hardness compared to the deposited layer, which allows you to increase the product life. The resource of experimental plowshares is almost three times higher than the resource of its serial counterpart and amounts to 12 hectares of operating time per case, while the same indicator for a serial plowshare is only 4.7 hectares.

Abstract

Introduction. Increasing the resource of replacement parts of tillage machines is an urgent problem in the agro-industrial complex. In the process of performing tillage operations by tillage machines, their working parts, in particular, cutting rods, experience dynamic loads, abrasive and chemical effects of the external environment, which provokes their wear. A promising direction for improving the wear resistance of cutting bit blades is their alloying during casting preparation.

Materials and methods. The main laboratory and field research was carried out at the Educational, research and production center «Gornaya Polyana», on classic light chestnut soils with a resistivity coefficient of 7-12, a low content of organic residues (humus-1.5 — 2.5%), and a humidity of 8-10%. Comparative tests of plowshares to the limit of wear were carried out by types of work corresponding to their main purpose, namely, on autumn plowing. General test conditions typical for the Volgograd region in terms of terrain, soil condition, and other performance indicators. Broken plowshares were thoroughly cleaned, marked, and sent for further research. During the initial technical examination, the compliance of the experimental and serial samples tested with the technical conditions for manufacturing quality was evaluated, and the weight of the plowshare was determined.

Results and conclusions. A new plowshare manufacturing technology has been introduced, which consists in casting it from high-strength metal, with strengthening the cutting edge of the plowshare with a material made of high-alloy alloys. The alloyed layer of the plowshare obtained by casting has a significantly greater thickness and increased hardness compared to the deposited layer, which allows you to increase the resource of the product. The resource of experimental plowshares is almost three times higher than the resource of its serial counterpart and amounts to 12 hectares of operating time per case, while the same indicator for a serial plowshare is only 4.7 hectares.

Key words: *plowshare, strengthening of plowshares during casting, alloying, alloying powder, increasing wear resistance.*

Citation. Gapich D. S., Motorin V. A., Oleinikov R. N. The wear of plowshares made by foundry technologies. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 1(61). 316-326 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-30.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

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

УДК 621.785.5

ИЗНОС ЛЕМЕХОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО ЛИТЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Д. С. Гапич¹, доктор технических наук, доцент
В. А. Моторин^{1,2}, кандидат технических наук, доцент
Р. Н. Олейников¹, аспирант

¹Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград

²Всероссийский НИИ орошаемого земледелия, г. Волгоград

Дата поступления в редакцию 30.11.2020

Дата принятия к печати 10.12.2020

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации МК-2870.2019.8.

Актуальность. Повышение ресурса сменных частей почвообрабатывающих машин является актуальной проблемой в АПК. В процессе выполнения операций обработки почвы почвообрабатывающими машинами их рабочие органы, в частности режущие лезвия, испытывают динамические нагрузки, абразивное и химическое воздействие внешней среды, что провоцирует их износ. Перспективным направлением повышения износостойкости режущих лезвий долота является их легирование при изготовлении литьем. **Материалы и методы.** Проведение основных лабораторно-полевых исследований осуществлялось в УНЦП «Горная Поляна» на классических светло-каштановых почвах, имеющих коэффициент удельного сопротивления 7-12, низкое содержание органических остатков (гумуса – 1,5-2,5 %), влажность – 8-10 %. Сравнительные испытания лемехов до предельного износа проводились по видам работ, соответствующим основному их назначению, а именно, на осенней вспашке. Общие условия проведения испытаний характерны для Волгоградской области по рельефу, состоянию почвы и другим показателям качества работы. Вышедшие из строя лемеха подвергались тщательной очистке, маркировались и отправлялись на проведение дальнейших исследований. При проведении первичной технической экспертизы оценивали соответствие испытываемых экспериментальных и серийных образцов техническим условиям по качеству изготовления, определяли массу лемеха. **Результаты и выводы.** Разработана перспективная технология изготовления лемеха плуга, которая заключается в отливке его из высокопрочного металла, с упрочнением режущей кромки лемеха материалом из высоколегированных сплавов. Легированный слой лемеха, получаемого литьем, имеет значительно большую толщину и повышенную твердость по сравнению с наплавленным слоем, что позволяет повысить ресурс изделия. Ресурс экспериментальных лемехов практически втрое превышает ресурс своего серийного аналога и составляет 12 гектаров наработки на корпус, тогда как этот же показатель у серийного лемеха составляет всего 4,7 гектара.

