

Научная статья  
УДК 631.31:678

**ПРИМЕНЕНИЕ АБРАЗИВОСТОЙКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ  
УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ  
МАШИН (ОПЫТ БРЯНСКОГО ГАУ)**

**Сергей Александрович Феськов, Юрий Игоревич Филин, Александр Фёдорович Ковалев,  
Анастасия Сергеевна Мишина**  
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

**Аннотация.** Статья посвящена повышению износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин за счёт применения абразивостойких защитных покрытий на основе эпоксидных композитов, наполненных кварцевым песком. Актуальность работы обусловлена интенсивным абразивным износом металлических деталей сельскохозяйственных машин, эксплуатируемых в условиях взаимодействия с почвой, что приводит к снижению их ресурса и увеличению затрат на ремонт и замену. В работе рассмотрены основные механизмы абразивного износа металлических поверхностей, а также проанализированы причины ускоренного разрушения рабочих органов при традиционных условиях эксплуатации. Отмечены преимущества применения защитных упрочняющих покрытий на полимерной основе, обладающих высокой адгезией, устойчивостью к абразивному воздействию и возможностью нанесения без термического влияния на материал основы. Разработана и описана технология нанесения эпоксидно-песчаного композитного покрытия, обеспечивающая формирование износостойкого слоя с равномерным распределением наполнителя. Экспериментальные исследования показали, что использование предложенного покрытия позволяет увеличить срок службы рабочих органов почвообрабатывающих машин в 2,0–2,7 раза за счёт снижения скорости абразивного изнашивания рабочей поверхности. Проведено сравнение предложенной методики с традиционными способами упрочнения, такими как наплавка и термическая обработка, в результате чего установлено, что эпоксидно-песчаное покрытие отличается технологической простотой, меньшей энергоёмкостью и отсутствием негативного температурного воздействия на металл детали. Испытания покрытых деталей в реальных условиях эксплуатации подтвердили стабильность защитных свойств и высокую эффективность предложенного решения. Полученные результаты подтверждают высокий потенциал внедрения эпоксидно-песчаных композитов в качестве эффективного и экономически целесообразного способа защиты и продления срока службы рабочих органов почвообрабатывающих машин.

**Ключевые слова:** эпоксидные композиты, абразивостойкость, почвообрабатывающие машины, износостойкость, восстановление деталей, защитные покрытия, адгезия, упрочнение.

**Для цитирования:** Применение абразивостойких полимерных покрытий для увеличения ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин (опыт Брянского ГАУ) / С.А. Феськов, Ю.И. Филин, А.Ф. Ковалев, А.С. Мишина // Вестник Брянской ГСХА. 2026. № 1 (113). С. 60-64.

**Original article**

**APPLICATION OF ABRASION-RESISTANT POLYMER COATINGS TO INCREASE  
THE SERVICE LIFE OF WORKING PARTS OF SOIL-TILLAGE MACHINES  
(BRYANSK STATE AGRARIAN UNIVERSITY EXPERIENCE)**

**Sergei A. Fes'kov, Yuri I. Filin, Alexandr F. Kovalev, Anastasiya S. Mishina**  
Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Kokino, Russia

**Abstract.** The article is dedicated to improving the wear resistance of tillage machinery components by using abrasion-resistant protective coatings based on epoxy composites filled with quartz sand. The relevance of this work is due to the intensive abrasive wear of metal parts of agricultural machinery operating in soil interaction conditions, which leads to a reduction in their service life and increased repair and replacement costs. The paper examines the main mechanisms of abrasive wear on metal surfaces and analyzes the causes of accelerated failure of tillage machinery components under typical operating conditions. The advantages of using polymer-based protective hardening coatings, which offer high adhesion, abrasion resistance, and the ability to be applied without thermally affecting the base material, are highlighted. A technology for applying an epoxy-sand composite coating is developed and described, ensuring the formation of a wear-resistant layer with a uniform filler distribution. Experimental studies have shown that the proposed coating increases the service life of tillage machinery components by 2.0–2.7 times by reducing the rate of abrasive wear on the working surface. A comparison of the proposed method with traditional hardening methods, such as surfacing and heat treatment, revealed that the epoxy-sand coating is technologically sim-

ple, requires less energy, and does not adversely affect the metal component with temperature. Testing of the coated components under real-world operating conditions confirmed the stability of the protective properties and the high efficiency of the proposed solution. The obtained results confirm the high potential for the implementation of epoxy-sand composites as an effective and cost-effective method for protecting and extending the service life of tillage machinery components.

