

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КАРБОВИБРОДУГОВОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ СТРЕЛЬЧАТЫХ ЛАП ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

ECONOMIC FEASIBILITY OF USING THE TECHNOLOGY OF CARBON-VIBRO-ARC HARDENING FOR HARDENING THE POINTED PAWS OF TILLAGE MACHINERY

Н.В. ТИТОВ¹, к.т.н.

А.В. КОЛОМЕЙЧЕНКО², д.т.н.

В.В. ВИНОГРАДОВ¹, к.т.н.

А.С. КОЛОМЕЙЧЕНКО³, к.э.н.

¹ Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, Орел, Россия, ogau@mail.ru

² Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП «НАМИ», Москва, Россия, kolom_sasha@inbox.ru

³ Колледж железнодорожного и городского транспорта, Москва, Россия, alla.kolomeychenko@mail.ru

N.V. TITOV¹, PhD in Engineering

A.V. KOLOMEYCHENKO², DSc in Engineering

V.V. VINOGRADOV¹, PhD in Engineering

A.S. KOLOMEYCHENKO³, PhD in Economics

¹ Orel State Agrarian University, Orel, Russia, ogau@mail.ru

² Central research and development automobile and engine institute NAMI, Moscow, Russia, kolom_sasha@inbox.ru

³ College of Railroad and Urban Transportation, Moscow, Russia, alla.kolomeychenko@mail.ru

В статье дается описание разработанной авторами рациональной технологии карбовибродугового упрочнения (КВДУ) с использованием многокомпонентной пасты рабочих поверхностей стрелчатых лап почвообрабатывающих машин. Проведена экономическая оценка целесообразности использования КВДУ для упрочнения стрелчатых лап. При проведении исследований в качестве основы многокомпонентной пасты для КВДУ использовали порошок ПГ-ФБХ6-2, керамическим компонентом пасты служил карбид бора B_4C , массовое содержание криолита составляло 10 %. КВДУ осуществляли на установке ВДГУ-2, для формирования упрочняющих композитных покрытий использовали угольный электрод диаметром 8 мм.

При реализации разработанной технологии вначале производят зачистку рабочей части лапы, затем приготавливают многокомпонентную пасту, наносят ее на упрочняемые поверхности и высушивают до отверждения, после чего производят КВДУ с формированием композитного покрытия и осуществляют контроль полученного покрытия. Рациональный состав многокомпонентной пасты по результатам проведенных исследований должен быть следующим: порошок ПГ-ФБХ6-2 – 60 % по массе, B_4C – 30 % по массе, криолит – остальное. Рациональные режимы КВДУ: сила тока – 70...80 А, частота вибрации угольного электрода – 25 Гц, амплитуда вибрации электрода – 1,1 мм. Толщина сформированного упрочняющего композитного покрытия составляет 0,9...1,0 мм, а его твердость – 70...72 HRC. Разработанная технология благодаря невысоким дополнительным капитальным вложениям может использоваться как в небольших мастерских фермерских хозяйствах, так и в условиях специализированных ремонтно-восстановительных предприятий. Проведенный расчет экономической эффективности разработанной технологии упрочнения стрелчатых лап показал, что ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения технологии составит 120191 руб. при упрочнении 430 лап культиваторов КШУ-12Н. Таким образом, разработанная технология экономически целесообразна и может быть рекомендована к внедрению в производство.

Ключевые слова: стрелчатая лапа, карбовибродуговое упрочнение, композитное покрытие, многокомпонентная паста, экономическая эффективность.

Для цитирования: Титов Н.В., Коломейченко А.В., Виноградов В.В., Коломейченко А.С. Экономическая целесообразность использования технологии карбовибродугового упрочнения для упрочнения стрелчатых лап почвообрабатывающих машин // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 6. С. 99–104.

DOI: 10.17816/0321-4443-2021-6-99-104

The article describes the rational technology of carbo-vibro-arc hardening (CVAH) developed by the authors using a multicomponent paste of the working surfaces of the pointed paw of tillage machinery. An economic assessment of the feasibility of using CVAH for strengthening pointed paws was carried out. PG-FBK6-2 powder was used for research as the basis of a multicomponent paste for CVAH. The boron carbide B_4C served as a ceramic component of the paste, the mass content of cryolite was 10 %. CVAH was carried out on a VDGU-2 installation. A carbon electrode of 8 mm in diameter was used to form reinforcing composite coatings.