Ключевые слова: лемех отвального плуга, упрочнение лемехов при литье, легирование, легирующий порошок, повышение износостойкости лемехов.

Цитирование. Гапич Д. С., Моторин В. А., Олейников Р. Н. Износ лемехов, изготовленных по литейной технологии. *Известия НВ АУК*. 2021. 1(61). 316-326. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-30.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Одним из основных элементов рабочего органа плуга, определяющим энергетические, качественные показатели процесса вспашки, а также продолжи-

тельность безотказной работы плуга, является лемех, т.е. от эффективности работы и состояния лемеха зависит объем ресурсов, затрачиваемых на почвообработку.

Для поддержания работоспособного состояния сельскохозяйственной техники ведущими заводами России ежегодно выпускается значительное количество запасных частей. Так, например, Рубцовский завод ежегодно выпускает более 600 тыс. шт. лемехов. Ежегодная потребность данного завода в стали 50Г составляет более 16 тыс. тонн.

Кроме того, увеличение массы применяемых в сельском хозяйстве машинно-тракторных агрегатов и рабочих скоростей движения привело к переуплотнению почвенного слоя и увеличению нагрузки на рабочие органы сельскохозяйственных машин. Это особенно обострило вопрос, связанный с недостаточной износостойкостью рабочих органов [1-3, 5, 8, 9, 11, 13, 14].

На сегодняшний день одними из самых совершенных лемехов являются выпускаемые серийно самозатачивающиеся лемехи, но и они имеют ряд недостатков: трудоемкость изготовления, сложность процесса равномерного нанесения биметаллической наплавки. В целом, следует отметить, что стальные самозатачивающиеся лемехи практически исчерпали себя в плане повышения износостойкости. Работа по их дальнейшему усовершенствованию, без внедрения принципиально иных технологических приемов упрочнения с получением более совершенных материалов и применением их для изготовления лемехов не дает возможности повысить их износостойкость [4, 6, 7, 10, 12, 15].

Поэтому повышение надежности и долговечности орудий для почвообработки является важнейшей проблемой современного машиностроения. В связи с этим, исследования, направленные на повышение ресурса лемехов плугов для основной обработки почвы, являются актуальными и имеют важное значение для народного хозяйства.

Целью данной работы является оценка технического ресурса лемехов с наплавкой легирующего слоя при литье.

Материалы и методы. Проведены натурные полевые сравнительные испытания экспериментальных лемехов, упрочненных поверхностным легированием, с серийно выпускаемыми лемехами.

Для проведения исследований и полевых испытаний были изготовлены опытные экспериментальные лемеха, согласно технологической карте изготовления с наплавкой легирующего слоя. Полученный в результате литья лемех без постобработки представлен на рисунке 1 с основными геометрическими размерами готового лемеха (рисунок 2).

Рисунок 1 – Лемех, изготовленный методом литья

Figure 1 – A ploughshare made by casting

Рисунок 2 – Абрис лемеха изготовленного методом литья с наплавкой легирующего слоя в литейной форме

Figure 2 – Outline of a ploughshare made by casting with surfacing of an alloying layer in a casting mold

Краткая характеристика серийного и экспериментального лемехов, поставленных на испытания, приведены в таблице 1.

Проведение основных лабораторно-полевых исследований осуществлялось в УНЦП «Горная Поляна» на классических светло-каштановых почвах, имеющих коэффициент удельного сопротивления 7-12, низкое содержание органических остатков (гумуса – 1,5-2,5 %), влажность – 8-10 %. Сравнительные испытания лемехов до предельного износа проводились по видам работ, соответствующим основному их назначению, а именно, на осенней вспашке. Общие условия проведения испытаний характерны для Волгоградской области по рельефу, состоянию почвы и другим показателям качества работы.