**Keywords:** epoxy composites, abrasion resistance, tillage machines, wear resistance, parts restoration, protective coatings, adhesion, hardening.

**For citation:** Application of abrasion-resistant polymer coatings to increase the service life of working parts of soil-tillage machines (Bryansk state agrarian university experience) / S.A. Fes'kov, Yu.I. Filin, A.F.Kovalev, A.S. Mishina // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2026. No. 1 (113). P. 60-64.

**Введение. Постановка цели.** Почвообрабатывающие орудия (например, плуги, культиваторы, бороны) в процессе эксплуатации подвергаются повышенному абразивному изнашиванию [1,2], обусловленному непосредственным контактом рабочих органов с почвой, содержащей твёрдые минеральные включения [3]. При обработке больших площадей износ рабочих органов настолько интенсивен, что их замена или ремонт становятся регулярной необходимостью, требующей значительных финансовых и временных затрат [4].

В связи с этим можно выделить три основных негативных фактора. Во-первых, финансовые затраты на ремонт и замену деталей существенно возрастают при высоком уровне износа, поскольку в ряде случаев их восстановление нецелесообразно и требуется полная замена рабочих органов [5]. Это затрудняет деятельность как крупных с/х предприятий, так и фермерских хозяйств. Во-вторых, снижение производительности вследствие изношенных деталей приводит к росту расхода топлива, увеличению продолжительности обработки и, как следствие, к возможному уменьшению урожайности [6]. В-третьих, возникает ряд экологических аспектов, связанных с утилизацией значительного объёма металлических деталей, вышедших из строя [7]. Увеличение ресурса деталей позволяет повысить наработку изделия, уменьшить количество замен, а следовательно, и простоя оборудования.

Таким образом, актуальной остаётся задача разработки и внедрения технологичных и экономически целесообразных способов восстановления и упрочнения деталей почвообрабатывающих машин. Данный вопрос имеет и историческую основу: в традиционной практике износ металла стремились уменьшить путём термической обработки (например, закалки) [8], однако современные полимерные материалы открывают новые возможности повышения износостойкости.

Цель - обобщить и проанализировать опыт применения абразивостойких эпоксидных композиций с дисперсным наполнителем из природного песка для снижения износа деталей почвообрабатывающих машин.

**Материалы и методы.** Эпоксидные смолы представляют собой класс синтетических полимеров, обладающих высокой адгезией к широкому спектру материалов (металлы, керамика, бетон, древесина и др.) и благоприятными механическими свойствами. Структурной основой эпоксидных смол служат олигомеры или мономеры, содержащие эпоксидные группы, которые при взаимодействии с отвердителем (например, аминами) формируют трёхмерную сеть [9].

Песок представляет собой один из наиболее доступных наполнителей для эпоксидных композиционных материалов. Высокая твёрдость кварцевых зёрен (примерно 7 по шкале Мооса), а также простота добычи и очистки делают песок конкурентоспособным вариантом по сравнению с более дорогими синтетическими абразивами.

Структура эпоксидно-песчаного покрытия представляет собой трёхмерную систему, образованную равномерным распределением кварцевого наполнителя (песка) в эпоксидной матрице. Такое покрытие наделено рядом характеристик, которые определяют его эксплуатационные свойства:

1. Распределение нагрузок. При абразивном воздействии первичную нагрузку принимают на себя твёрдые частицы песка. Эпоксидная матрица, в свою очередь, закрепляет эти частицы и обеспечивает общую целостность покрытия, что способствует продлению срока службы.

2. Адгезия к металлу. Для достижения оптимальных защитных свойств необходимо обеспечить надёжное сцепление покрытия с металлической поверхностью. Высокая полярность эпоксидных групп способствует формированию прочных межфазных связей, а предварительная подготовка металла (пескоструйная обработка, обезжиривание) дополнительно повышает адгезионные показатели.

3. Однородность структуры. Максимальная износостойкость достигается за счёт равномерного распределения наполнителя в эпоксидной матрице. Появление пор или неоднородностей способно привести к снижению долговечности покрытия и спровоцировать раннее растрескивание.

4. Толщина покрытия. Недостаточная толщина сформированного слоя приводит к ускоренному износу, тогда как избыточная толщина может вызвать локальные отслоения и образование трещин. В условиях сложной геометрии детали особенно важно контролировать равномерность нанесения, чтобы обеспечить стабильные эксплуатационные характеристики покрытия.