The implementation of developed technology involves firstly the cleaning of working part of the paw. Then a multicomponent paste is prepared, it is applied to the surfaces, hardened and dried until cured. After it the CVAH is done with the formation of a composite coating and the resulting coating is monitored. The rational composition of the multicomponent paste according to the results of a set of studies should be as follows: PG-FBH6-2 powder – 60 % by weight, B_4C – 30 % by weight, cryolite – the rest. Rational CVAH modes: current strength – 70 ... 80 A, carbon electrode vibration frequency – 25 Hz, electrode vibration amplitude – 1,1 mm. The thickness of the formed reinforcing composite coating is 0,9...1,0 mm, and its hardness is 70...72 HRC. The developed technology, due to low additional capital investments, can be used both in small workshops of farms and in the conditions of specialized repair and restoration enterprises. The calculation of the economic efficiency of the developed technology for strengthening pointed paws showed that the expected annual economic effect from the introduction of the technology will be 120, 191 rubles with the hardening of 430 blades of KShU-12N cultivators. Thus, the developed technology is economically feasible and can be recommended for implementation in production.

Keywords: pointed paw, carbo-arc hardening, composite coating, multi-component paste, economic efficiency.

Cite as: Titov N.V., Kolomeychenko A.V., Vinogradov V.V., Kolomeychenko A.S. Economic feasibility of using the technology of carbon-vibro-arc hardening for hardening the pointed paws of tillage machinery. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021. No 6, pp. 98–104 (in Russ.). DOI: 10.17816/0321-4443-2021-6-98-104

Введение

Стрелчатые лапы являются широко используемым рабочим органом в конструкциях современных сельскохозяйственных машин. Культиваторы, посевные комплексы, рыхлители и другие машины могут иметь в своей конструкции несколько десятков стрелчатых лап, подверженных при эксплуатации интенсивному ударно-абразивному изнашиванию. Замена даже одного комплекта лап на таких агрегатах приводит к значительным финансовым затратам организации, осуществляющей производство сельскохозяйственной продукции.

Для упрочнения стрелчатых лап в настоящее время известны различные технологии [1–4], которые, впрочем, не лишены тех или иных недостатков. Современным способом упрочнения, позволяющим формировать на рабочих поверхностях стрелчатых лап композитные покрытия, является карбовибродуговое упрочнение (КВДУ). В настоящее время ведутся исследования по разработке теоретических и технологических основ данного способа [2, 5–11].

При реализации КВДУ на упрочняемую поверхность наносится многокомпонентная паста, которая после высушивания до затвердевания расплавляется угольным электродом установки ВДГУ-2. В результате из компонентов пасты на упрочняемой поверхности формируется композитное покрытие, обладающее комплексом высоких физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик.

Несмотря на все выполненные к настоящему моменту исследования пока еще остается не в полной мере разработанной рациональ-

ная ресурсосберегающая технология КВДУ стрелчатых лап, целесообразная с точки зрения экономической эффективности ее использования.

Цель исследований

Разработка рациональной технологии КВДУ стрелчатых лап почвообрабатывающих машин и экономическое обоснование целесообразности ее использования.

Материалы и методы

При проведении исследований в качестве основы (матрицы) многокомпонентной пасты для КВДУ использовали порошок ПГ-ФБХ6-2 на железной основе, который производится на ОАО «Полема» (г. Тула). Данный порошок, как показал проведенный анализ, является одним из наиболее часто используемых при напылении и наплавке рабочих поверхностей деталей машин различного назначения, эксплуатируемых в условиях ударно-абразивного износа [12]. В качестве керамического компонента пасты использовали карбид бора B_4C ГОСТ 5744. Массовое содержание криолита (активатора процесса зажигания дуги при КВДУ) в составе пасты составляло 10 % [5, 8, 10, 11]. В качестве связующего использовали 50%-й водный раствор клея ПВА.

КВДУ осуществляли на установке ВДГУ-2, которую в настоящее время производит ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Москва). Для формирования композитных покрытий при КВДУ использовали угольный электрод диаметром 8 мм.

При оценке экономической эффективности разработанной технологии КВДУ стрелчатых

лап почвообрабатывающих машин учитывали положения методики, изложенной в работах [13, 14].