Таблица 1 – Краткая характеристика экспериментальных лемехов

Table 1 – Brief characterization of the experimental shield

Опытный образец / Prototype	Основные параметры / Main parameters			
	Материал изготовления лемеха / Material the manufacture of the blade	Материал наплавляемого слоя / Material of the deposited layer	Метод изготовления лемеха / Ploughshare manufacturing method	Метод наплавки упроч. слоя / Method of surfacing the hardened layer
Серийный лемех пр-ва г.Рубцовск / Serial plowshare Rubtsovsk	Сталь 45 / Steel 45	Неизвестен / Unknown	Нарезка из лемешной полосы / Cutting from a ploughshare strip	Индукционная наплавка / Induction surfacing
Экспериментальный лемех изгот. методом литья / The experimental ploughshare is made casting method	Сталь 45 / Steel 45	порошок ПГ-С27 / powder PG-C27	Отливка в литейной форме / Casting in a casting mold	Поверхностное легирование при литье / Surface alloying during casting

Для достижения наиболее качественных результатов испытаний необходимо обеспечить эксплуатацию опытных серийных и экспериментальных лемехов при максимально возможных равных условиях. Оптимальным решением данной задачи являет-

ся одновременная установка обоих видов испытываемых лемехов на один агрегат с возможностью их распределения по корпусам в зависимости от степени нагрузки для достижения наиболее равных условий работы.

Наиболее подходящим под данные условия орудием является классический лемешно-отвальный плуг ПЛН-8-35, имеющий широкое распространение в условиях ведения сельского хозяйства в Волгоградской и многих других областях. Данный плуг предназначен для вспашки почв под зерновые и другие сельскохозяйственные культуры на максимальную глубину обработки до 30 см, на почвах с удельным сопротивлением – до 0,9 кг/см², твердостью – до 30 кг/см², влажностью – 12-15 %, не имеющих в своем составе крупных камней, плитняка и других твердотельных объектов, которые могут привести к выводу орудия из строя. Плуг агрегируется с тракторами пятого тягового класса типа К-700, К-701, К-744, К-424, К-744Р, К-744Р1, МТЗ-3022. Исходя из этого для проведения испытаний был утвержден машинно-тракторный агрегат в составе трактора К-701 и плуга ПЛН-8-35. Процесс подготовки агрегата к проведению испытаний представлен на рисунке 3.

Рисунок 3 – Подготовка МТА к проведению испытаний

Figure 3 – Preparation of the MTA for testing

Главными условиями работы являются полное и равномерное заглубление корпусов, отсутствие перекосов (параллельность рамы плуга поверхности почвы), устойчивость и равномерность хода, а также полная заделка растительности и отсутствие недовала пласта.

Экспериментальные опытные и серийные лемеха устанавливались на все корпуса плуга с периодическим чередованием для получения характеристики износа образцов, в зависимости от характера и интенсивности прилагаемых нагрузок, а также получения сведений о влиянии износа лемеха на качество работы агрегата в целом. Установленный экспериментальный лемех, изготовленный методом литья с поверхностным легированием на один из корпусов плуга, представлен на рисунке 4.

Рисунок 4 – Корпус плуга с установленным лемехом, изготовленным методом литья с поверхностным легированием

Figure 4 – The body of the plough with the installed shingles produced by the method of casting with surface alloying

В ходе проведения испытания при достижении лемехами максимальной степени износа, приводящей к полной потере работоспособности, производили их замену на новые лемеха соответствующего варианта. Вышедшие из строя лемеха подвергались тщательной очистке, маркировались и отправлялись на проведение дальнейших исследований.

При проведении первичной технической экспертизы оценивали соответствие испытываемых экспериментальных и серийных образцов техническим условиям по качеству изготовления, определяли массу лемеха.

Для качественного контроля износа аналогичные замеры для всех экспериментальных лемехов проводили в процессе ведения и после завершения испытаний.

Результаты и обсуждение. Во время проведения испытаний основным контрольным периодом эксплуатации была принята одна рабочая смена и величина наработки, выполненной за ее время. После завершения каждой смены производился контроль возможных механических повреждений, определялась толщина и степень заострения режущей кромки лезвия, особое внимание уделялось контролю образования тыловой фаски с ее отрицательным углом и динамикой развития, оценивалось качество работы эффекта самозатачивания носка и лезвия лемеха. Если по каким-либо причинам опытный лемех терял работоспособность до завершения очередной смены, то данный факт отмечался в специальном журнале, где также указывалось время, наработка и причина выхода из строя. Один из моментов проведения контроля состояния лемеха после наработки в одну смену представлен на рисунке 5.

Тщательный контроль качества обработки почвы на предмет соответствия агротехническим требованиям также проводился ежемесячно.