С учётом традиционной практики нанесения эпоксидных материалов и долгосрочных перспектив развития защитных технологий, эпоксидно-песчаное покрытие представляется эффективным решением, сочетая проверенные методы подготовки поверхности и современные подходы к формированию композитных систем. Качественная подготовка поверхности, являющаяся одним из главных этапов нанесения эпоксидных композиций, во многом предопределяет прочность сцепления и долговечность покрытия. Игнорирование данного процесса зачастую сводит на нет преимущества даже наиболее износостойких материалов. Ниже приведены основные операции, позволяющие обеспечить требуемую адгезию и повысить эксплуатационные характеристики эпоксидных покрытий:

1. Очистка от загрязнений и ржавчины. На первом этапе при помощи механических методов (щёток, скребков) в сочетании с промывкой водой под высоким давлением удаляют остатки почвы, следы масел и продукты коррозии. При наличии выраженных очагов ржавчины возможно применение более агрессивных методов, таких как химическое травление или использование ингибиторов.

2. Формирование заданной шероховатости (пескоструйная обработка или шлифовка). С целью достижения требуемого уровня шероховатости (например,  $Ra \approx 6,3$ ) поверхность обрабатывают абразивным способом (пескоструйная или дробеструйная обработка). В результате образуется микрорельеф, способствующий более эффективному сцеплению эпоксидного покрытия с металлом и повышению его износостойкости.

3. Обезжиривание. Завершающий этап подготовки включает удаление масляных и жировых загрязнений с помощью органических растворителей (ацетона, уайт-спирита) либо специализированных очищающих составов. Важно исключить наличие пыли и мелких абразивных частиц, оставшихся после предыдущего этапа, поскольку они могут выступать факторами, препятствующими адгезии.

4. Нанесение абразивостойких эпоксидных композитов. На подготовленную поверхность шпателем укладывается слой эпоксидного покрытия, модифицированного дисперсным наполнителем (природным песком), толщиной порядка 3–4 мм.

5. Сушка композита и контроль качества. После формирования покрытия необходимо обеспечить оптимальные условия для полимеризации и отверждения композитного материала (24 - 48 часов при температуре 18-25 °С). Проводится визуальный осмотр, чтобы убедиться в отсутствии дефектов (трещин, вздутий, неполного перекрытия поверхности). В условиях повышенных требований к точности толщины покрытия либо его однородности могут применяться методы неразрушающего контроля. В частности, для определения толщины слоя используют штангенциркуль или другие измерительные приборы. Это позволяет своевременно скорректировать технологический процесс нанесения материала в случае несоответствия регламентированным показателям.

Ключевым преимуществом композитного материала выступает его способность в жидком состоянии воспроизводить микрорельеф обрабатываемой поверхности, эффективно компенсируя участки износа и предотвращая образование сквозных повреждений. В затвердевшем состоянии, в силу наличия абразивостойкой компоненты (песок) оказывает сопротивление абразивному воздействию почвы.

**Результаты исследований.** Лабораторные и полевые исследования позволили определить состав эпоксидного композита, характеризующийся наилучшими адгезионными и износостойкими свойствами при нанесении на металлические поверхности. В качестве полимерной матрицы использовали эпоксидно-диановую смолу (ЭД-20) в количестве 100 мас. ч. с добавлением отвердителя ПЭПА (10 мас. ч.), а в качестве наполнителя — песок с содержанием диоксида кремния не менее 95 % и размером частиц 0,5–1 мм, 60 массовых частей [12]. Применение этого состава повышает ресурс детали в 1,5–2,5 раза по сравнению с аналогичными изделиями заводского исполнения (рисунок 1).

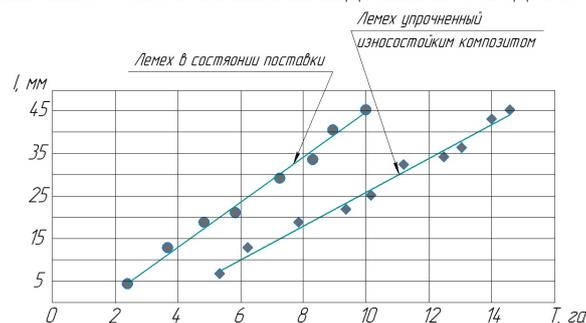


Рисунок 1 – Нароботка испытуемых лемехов

На представленном графике отражено сравнение износа (ось ординат, мм) плужного лемеха в зависимости от наработки (ось абсцисс, га) для двух вариантов исполнения: цельнометаллический отечественный лемех в состоянии поставки (круглые метки); цельнометаллический отечественный лемех, упрочнённый износостойким эпоксидно-песчаным композитом (ромбовидные метки).