Результаты и обсуждение

Проведенные нами теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать рациональную технологию упрочнения стрелчатых лап способом КВДУ, которую, благодаря невысоким дополнительным капитальным вложениям, можно использовать как в небольших мастерских фермерских хозяйств, так и в условиях специализированных ремонтно-восстановительных предприятий.

При реализации технологии (рис. 1) вначале производят зачистку рабочей части (режущей кромки) лапы, затем приготавливают многокомпонентную пасту, наносят ее на упрочняемые поверхности и высушивают до отверждения, после чего производят КВДУ с формированием композитного покрытия,



Рис. 1. Структурная схема разработанной ресурсосберегающей технологии КВДУ стрелчатых лап почвообрабатывающих машин

Fig. 1. Structural diagram of the developed resource-saving technology of CVAH of lancet blades of tillage machinery

осуществляют контроль полученного покрытия, а также консервацию и упаковку упрочненной детали.

Зачистку рабочей части лап рационально выполнять с использованием угловых шлифовальных машин. Многокомпонентную пасту для КВДУ приготавливают механическим смешением следующих компонентов: стальной порошок ПГ-ФБХ6-2 (матрица) – 60 % по массе, карбид бора – 30 % по массе, криолит – 10 % по массе – и наносят слоем толщиной 1,8...2,0 мм на упрочняемую поверхность, после чего высушивают до отверждения. Данное соотношение компонентов пасты является наиболее рациональным и определено с учетом предварительно проведенных лабораторных исследований, а также комплекса эксплуатационных испытаний [5, 10]. КВДУ осуществляют на следующих режимах: сила тока – 70...80 А, частота вибрации угольного электрода – 25 Гц, амплитуда вибрации электрода – 1,1 мм. При КВДУ также целесообразно применение вспомогательных приспособлений, позволяющих осуществлять дополнительное охлаждение лапы при ее упрочнении. Вибрация электрода при КВДУ позволяет в среднем на 25 % снизить нагрев лапы при ее упрочнении. Толщина сформированного упрочняющего композитного покрытия составляет 0,9...1,0 мм, а его твердость – 70...72 HRC. Контроль покрытия осуществляют визуально и с помощью лупы 10^x.

На рис. 2 представлены стрелчатые лапы, упрочненные с использованием разработанной ресурсосберегающей технологии.

Разработанная технология позволяет не только упрочнять стрелчатые лапы в состоянии поставки (новые), но и восстанавливать лапы, достигшие предельного состояния в результате их эксплуатации. В этом случае перед КВДУ производят компенсацию износа лапы за счет приваривания к ее рабочей поверхности компенсирующего элемента.

Результаты производственных сравнительных испытаний стрелчатых лап, упрочненных КВДУ, и в состоянии поставки, для различных почвообрабатывающих машин показали, что после КВДУ ресурс лап возрастает в среднем в 2,2...2,5 раза. Использование разработанной технологии также актуально и с позиций импортозамещения. Новизна предлагаемой технологии подтверждена несколькими патентами РФ на изобретения.

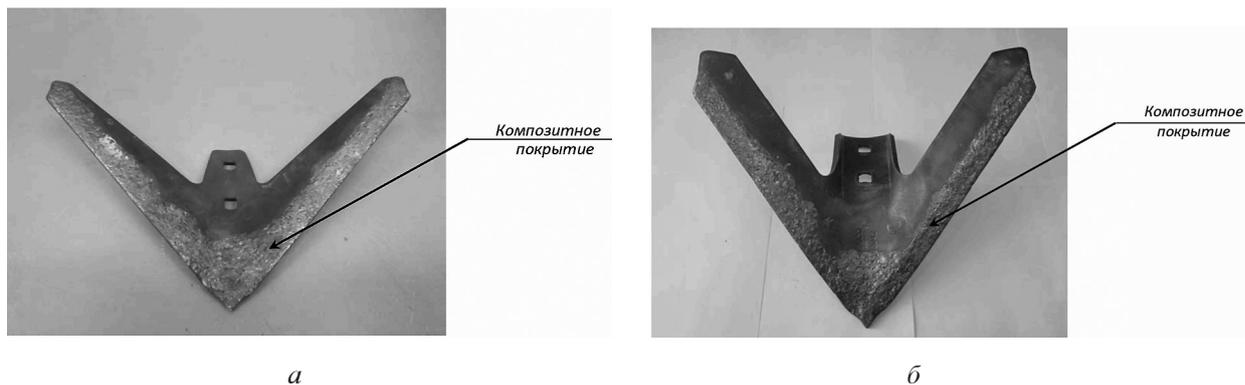


Рис. 2. Стрелчатые лапы культиватора КПС-4Г (а) и посевного комплекса John Deere 730 (б), упрочненные КВДУ с использованием разработанной рациональной ресурсосберегающей технологии