Во время проведения испытаний внимание уделялось стабильности и качеству работы машинно-тракторного агрегата в целом. Контролировались и оценивались такие параметры, как устойчивость хода плуга, стабильность глубины обработки, нагрузка на трактор. При выявлении каких-либо недостатков в работе агрегата, например, таких как самовыглубление, производилась остановка работ до выяснения и устранения выявленной причины с обязательным занесением данных в журнал испытаний. При проведении конечного анализа испытаний исследуемых образцов данные сведения играли определенную роль в оценке их качества и стабильности работы.

Рисунок 5 – Корпус плуга с установленным экспериментальным лемехом после сменной наработки

Figure 5 – The plow body with the installed experimental plowshare after a change of operating time

Выбраковка сравниваемых образцов осуществляется по следующим основным критериям: неравномерность глубины пахоты, превышающая пределы агротребований; выглубление плуга; поломка лемеха; предельный износ лемеха.

При определении средней долговечности лемехов выбракованные образцы по причине поломки в расчет не принимаются.

При проведении внешнего осмотра представленных образцов грубых дефектов не выявлено. Качество изготовления всех образцов удовлетворительное. Поверхность наплавочного слоя обоих видов лемехов нареканий не вызывает.

Во время проведения испытаний опытные лемеха показали стабильное качество работы, без выявления возможных скрытых дефектов в результате брака производства, и в целом нареканий не вызывали. Экспериментальные лемеха продемонстрировали значительно превосходящую своего серийного аналога ресурсоемкость, при более равномерном износе. Так максимальная наработка на отказ экспериментальных лемехов, изготовленных методом литья с поверхностным легированием высокопрочным порошковым сплавом, составила 12 га, тогда как у лемехов производства ЗАО «Рубцовский завод запасных частей» этот показатель составил всего 4,7 га. Очевидную разницу в степени износа можно наблюдать на абрисе лемехов (рисунок 6).

Рисунок 6 – Абрисы испытуемых лемехов:
 а – экспериментальный лемех; б – серийный лемех. 1 – новый лемех;
 2 – изношенный лемех

Figure 6 – Outlines of the tested ploughshares:
 a – experimental ploughshare; b – serial ploughshare. 1 – new ploughshare;
 2 – worn ploughshare

Проведя первичную оценку степени износа изношенных образцов путем внешнего осмотра, уже можно дать положительную оценку износостойкости экспериментальных образцов, что особенно проявляется в носовой части.

Существенную разницу в износостойкости лемехов также можно наблюдать по массовому методу оценки, на составленном специально для этого графике потери массы лемехов в ходе испытаний, который представлен на рисунке 7.

Рисунок 7 – График потери массы лемехов:
 1 – динамика износа экспериментального лемеха; 2 – динамика износа серийного лемеха

Figure 7 – Ploughshare mass loss graph:
 1 – wear dynamics of the experimental ploughshare; 2 – wear dynamics of the serial ploughshare

На основании этого можно сделать вывод, что изготовление и упрочнение лемехов по новой перспективной технологии имеет положительный результат в виде достижения равностойкости рабочих зон лемеха при его эксплуатации, что и позволило ему достичь столь высокой наработки.

Однако, несмотря на небольшой износ и хорошую износостойкость экспериментальных лемехов в целом, во время проведения испытаний начало происходить самовыглубление плуга, что и явилось основанием для их выбраковки при наработке на корпус 12 га.

Выводы. Работоспособность корпуса плуга определяется величиной износа лемеха, именно эта величина оказывает значительное влияние на энергетические и качественные показатели пахотного агрегата. Перспективной технологией изготовления лемеха плуга является их отливка из высокопрочного металла с упрочнением режущей кромки лемеха материалом из высоколегированных сплавов. Легированный слой лемеха, получаемого литьем, имеет значительно большую толщину и повышенную твердость по сравнению с наплавленным слоем, что позволяет повысить ресурс изделия. Ресурс экспериментальных лемехов практически втрое превышает ресурс своего серийного аналога и составляет 12 гектаров наработку на корпус, тогда как этот же показатель у серийного лемеха составляет всего 4,7 гектаров.