Анализ кривых позволяет сделать следующие выводы:

1. Различие в интенсивности изнашивания. Линия, соответствующая упрочнённому лемеху, имеет более пологий наклон по сравнению с «заводским» аналогом. Это говорит о меньшей скорости изнашивания при одинаковой наработке в гектарах.

2. Увеличение срока службы. При более высоких значениях наработки разница в величине износа между упрочнённым и стандартным лемехом становится особенно заметной. В интервале 6–10 га износ стандартного варианта значительно превышает износ лемеха с полимерным композитом. Такой результат согласуется с ранее упомянутыми данными о повышении ресурса детали в 1,5 раза.

3. Повышенная стабильность показателей. При наработке свыше 5-ти га лемех демонстрирует высокий износ, тогда как у упрочнённого варианта такого не отмечается. Это указывает на стабильность структуры эпоксидно-песчаного покрытия в условиях абразивного воздействия.

Исходя из вышеизложенного, использование эпоксидно-песчаного композита в качестве защитного слоя позволяет существенно снизить скорость изнашивания лемеха и увеличить срок его эксплуатации, что подтверждается более плавным характером кривой и меньшими абсолютными значениями износа при одинаковой наработке.

Разработанный абразивостойкий композит расширяет область упрочнения и восстановления деталей благодаря возможности устранения дефектов различной геометрической конфигурации. Это достигается сохранением материалом жидкого состояния в процессе технологического воздействия.

Представленный композит продемонстрировал высокую эффективность при упрочнении стоек стрельчатых лап культиваторов, а также цельнометаллических и составных лемехов, включая культурные отвалы, что демонстрируется на рисунке 2.

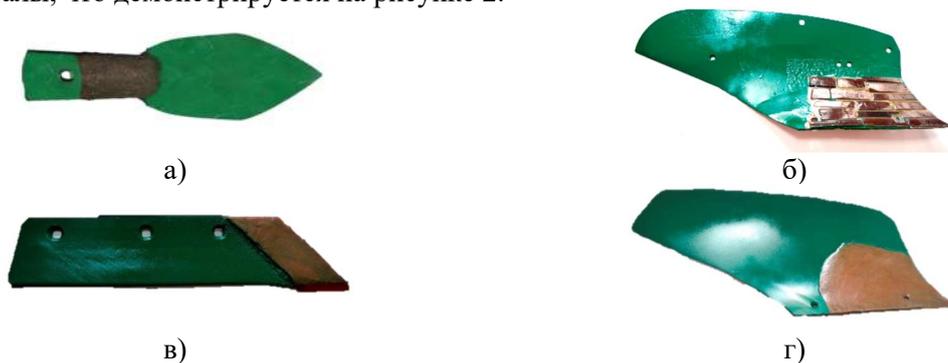


Рисунок 2 – Варианты применения предлагаемого композита: а) – упрочнение полый стойки стрельчатой культиваторной лапы; б) – использования композита в качестве клеевой основы; в) – упрочнение цельнометаллического лемеха; г) – устранения лучевидного износа культурного отвала.

Предлагаемая технология может быть применена для устранения износов и сквозных протираний контактных поверхностей деталей со сложной криволинейной геометрией (рисунок 2г), а также для упрочнения изделий без нарушения их целостности и необходимости последующей механической обработки сформированного покрытия (рисунок 2а, б, в). При этом сохраняются исходные механические свойства и геометрические параметры детали. Универсальный характер методики обеспечивает её доступность для широкого круга сельскохозяйственных предприятий.

Представленные результаты указывают на широкий спектр технологических возможностей применения предлагаемого эпоксидного композита. Полевые испытания по описанному методу деталей рабочих органов почвообрабатывающих орудий показали, что срок их службы до наступления предельного износа не только сопоставим с заводскими аналогами, но и превышает их.

В тоже время, исходя из опыта лабораторных испытаний таких композитов, известно, что увеличение дисперсности абразивостойкой компоненты приводит к уменьшению интенсивности их изнашивания. В связи с этим, следует продолжить исследования по улучшению триботехнических показателей композитов на эпоксидной основе с твердыми наполнителями.