Fig. 2. Paws of the KPS-4G cultivator (a) and the John Deere 730 sowing complex (b), hardened by CVAH using the developed rational resource-saving technology

Окончательную оценку целесообразности использования КВДУ для упрочнения стрелчатых лап может дать расчет экономической эффективности разработанной технологии. Расчет экономической эффективности выполнен на примере стрелчатых лап культиваторов типа КШУ, выпускаемых Грязинским культиваторным заводом, т.к. они в настоящее время широко используются при обработке почвы на различных сельскохозяйственных предприятиях.

Экономическую эффективность разработанной технологии КВДУ стрелчатых лап можно определить, воспользовавшись следующим соотношением:

$$\Theta_y = \left(\frac{Ц_n - C_{ост}^n}{P_n} - \frac{Ц_y - C_{ост}^y}{P_y} \right) P_y \cdot N_r, \text{ руб.}, \quad (1)$$

где $Ц_n$, $Ц_y$ – цена новой и упрочненной КВДУ лапы, руб.; P_n , P_y – ресурс новой и упрочненной КВДУ лапы, га; $C_{ост}^n$, $C_{ост}^y$ – стоимость остаточная новых и упрочненных КВДУ лап, руб.; N_r – годовой объем упрочняемых КВДУ лап, шт.

Цену упрочненной КВДУ стрелчатой лапы определяют по формуле:

$$Ц_y = Ц_n + C_y, \text{ руб.}, \quad (2)$$

где C_y – себестоимость упрочнения лапы, руб.

Себестоимость C_y упрочнения стрелчатой лапы складывается из затрат на заработную плату ЗП производственных рабочих, ремонтные материалы C_m , изношенную деталь $C_{из}$ и расходов ОПТ, связанных с организацией производства, т.е.:

$$C_y = ЗП + C_m + C_{из} + ОПТ, \text{ руб.} \quad (3)$$

Зарботную плату производственных рабочих можно определить из соотношения:

$$ЗП = \left(\frac{T_{H_1} \cdot C_{P_1}}{60} + \frac{T_{H_2} \cdot C_{P_2}}{60} + \dots + \frac{T_{H_i} \cdot C_{P_i}}{60} \right) \times K_{\Pi} \text{ руб.}, \quad (4)$$

где T_{H_1} , T_{H_2} , ..., T_{H_i} – нормы времени на выполнение операций технологического процесса упрочнения в расчете на одну стрелчатую лапу, мин.; C_{P_1} , C_{P_2} , ..., C_{P_i} – часовые тарифные ставки соответствующих разрядов на выполнение операций технологического процесса упрочнения, руб.; K_{Π} – коэффициент, учитывающий премиальную доплату, дополнительную плату рабочих и отчисления в фонды социального страхования; по рекомендациям [13, 14] его можно принять равным 1,9. Тогда:

$$ЗП = \left(\frac{4,7 \cdot 100}{60} + \frac{13,1 \cdot 115}{60} + \frac{2,6 \cdot 110}{60} + \frac{9,0 \cdot 110}{60} + \frac{14,4 \cdot 160}{60} + \frac{1,5 \cdot 130}{60} \right) \cdot 1,9 = 182,1 \text{ руб.}$$

При КВДУ стрелчатых лап используют следующие ремонтные материалы: компоненты многокомпонентной пасты (матрица, карбид бора, криолит), клей ПВА, угольные электроды. Затраты на данные материалы C_m , определенные нами в результате предварительно проведенных исследований с учетом норм их расхода, в расчете на одну стрелчатую лапу составляют 123,9 руб.

Стоимость изношенной стрелчатой лапы $C_{из}$ обычно определяют по цене металлолома с учетом ее массы. Таким образом, стоимость изношенной стрелчатой лапы составит 24,5 руб.