Библиографический список

1. Дорошенко В. С., Гнатуш В. А. Мировой рынок литья чугуна с шаровидным графитом. Состояние и перспективы развития // Вестник арматуростроителя. 2017. № 5. С. 112-119.
2. Костылева Л. В., Гапич Д. С., Моторин В. А. Комплексное влияние химического состава чугуна на структуру отбеленного слоя долота чизельного плуга // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 2. С. 221-228.
3. Сильман Г. И., Макаренко К. В., Зенцова Е. А. Бейнитный высокопрочный чугун с шаровидным графитом // Металловедение и термическая обработка металлов. 2013. № 4. С. 3-8.
4. Формирование износостойких зонально-распределенных структур деталей орудий для почвообработки из высокопрочного чугуна / В. А. Моторин, Д. С. Гапич, Л. В. Костылева, А. Е. Новиков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4. С. 269-276.
5. Al-Sayed S. R., Elshazli A. M., Hussein A. H. A. Laser surface hardening of Ni-hard white cast iron // 2020 Metals. 2020. V. 10(6). N. 795. P. 1-19.
6. An investigation on the stability of austenite in Austempered Ductile Cast Iron (ADI) / S. Panneerselvam [et al.] // Materials Science and Engineering. 2015. Vol. 626. P. 237-246.
7. Composition and Tribological Properties of Hardened Cutting Blades of Tillage Machines under Abrasive Deterioration / A. E. Novikov, V. A. Motorin, M. I. Lamskova, M. I. Filimonov // Journal of Friction and Wear. 2018. Vol. 39. No. 2. P. 158-163.
8. Effect of the starting microstructure in the formation of austenite at the intercritical range in ductile iron alloyed with nickel and copper / H. D. Machado, R. Aristizabal-Sierra, C. Garcia-Mateo, I. Toda-Caraballo // International Journal of Metalcasting. 2020. V. 14 (3). P. 836-845.
9. Influence of cooling rate on the microstructure and properties of a new wear resistant carbide austempered ductile iron (CADI) / Y. Ch. Peng, H. J. Jin, J. H. Liu, G. L. Li // Materials Characterization. 2012. Vol. 72. P. 53-58.
10. Influence of solidification conditions on the microstructure of laser-surface-melted ductile cast iron / D. Janicki, J. Górka, W. Kwaśny, W. Pakiel, K. Matus // Materials. 2020. V. 13 (5). P. 1174.
11. Neutron diffraction monitoring of ductile cast iron under cyclic tension-compression / S. Harjo, S. Kubota, W. Gong, T. Kawasaki, S. Gao // Acta Materialia. 2020. V. 196. P. 584-594.
12. Non-single bionic coupling model for thermal fatigue and wear resistance of gray cast iron drum brake / D. Yu, T. Zhou, H. Zhou, H. Bo, H. Lu // Optics and Laser Technology. 2019. Vol. 111. P. 781-788.

13. Probabilistic Low Cycle Fatigue criterion for nodular cast-irons / F. Szmytka, E. Charkaluk, A. Constantinescu, P. Osmond // *International Journal of Fatigue*. 2020. 139. P. 105701.

14. Pyndak V. I., Novikov A. E. Tribotechnical and Energy Assessment of Parts of Working Members of Cultivating Machines After Carburizing and Laser Hardening // *Metal Science and Heat Treatment*. 2016. Vol. 58. No. 3-4. P. 226-230.

15. Surface alloying of gray cast iron with chromium by high current pulsed electron beam treatment / C. Li [et al.] // *Materials Research Express*. 2018. Vol. 5, Iss. 6. No. 066518.

Conclusions. The working capacity of the plow body is determined by the amount of wear on the plowshare. this value has a significant impact on the energy and quality indicators of the plow unit. A promising technology for manufacturing plowshares is their casting from high-strength metal, with hardening of the cutting edge of the plowshare with a material from high-alloy alloys. The alloyed layer of the ploughshare obtained by casting has a significantly greater thickness and increased hardness compared to the deposited layer, which allows you to increase the product life. The resource of experimental ploughshares is almost three times higher than the resource of its serial counterpart and is 12 hectares of operating time per case, while the same indicator for a serial ploughshare is only 4.7 hectares.

References

1. Doroshenko V. S., Gnatush V. A. World market for nodular cast iron. State and development prospects // *Bulletin of the valve-constructor*. 2017. No. 5. P. 112-119.

2. Kostyleva L. V., Gapich D. S., Motorin V. A. Complex influence of the chemical composition of cast iron on the structure of the bleached layer of a chisel plow chisel // *News of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: Science and higher professional education*. 2016. No. 2. P. 221-228.