**Выводы.** Применение эпоксидно-песчаных композиций демонстрирует значительный потенциал в продлении срока эксплуатации деталей с/х техники. Простота внедрения, доступность материалов, достаточная износостойкость и сохранение невысокой себестоимости делает данную технологию перспективной альтернативой или дополнением к традиционным методам упрочнения и восстанов-

ления. При совершенствовании методик модификации эпоксидной матрицы (например, введением нанодобавок) возможно дальнейшее повышение эксплуатационных характеристик покрытий.

Таким образом, уже сегодня аграрный сектор и ремонтные предприятия могут использовать полимерные композиты для эффективного восстановления и упрочнения деталей от абразивного износа, минимизируя затраты и повышая общий уровень производительности.

#### Список источников

1. Михальченков А.М., Гуцан А.А., Гапонова В.Е. Повышение износостойкости и межремонтного ресурса плужных лемехов совмещенным способом восстановления и упрочнения // *Технология металлов*. 2023. № 1. С. 44-48.
2. Титов Н.В., Коломейченко А.В., Логачев В.Н. Повышение ресурса рабочих органов машин, эксплуатируемых в абразивной среде, способом карбовибродугового упрочнения // *Технический сервис машин*. 2023. Т. 61, № 4 (153). С. 97-102.
3. Технологические варианты наплавки, при устранении лучевидного износа остовов составных лемехов и совершенствование методики полевых испытаний / А.А. Тюрева, Н.А. Бардадын, Ю.И. Филин, Д.Ю. Обыденников // *Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета*. 2021. № 1. С. 100-109.
4. Износостойкость низколегированных сталей в абразивной среде / М.Н. Ерохин, С.М. Гайдар, Д.М. Скороходов и др. // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25, № 3. С. 72-78.
5. Методика определения долговечности деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин / Д.Н. Раднаев, А.А. Абидуев, А.С. Пехутов и др. // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2024. № 1. С. 77-81.
6. Агротехническая и мелиоративная роль глубокого рыхления переуплотнённых почв / В.Е. Ториков, О.В. Мельникова, В.В. Мамеев, Е.В. Байдакова // *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2024. № 3 (48). С. 14-19.
7. Утилизация отходов машиностроения и металлургии при упрочнении и восстановлении деталей машин / Р.А. Латыпов, А.В. Серов, Н.В. Серов, И.Ю. Игнаткин // *Металлург*. 2021. № 6. С. 87-92.
8. Increasing the wear resistance of parts by iron-based polymer-metal composites / Yu.E. Kisel, A.O. Gorlenko, A.V. Kolomeichenko et al. // *Steel in translation*. 2022. Vol. 52, N. 6. P. 624-627.
9. Investigating of epoxy nanocomposites structure and properties that contain both pristine and aminosilane-treated silicon carbide (SiC) particles / A. Mostovoy, A. Bekeshev, A. Shcherbakov et al. // *Journal of Composite Materials*. 2024.

#### Информация об авторах:

**С.А. Феськов** - кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе и инновациям, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

**Ю.И. Филин** - кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики и электротехнологий, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ. rock2032@rambler.ru.

**А.Ф. Ковалев** - кандидат технических наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

**А.С. Мишина** - студент, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

#### Information about the authors:

**S.A. Fes'kov** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Research and Innovation, Bryansk State Agrarian University.

**Yu. I. Filin** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electric Power Engineering and Electrical Technology, Bryansk State Agrarian University, rock2032@rambler.ru.

**A.F. Kovalev** - Candidate of Technical Sciences, Department of Technical Systems in Agribusiness, Environmental Engineering, and Road Construction, Bryansk State Agrarian University.

**A.S. Mishina** - Student, Bryansk State Agrarian University.

Все авторы внесли равный вклад в выполнение работы, подготовку рукописи и несут равную ответственность за представленные данные. Конфликт интересов отсутствует.

All authors contributed equally to the work, preparation of the manuscript, and bear equal responsibility for the presented data. There are no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 14.11.2025, одобрена после рецензирования 15.12.2025, принята к публикации 12.01.2026.

The article was submitted 14.11.2025, approved after reviewing 15.12.2025, accepted for publication 12.01.2025.

© Феськов С.А., Филин Ю.И., Ковалев А.Ф., Мишина А.С.