Расходы ОПУ, связанные с организацией производства, по рекомендациям работ [13, 14] можно принять в размере 200 % от заработной платы ЗП производственных рабочих. Таким образом, данные расходы для нашего случая составят 364,2 руб.

Тогда себестоимость упрочнения стрельчатой лапы составит:

$$C_y = 182,1 + 123,9 + 24,5 + 364,2 = 694,7 \text{ руб.}$$

Тогда цена упрочненной КВДУ стрельчатой лапы составит:

$$Ц_y = 700 + 694,7 = 1394,7 \text{ руб.}$$

Таким образом, экономическая эффективность разработанной технологии упрочнения стрельчатых лап с использованием КВДУ в расчете на одну лапу составит:

$$\Theta_y = \left(\frac{700 - 24,5}{34} - \frac{1394,7 - 24,5}{83} \right) 83 = 279,5 \text{ руб.}$$

Экономическая эффективность от внедрения разработанной технологии КВДУ в расчете на принятую программу упрочнения (10 культиваторов КШУ-12Н, по 43 стрельчатых лапы на каждом) будет равна:

$$\Theta_y = 279,5 \cdot 430 = 120191 \text{ руб.}$$

При упрочнении большего количества стрельчатых лап экономическая эффективность разработанной технологии будет еще более значительной.

Выводы

Проведенный расчет экономической эффективности разработанной технологии КВДУ стрельчатых лап почвообрабатывающих машин показал, что данная технология экономически целесообразна и может быть рекомендована к внедрению в производство. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения технологии составит 120191 руб. при упрочнении 430 лап культиваторов КШУ-12Н.

Литература

1. Михальченков А.М., Феськов С.А., Анищенко А.В. Упрочнение стрельчатой лапы посевного комплекса «Моррис» // Сельский механизатор. 2017. № 10. С. 34–35.
2. Лялякин В.П., Соловьев С.А., Аулов В.Ф. Состояние и перспектива упрочнения и восстановления деталей почвообрабатывающих машин

сварочно-наплавочными методами // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 115. С. 96–104.

3. Новиков В.С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин: монография. М.: ИНФРА-М, 2019. 155 с.
4. Семчук Г.И., Дудников А.А. Анализ способов повышения долговечности культиваторных лап // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2003. № 5 (65). С. 67–71.
5. Титов Н.В. Повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин путем нанесения металлокерамических покрытий // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 6. С. 27–31.
6. Задорожний Р.Н., Тужилин С.П. Металлографические исследования стальных образцов, упрочненных карбовибродуговой наплавкой // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 124. № 2. С. 57–61.
7. Sharifullin S.N., Adigamov N.R., Adigamov N.N. [et al.]. Surface hardening of cutting elements agricultural machinery vibro arc plasma // Journal of Physics: Conference Series. 2016. V. 669. № 1. P. 012049.
8. Kolomeychenko A.V., Titov N.V., Vinogradov V.V. [et al.]. The microstructure of composite cermet coatings produced by carbo-vibroarc surfacing // Welding International. 2017. Vol. 31. No. 9. Pp. 739–742. DOI: 10.1080/09507116.2017.1318494
9. Байниязова А.Т., Абжаев М.М., Кудряшова Е.Ю. и др. Виброплазменное упрочнение рабочих органов сельскохозяйственных машин // Технический сервис машин. 2020. № 1 (138). С. 132–142.
10. Titov N.V., Kolomeychenko A.V., Litovchenko N.N. Innovative method of tillage tool hardening // Vestnik OrelGAU. 2014. № 2 (47). P. 42–48.
11. Титов Н.В., Коломейченко А.В., Виноградов В.В. и др. Исследование влияния режимов и параметров карбовибродугового упрочнения на толщину металлокерамического покрытия // Техника и оборудование для села. 2016. № 9. С. 34–37.
12. Бабич Б.Н., Вершинина Е.В., Глебов В.А. и др. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник / под ред. Ю.В. Левинского. М.: ЭКОМЕТ, 2005. 520 с.
13. Кузнецов Ю.А., Башкирцев В.И., Башкирцев Ю.В. Техничко-экономическое обоснование внедрения мероприятий научно-технического прогресса в АПК: учебно-методическое пособие. М.: ФГБОУ «Российская инженерная академия менеджмента и агробизнеса», 2015. 91 с.
14. Кузнецов Ю.А., Коломейченко А.В., Кулаков К.В. и др. Техничко-экономическое обоснование инженерных решений в дипломных проектах: учебное пособие / Орел: ФГБОУ ВПО Орел ГАУ, 2014. 124 с.