3. Silman G. I., Makarenko K. V., Zentsova E. A. Beinitny high-strength cast iron with spherical graphite // *Metallurgy and heat treatment of metals*. 2013. No. 4. P. 3-8.

4. Formation of wear-resistant zonal-distributed structures of details of tools for soil treatment from high-strength cast iron / V. A. Motorin, D. S. Gapich, L. V. Kostyleva, A. E. Novikov // *Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka I vyshe vocational education*. 2018. No. 4. P. 269-276.

5. Al-Sayed S. R., Elshazli A. M., Hussein A. H. A. Laser surface hardening of Ni-hard white cast iron // *2020 Metals*. 2020. V. 10(6). N. 795. P. 1-19.

6. An investigation on the stability of austenite in Austempered Ductile Cast Iron (ADI) / S. Panneerselvam [et al.] // *Materials Science and Engineering*. 2015. Vol. 626. P. 237-246.

7. Composition and Tribological Properties of Hardened Cutting Blades of Tillage Machines under Abrasive Deterioration / A. E. Novikov, V. A. Motorin, M. I. Lamskova, M. I. Filimonov // *Journal of Friction and Wear*. 2018. Vol. 39. No. 2. P. 158-163.

8. Effect of the starting microstructure in the formation of austenite at the intercritical range in ductile iron alloyed with nickel and copper / H. D. Machado, R. Aristizabal-Sierra, C. Garcia-Mateo, I. Toda-Caraballo // *International Journal of Metalcasting*. 2020. V. 14 (3). P. 836-845.

9. Influence of cooling rate on the microstructure and properties of a new wear resistant carbide austempered ductile iron (CADI) / Y. Ch. Peng, H. J. Jin, J. H. Liu, G. L. Li // *Materials Characterization*. 2012. Vol. 72. P. 53-58.

10. Influence of solidification conditions on the microstructure of laser-surface-melted ductile cast iron / D. Janicki, J. Górka, W. Kwaśny, W. Pakiel, K. Matus // *Materials*. 2020. V. 13 (5). P. 1174.

11. Neutron diffraction monitoring of ductile cast iron under cyclic tension-compression / S. Harjo, S. Kubota, W. Gong, T. Kawasaki, S. Gao // *Acta Materialia*. 2020. V. 196. P. 584-594.

12. Non-single bionic coupling model for thermal fatigue and wear resistance of gray cast iron drum brake / D. Yu, T. Zhou, H. Zhou, H. Bo, H. Lu // *Optics and Laser Technology*. 2019. Vol. 111. P. 781-788.

13. Probabilistic Low Cycle Fatigue criterion for nodular cast-irons / F. Szmytka, E. Charkaluk, A. Constantinescu, P. Osmond // *International Journal of Fatigue*. 2020. 139. P. 105701.

14. Pyndak V. I., Novikov A. E. Tribotechnical and Energy Assessment of Parts of Working Members of Cultivating Machines After Carburizing and Laser Hardening // Metal Science and Heat Treatment. 2016. Vol. 58. No. 3-4. P. 226-230.

15. Surface alloying of gray cast iron with chromium by high current pulsed electron beam treatment / C. Li [et al.] // Materials Research Express. 2018. Vol. 5, Iss. 6. No. 066518.

Authors Information

Gapich Dmitry Sergeevich - head of the Department "Operation and technical service of machines in agriculture», Volgograd State Agrarian University (400002, Volgograd, pr. Universitetsky, 26), Associate Professor, e-mail: gds-08@mail.ru.

Motorin Vadim Andreevich - associate Professor of the Department "Operation and technical service of machines in agriculture», Volgograd State Agrarian University (400002, Volgograd, pr. Universitetsky, 26), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: vmotorin001@yandex.ru.

Oleynikov Roman Nikolaevich - post-graduate student of the Department "Operation and technical service of machines in agriculture», Volgograd State Agrarian University (400002, Volgograd, pr. Universitetsky, 26), e-mail: olejnikov.rom@yandex.ru.

Информация об авторах

Гапич Дмитрий Сергеевич – заведующий кафедрой «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26), доктор технических наук, доцент, e-mail: gds-08@mail.ru.

Моторин Вадим Андреевич – доцент кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26), кандидат технических наук, доцент, e-mail: vmotorin001@yandex.ru

Олейников Роман Николаевич, аспирант кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26). e-mail: olejnikov.rom@yandex.ru.