References

1. Mikhail'chenkov A.M., Fes'kov S.A., Anishchenko A.V. Strengthening of the A blade of Morris sowing complex. *Sel'skiy mekhanizator*. 2017. No 10, pp. 34–35 (in Russ.).
2. Lyalyakin V.P., Solov'yev S.A., Aulov V.F. State and prospect of hardening and restoration of parts of tillage machinery by welding and surfacing methods. *Trudy GOSNITI*. 2014. T. 115, pp. 96–104 (in Russ.).
3. Novikov V.S. Obespecheniye dolgovechnosti rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin: monografiya [Ensuring the durability of the working bodies of tillage machinery]. Moscow: INFRA-M Publ., 2019. 155 p.
4. Semchuk G.I., Dudnikov A.A. Analysis of ways to improve the durability of cultivator blades. *Vostochnoyevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*. 2003. No 5 (65), pp. 67–71 (in Russ.).
5. Titov N.V. Increasing the durability of the working bodies of soil-cultivating machinery by applying ceramic-metal coatings. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2018. No 6, pp. 27–31 (in Russ.).
6. Zadorozhniy R.N., Tuzhilin S.P. Metallographic studies of steel specimens hardened by carbo-arc surfacing. *Trudy GOSNITI*. 2016. T. 124. No 2, pp. 57–61 (in Russ.).
7. Sharifullin S.N., Adigamov N.R., Adigamov N.N. [et al.]. Surface hardening of cutting elements agricultural machinery vibro arc plasma // *Journal of Physics: Conference Series*. 2016. V. 669. No 1. R. 012049.
8. Kolomeychenko A.V., Titov N.V., Vinogradov V.V. [et al.]. The microstructure of composite cermet coatings produced by carbovibroarc surfacing. *Welding International*. 2017. Vol. 31. No. 9. pp. 739–742. DOI: 10.1080/09507116.2017.1318494
9. Bayniyazova A.T., Abzhayev M.M., Kudryashova Ye.Yu. i dr. Vibroplasmic hardening of the working bodies of agricultural machinery. *Tekhnicheskiy servis mashin*. 2020. No 1 (138), pp. 132–142 (in Russ.).
10. Titov N.V., Kolomeichenko A.V., Litovchenko N.N. Innovative method of tillage tool hardening // *Vestnik Orel-GAU*. 2014. No 2 (47). R. 42–48 (in Russ.).
11. Titov N.V., Kolomeychenko A.V., Vinogradov V.V. i dr. Investigation of the influence of modes and parameters of carbon-vibro-arc hardening on the thickness of the metal-ceramic coating. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2016. No 9, pp. 34–37 (in Russ.).
12. Babich B.N., Vershinina Yu.V., Glebov V.A. i dr. *Metallicheskiye poroshki i poroshkovyye materialy: spravochnik* [Metal powders and powder materials: reference book]. Pod red. Yu.V. Levinskogo. Moscow: EKOMET Publ., 2005. 520 p.
13. Kuznetsov Yu.A., Bashkirtsev V.I., Bashkirtsev Yu.V. *Tekhniko-ekonomicheskoye obosnovaniye vnedreniya meropriyatiy nauchno-tekhnicheskogo progressa v APK* [Feasibility study for the implementation of measures of scientific and technological progress in the agro-industrial complex]: *uchebno-metodicheskoye posobiye*. Moscow: FGBOU «Rossiyskaya inzhenernaya akademiya menedzhmenta i agrobiznesa» Publ., 2015. 91 p.
14. Kuznetsov Yu.A., Kolomeychenko A.V., Kulakov K.V. i dr. *Tekhniko-ekonomicheskoye obosnovaniye inzhenernykh resheniy v diplomnykh proyektakh* [Feasibility study of engineering solutions in graduation projects: textbook]: *uchebnoye posobiye*. Orel: FGBOU VPO Orel GAU Publ., 2014. 124 p.